



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA

Tesis Doctoral

**Investigación y modelización de la adherencia,
el desgaste y la fenomenología de daño asociada
a la rodadura en contactos rueda-carril de
aceros al carbono y bainíticos**

Presentada por: Fidel Salas Vicente

**Dirigida por: Dr. D. Carlos Ferrer Giménez
Dr. D. Vicente Amigó Borrás**

Valencia, Junio de 2015

AGRADECIMIENTOS

Es mi deseo manifestar mi agradecimiento a los dos directores de esta Tesis: el Dr. Carlos Ferrer y el Dr. Vicente Amigó. Sin su dedicación, ayuda y labor de guía su realización habría sido imposible.

Mayor agradecimiento aún es el que debo a mi esposa Loli y a mi hijo Fidel, por su gran apoyo y paciencia al soportar el tiempo que no les he dedicado a lo largo de estos años. Mucho les debo, pero grata será la tarea de compensarlos por tanto tiempo robado.

Imposible también es no incluir en este agradecimiento a mis padres y hermano, por su apoyo y comprensión cuando no he estado disponible para ellos.

Por último, no puedo dejar de citar a todos los compañeros de trabajo del DIMM y el ITM con los que durante años he compartido mi vida. Querer nombrarlos a todos puede suponer que me deje a alguno y eso sería imperdonable. Que todos sepan que han sido lo que seguirán siendo en el futuro: amigos.

“Labor omnia improba vincit”

RESUMEN

Pese a la gran cantidad de investigaciones llevadas a cabo sobre el contacto rueda-carril en vehículos ferroviarios, son muchas las incógnitas que aún persisten y la variabilidad de los resultados encontrados por distintos autores no ayuda a mejorar la situación, dificultando el establecimiento de reglas de comportamiento y la selección de nuevos materiales.

En esta Tesis se ha usado un nuevo equipo de ensayos de discos gemelos para establecer los niveles de adherencia que pueden esperarse en un amplio rango de condiciones de carga normal y deslizamiento, tanto con las superficies limpias como en presencia de agua o aceite. Al mismo tiempo se ha obtenido una caracterización completa, en el rango de condiciones mencionado, de las consecuencias de la rodadura en lo referente al desgaste que soportan los discos y a los cambios que sufren en cuanto a la aparición de deformaciones plásticas, sus consecuencias (endurecimiento y aparición de grietas por agotamiento de la plasticidad) y otras alteraciones de la superficie como su aspecto o la rugosidad.

Disponer de una gran cantidad de resultados ha permitido establecer relaciones empíricas entre las variables de control de los ensayos (carga normal y deslizamiento) y la adherencia, la velocidad de desgaste y el resto de resultados obtenidos en las distintas condiciones de contacto (superficie limpia, con agua o con aceite), de forma que se dispone de una clara visión de la influencia de las variables de control sobre la transmisión de esfuerzos en rodadura, el desgaste y los cambios que tienen lugar en la superficie de los materiales en contacto.

En el estudio se han usado tanto aceros al carbono como acero con tratamiento bainítico de endurecimiento. Ello ha permitido estudiar las ventajas e inconvenientes de cada uno de ellos y comprobar como los aceros bainíticos proporcionan un nivel de adherencia similar pero con una peor respuesta frente al desgaste, no siendo en principio una alternativa viable a los actuales aceros ferroviarios.

ABSTRACT

Despite the huge quantity of investigations carried out on the wheel-rail contact problem, a lot of questions remains, and the variability of the data found by various authors doesn't help to improve the situation, making harder the finding of behaviour rules and the selection of new materials.

In this Thesis, a new twin-disc testing machine has been employed in order to establish the level of adherence that can be expected in a wide range on normal load and sliding conditions, both in clean and oil or water-contaminated surfaces. At the same time a complete characterization, in the mentioned range of conditions, has been obtained for the consequences of rolling with respect to the test discs wear and the changes they suffer, including plastic deformation and its consequences (hardening and cracking due to exhaustion of plasticity) and other alterations of the surface as their look or roughness.

Having a big quantity of results has allowed the identification of empirical relationships between the control variables of the tests (normal load and sliding) and adhesion, the wear rate and the other results obtained from the various contact conditions (surface clean, with water or with oil) so that you have a clear view of the influence of the control variables on the transmission of stresses in rolling, wear and changes which occur on the surface of the materials in contact.

In the study both plain carbon steels and steels with a bainitic hardening treatment have been used. This has allowed the study of the advantages and disadvantages of each material and see how bainitic steels provide a similar level of adhesion but with a worse response to wear, not being, in principle, a viable alternative to current rail steels.

RESUM

Pese a la gran quantitat d'investigacions duts a terme sobre el contacte roda-carril en vehicles ferroviaris, son moltes les incògnites que encara persisteixen i la variabilitat dels resultats trobats per distints autors no ajuda a millorar la situació, dificultant l'establiment de regles de comportament i la selecció de nous materials.

En esta Tesis s'ha usat un nou equip d'assaigs de discs bessons per a establir els nivells d'adherència que poden esperar-se en un ample ranc de condicions de carrega normal i lliscada, tant amb les superfícies netes com en presència d'aigua o oli. Al mateix temps, s'ha obtingut una caracterisació completa, en el ranc de condicions mencionat, de les conseqüències de la rodament en lo referent al desgast que suporten els discs i als canvis que patixen en quant a l'aparició de deformacions plàstiques, les seues conseqüències (enduriment i aparició de clavilles per exhauriment de la plasticitat) i atres alteracions de la superfície com el seu aspecte o la rugositat.

Dispondre d'una gran quantitat de resultats ha permés establir relacions empíriques entre les variables de control dels assaigs (carrega normal i lliscada) i l'adherència, la velocitat de desgast i la resta de resultats obtinguts en les distintes condicions de contacte (superfície neta, amb aigua o amb oli), de forma que es dispon d'una clara visió de l'influència de les variables de control sobre la transmissió d'esforços en rodament, el desgast i els canvis que tenen lloc en la superfície dels materials en contacte.

En l'estudi s'han amprat tant acers al carbono com acer amb tractament bainític d'enduriment. Això ha permés estudiar les ventages i inconvenients de cada un d'ells i comprovar com els acers bainítics proporcionen un nivell d'adherència similar pero en una pijor resposta front al desgast, no sent en principi una alternativa viable als actuals acers ferroviaris.

Nota: Todas las figuras con derechos de licencia reproducidas en la presente Tesis cuentan con los permisos correspondientes otorgados por los propietarios del Copyright. Estas licencias pueden encontrarse en el Anexo 4. El documento de origen se indica al pie de la figura.

Note: Permission to reuse all the copyrighted figures reprinted with this Thesis have been granted by the owners of the Copyright. These licenses can be found in Annex 4. The document of origin is indicated at the foot of the figure.

0:
ÍNDICE

ÍNDICE DE CONTENIDO

| | |
|--|----|
| 1.-Introducción..... | 23 |
| 1.1.-Justificación..... | 23 |
| 1.2.-Objetivos..... | 25 |
| 1.2.1.-Objetivos generales..... | 25 |
| 1.2.2.-Objetivos particulares..... | 25 |
| 1.3.-Enfoque y planificación general..... | 27 |
| 1.3.1.-Enfoques posibles..... | 27 |
| 1.3.2.-Planificación general..... | 29 |
| 1.4.-Aportaciones de la tesis..... | 31 |
| 2.-Panorama científico del contacto rueda-carril..... | 35 |
| 2.1.-Materiales para ruedas y carriles..... | 35 |
| 2.1.1.-Materiales para ruedas..... | 35 |
| 2.1.1.1.-La norma UNE-EN 13262..... | 36 |
| 2.1.1.2.-Otros materiales para la fabricación de ruedas..... | 38 |
| 2.1.1.3.-Anisotropía en ruedas de ferrocarril..... | 40 |
| 2.1.2.-Materiales para carriles..... | 41 |
| 2.1.2.1.-La norma EN-13674-1..... | 41 |
| 2.1.2.2.-Otros materiales para la fabricación de railes..... | 44 |
| 2.1.3.-La problemática de la dureza del raíl y la rueda..... | 46 |
| 2.2.-El contacto rueda-raíl..... | 48 |
| 2.2.1.-El contacto Hertziano..... | 48 |
| 2.2.2.-Deslizamientos..... | 49 |
| 2.2.3.-La curva de adherencia rueda-raíl..... | 51 |
| 2.2.4.-Distribución de las tensiones de contacto..... | 57 |
| 2.3.-El desgaste..... | 60 |
| 2.3.1.-Introducción..... | 60 |
| 2.3.2.-Mecanismos de desgaste..... | 61 |
| 2.3.3.-Modelos para el estudio del desgaste..... | 63 |
| 2.3.3.1.-Modelos energéticos y regímenes de desgaste..... | 64 |
| 2.3.3.2.-Modelos mecánicos..... | 71 |
| 2.4.-Fatiga por rodadura..... | 75 |
| 2.4.1.-Introducción..... | 75 |
| 2.4.2.-Tipos de grietas..... | 75 |
| 2.4.2.1.-Grietas superficiales..... | 76 |
| 2.4.2.2.-Grietas formadas en la “capa blanca”..... | 77 |
| 2.4.2.3.-Grietas sub-superficiales..... | 80 |

| | |
|---|-----|
| 2.4.2.4.-Grietas interiores..... | 81 |
| 2.4.3.-Grietas superficiales por fatiga..... | 82 |
| 2.4.3.1.-Fases de desarrollo..... | 82 |
| 2.4.3.2.-Histéresis plástica y nucleación de grietas..... | 86 |
| 2.4.3.3.-Influencia del agua en el crecimiento de grietas superficiales..... | 90 |
| 2.4.4.-La interacción desgaste-fatiga..... | 93 |
| 2.4.5.-Cálculos en fatiga a rodadura..... | 97 |
| 2.4.5.1.-Tensión equivalente, plano crítico e índice de daño..... | 98 |
| 2.4.5.2.-Cálculo de la vida..... | 103 |
| 2.5.-Factores de influencia en la rodadura..... | 107 |
| 2.5.1.-Influencia de los contaminantes..... | 107 |
| 2.5.1.1.-Aceites..... | 108 |
| 2.5.1.2.-Agua..... | 111 |
| 2.5.1.3.-Residuos sólidos de desgaste..... | 115 |
| 2.5.1.4.-Otros contaminantes..... | 115 |
| 2.5.2.-El “tercer cuerpo”..... | 116 |
| 2.5.3.-Influencia de la presión..... | 120 |
| 2.5.4.-Influencia de la velocidad..... | 123 |
| 2.5.5.-Dureza..... | 126 |
| 2.5.6.-Otras variables..... | 128 |
| 2.5.6.1.-Características mecánicas del material..... | 129 |
| 2.5.6.2.-Tamaño de los defectos..... | 130 |
| 2.5.6.3.-Cargas térmicas..... | 131 |
| 2.5.6.4.-Cambios de dirección..... | 131 |
| 2.5.6.5.-Curvas y picos de carga..... | 132 |
| 2.6.-Cambios en las superficies en contacto..... | 134 |
| 2.6.1.-Aspecto superficial..... | 134 |
| 2.6.2.-Deformación subsuperficial..... | 137 |
| 2.6.3.-Rugosidad..... | 140 |
| 2.6.4.-Endurecimiento..... | 143 |
| 2.6.5.-Temperatura superficial..... | 145 |
| 2.7.-Emisión acústica y tribología..... | 151 |
| 2.7.1.-Propagación de la señal de emisión acústica..... | 152 |
| 2.7.2.-Características de una señal de emisión acústica..... | 153 |
| 2.7.3.-Uso de la emisión acústica en sistemas tribológicos..... | 156 |
| 2.8.-Equipos para ensayos de rodadura..... | 158 |

| | |
|--|-----|
| 2.8.1.-Sistemas de ensayo a escala real..... | 158 |
| 2.8.2.-Equipos de ensayo de laboratorio..... | 161 |
| 3.-Planificación del trabajo a realizar..... | 171 |
| 3.1.-Variables de control..... | 171 |
| 3.1.1.-Materiales en contacto..... | 171 |
| 3.1.2.-Presión de contacto..... | 176 |
| 3.1.3.-Contaminantes..... | 177 |
| 3.1.4.-Deslizamiento..... | 177 |
| 3.2.-Resultados a estudiar..... | 179 |
| 3.3.-Procedimiento de ensayo..... | 180 |
| 3.3.1.-Reducción del número de ensayos..... | 182 |
| 3.4.-Primera tanda de ensayos..... | 184 |
| 3.5.-Segunda tanda de ensayos..... | 185 |
| 4.-Diseño del equipo de ensayos..... | 189 |
| 4.1.-Diseño y características..... | 189 |
| 4.2.-Sensores y sistema de toma de datos..... | 193 |
| 4.3.-Probetas..... | 199 |
| 5.-Resultados..... | 203 |
| 5.1.-Curvas de adherencia..... | 205 |
| 5.1.1.-Ensayos con aceros al carbono en seco..... | 205 |
| 5.1.2.-Influencia de la presencia de agua..... | 217 |
| 5.1.3.-Influencia de la presencia de aceite..... | 221 |
| 5.1.4.-Influencia de los materiales en contacto..... | 223 |
| 5.1.5.-Estudio de las curvas de adherencia..... | 237 |
| 5.1.6.-Análisis factorial..... | 242 |
| 5.1.7.-Resumen..... | 244 |
| 5.2.-Aspecto de los discos tras los ensayos..... | 247 |
| 5.2.1.-Aspecto superficial: Ensayos en seco C45-C55..... | 247 |
| 5.2.1.1.-Grupo 1: Desgaste ligero..... | 248 |
| 5.2.1.2.-Grupo 2: Desgaste severo..... | 249 |
| 5.2.1.3.-Grupo 3: Desgaste catastrófico..... | 253 |
| 5.2.1.4.-Efecto de borde..... | 255 |
| 5.2.2.-Aspecto superficial: Ensayos con agua C45-C55..... | 256 |
| 5.2.3.-Aspecto superficial: Ensayos con aceite C45-C55..... | 264 |
| 5.2.4.-Aspecto superficial: Ensayos bainítico-C55..... | 264 |
| 5.2.5.-Aspecto superficial: Ensayos con aceros bainíticos..... | 268 |
| 5.2.6.-Partículas de desgaste..... | 270 |

| | |
|---|-----|
| 5.2.7.-Resumen..... | 272 |
| 5.3.-Velocidad de desgaste..... | 275 |
| 5.3.1.-Medición del desgaste..... | 275 |
| 5.3.2.-Velocidad de desgaste para aceros al carbono..... | 276 |
| 5.3.3.-Influencia de los materiales en contacto..... | 285 |
| 5.3.4.-Estudio de las curvas de desgaste..... | 292 |
| 5.3.5.-Resumen..... | 298 |
| 5.4.-Deformación subsuperficial..... | 301 |
| 5.4.1.-Medición de la deformación subsuperficial..... | 301 |
| 5.4.2.-Profundidad afectada por la deformación: Ensayos entre aceros C45 y C55..... | 305 |
| 5.4.3.-Influencia de los materiales en contacto..... | 315 |
| 5.4.4.-Estudio de las curvas de deformación..... | 320 |
| 5.4.5.-Resumen..... | 326 |
| 5.5.-Endurecimiento superficial..... | 329 |
| 5.5.1.-Medición de la dureza superficial..... | 329 |
| 5.5.2.-Endurecimiento en los ensayos C45-C55..... | 330 |
| 5.5.3.-Influencia de los materiales en contacto..... | 336 |
| 5.5.4.-Estudio de las curvas de endurecimiento..... | 341 |
| 5.5.5.-Resumen..... | 344 |
| 5.6.-Rugosidad..... | 347 |
| 5.6.1.-Procedimiento..... | 347 |
| 5.6.2.-Rugosidad en ensayos C45-C55..... | 347 |
| 5.6.3.-Influencia del tipo de material..... | 351 |
| 5.6.4.-Estudio de las rectas de rugosidad..... | 357 |
| 5.6.5.-Resumen..... | 359 |
| 5.7.-Grietas..... | 361 |
| 5.8.-Temperatura alcanzada en la superficie..... | 371 |
| 5.8.1.-Temperatura en los ensayos entre aceros al carbono..... | 372 |
| 5.8.2.-Influencia de los materiales en contacto..... | 376 |
| 5.8.3.-Resumen..... | 378 |
| 5.9.-Emisión acústica..... | 381 |
| 5.10.-Relación entre resultados..... | 384 |
| 5.10.1.-Resumen..... | 394 |
| 6.-Conclusiones..... | 399 |
| 6.1.-Sobre el coeficiente de tracción..... | 400 |
| 6.2.-Sobre el aspecto superficial de los discos..... | 401 |

Índice de contenidos

| | |
|---|-------|
| 6.3.-Sobre el desgaste..... | 402 |
| 6.4.-Sobre la deformación subsuperficial..... | 404 |
| 6.5.-Sobre el endurecimiento..... | 405 |
| 6.6.-Sobre la rugosidad..... | 406 |
| 6.7.-Sobre la aparición de grietas..... | 407 |
| 6.8.-Sobre el aumento de temperatura superficial..... | 408 |
| 6.9.-Sobre la emisión acústica..... | 409 |
| 6.10.-Mejora de los ensayos..... | 410 |
| 6.11.-Investigaciones futuras..... | 412 |
| 6.12.-Artículos relacionados con la tesis..... | 414 |
| 7.-Bibliografía..... | 419 |
| A1.-Anexo 1: Planos y elementos del equipo de ensayos..... | en CD |
| A2.-Anexo 2: Aspecto visual de los discos tras los ensayos..... | en CD |
| A3.-Anexo 3: Aspecto de los discos tras los ensayos (x100)..... | en CD |
| A4.-Anexo 4: Licencias para reproducción de figuras..... | en CD |

ÍNDICE DE SÍMBOLOS

- aTamaño de grieta
 a_1, a_2Valores umbral del diagrama de Kitagawa-Takahashi
 a_{DV}Factor de sensibilidad a las tensiones hidrostáticas en el criterio de Dang Van
 a_eSemieje longitudinal de la elipse de contacto
 AÁrea de contacto
 A_5Alargamiento al 5%
 A_dÁrea de disipación de calor
 A_i, B_iCoeficientes de ajuste de una superficie a un polinomio de 2º grado ($i=1, 2$)
 b_eSemieje transversal de la elipse de contacto
 CCofeciente de la ecuación de Paris-Erdogan
 C_CCoeficiente de la ecuación de Clayton para el cálculo de la vida a fatiga
 C_{CM1}, C_{CM2}Exponentes de la relación de Coffin-Manson
 C_{D1}, C_{D2}Coeficientes usados en la relación lineal entre PDe y F_{nmax}
 C_{D3}, C_{D4}Coeficientes usados en la relación lineal entre PDe y Q_{med}
 C_ECapacidad calorífica específica
 C_{Ea}Capacidad calorífica específica del aire
 C_f, C_{fi}Coeficientes de ajuste usados en distintas ecuaciones para evaluar la adherencia a partir del deslizamiento ($i=1...4$)
 c_iCoeficientes de ajuste de las curvas de variación de la adherencia con la velocidad usadas en China ($i=0...4$)
 C_iCoeficientes de ajuste para la relación entre P_{nmax} y μ ($i=1, 2$)
 C_{J1}, C_{J2B}Coeficientes de la ecuación de Jiang y Sehitoglu para el cálculo de la vida a fatiga
 C_wCoeficiente de ajuste exponencial usado en la relación de Tunna entre el desgaste y la dureza
 C_{w1}, C_{w2}Coeficientes de ajuste para la ecuación de cálculo de la velocidad de desgaste en función de PD
 C_{SWT1}, C_{SWT2} ...Coeficientes de ajuste para la relación de Smith-Watson-Topper
 C_{w3}, C_{w4}Coeficientes de ajuste para la ecuación de cálculo de la velocidad de desgaste en función de P_{nmax}

- $C_{\gamma 1}, C_{\gamma 2}, C_{\gamma 3}$Coeficientes de ajuste para el cálculo del deslizamiento de estabilización
- $C_{00} C_{01} C_{02}$Coeficientes de ajuste para la evolución de la temperatura de la superficie de los discos con el tiempo
- dDistancia recorrida
- d_iTamaño de defecto en un material
- DDiámetro
- D_fMagnitud del daño soportado por el material que lleva a la aparición de una grieta
- D_{f_1}Daño causado por la acumulación de deformación plástica,
- D_tDaño total soportado
- EMódulo de Young
- E_dDensidad de flujo de energía
- E_gParámetro de disipación energética
- fCoeficiente de tracción
- f_0Coeficiente de tracción inicial
- f_pCoeficiente de tracción de sobrepico
- f_{∞}Coeficiente de tracción estabilizado
- FIÍndice de inicio de la fatiga por rodadura en la superficie
- FPParámetro de fatiga
- FPeParámetro de deformación
- FP_0Coeficiente de la ecuación de Jiang y Sehitoglu para el cálculo de la vida a fatiga
- GMódulo de elasticidad a cortadura
- HDureza
- H_0Dureza inicial
- HBDureza brinell
- H_fDureza final (límite de pseudo endurecimiento)
- JParámetro del material usado en el cálculo de FP
- kCoeficiente de Archard
- k_{HB}Coeficiente usado en la relación de Tunna entre el desgaste y la dureza
- lMitad de la longitud de la arista de una fuente de calor cuadrada
- mExponente de la ecuación de Paris-Erdogan
- NFuerza normal

| | |
|-------------------|--|
| N_c | Número de ciclos |
| $N_{c,f}$ | Número de ciclos hasta la aparición de una grieta |
| P'_{Nmax} | Presión máxima encontrada en materiales ferroviarios equivalente a la usada en esta tesis |
| PD..... | Parámetro de daño |
| PD_0 | Parámetro de daño para el que se alcanza un 50% del endurecimiento final |
| PDe..... | Parámetro de deformación |
| p_H | Exponente usado en la estimación del endurecimiento superficial en función de PD |
| P_N | Presión normal |
| $P_N(x,y)$ | Presión normal puntual en x,y |
| P_{Nmax} | Presión normal máxima |
| P'_{Nmax} | Presión normal equivalente en función de las características mecánicas del material |
| P_{Nmed} | Presión normal media |
| \dot{q} | Calor generado en el contacto por fricción |
| \dot{q}_i | Calor disipado por convección (i=1), conducción (i=2) y radiación (i=3) |
| Q..... | Tensión tangencial |
| Q_{max} | Tensión tangencial máxima |
| Q_{med} | Tensión tangencial media |
| R_i | Radios del cilindro i |
| Ra..... | Rugosidad: media aritmética del perfil |
| Rd..... | Deformación plástica acumulada unidireccional |
| Rt..... | Rugosidad: máxima diferencia entre picos y valles |
| S..... | Exponente de la ecuación de Ferrer para el cálculo de la adherencia en función del deslizamiento |
| t..... | tiempo |
| T..... | Fuerza tangencial |
| T_x, T_y | Fuerza tangencial en los ejes X e Y |
| $t_1 t_2$ | Coefficientes temporales usados en el ajuste de la evolución superficial de la temperatura de los discos |
| u_r | Velocidad del aire respecto a la superficie |
| V..... | Velocidad nominal de avance |
| V_0 | Velocidad lineal de avance |

| | |
|-----------------------------------|--|
| V_i | Velocidad real lineal en el eje i con deslizamiento |
| V_{it} | Velocidad teórica lineal en el eje i sin deslizamiento |
| V_a | Velocidad real lineal en el sentido del spin con deslizamiento |
| V_{at} | Velocidad teórica lineal en el sentido del spin sin deslizamiento |
| v_s | Velocidad de deslizamiento |
| W | Velocidad de desgaste |
| $W_{20\%}$ | Velocidad de desgaste con un 20% de deslizamiento hallada por extrapolación |
| W_t | Desgaste acumulado |
| x, x_i | Coordenada en X (del objeto i) |
| y, y_i | Coordenada en Y (del objeto i) |
| z, z_i | Coordenada en Z (del objeto i) |
| α | Factor de sensibilidad a la tensión hidrostática en el criterio de Sines y Crossland |
| γ, γ_i | Deslizamiento y deslizamiento en el eje i (i=x, y o z) |
| γ_{est} | Deslizamiento para el cual se considera que la adherencia se ha estabilizado |
| γ'_f | Coefficiente de ductilidad en fatiga cortante |
| ΔK | Rango del factor de intensidad de tensiones |
| ΔK_{TH} | Rango umbral del factor de intensidad de tensiones |
| ε | Deformación normal |
| ε_{pmax} | Deformación principal máxima |
| ε_R | Emisividad de la superficie radiante |
| ε_γ | Deformación tangencial |
| $\varepsilon_{\gamma,crit}$ | Valor de la deformación que provoca el fallo |
| $\varepsilon_{\gamma,r}$ | Deformación ortogonal causada por tensiones cortantes |
| ε'_f | Coefficiente de ductilidad a fatiga axial |
| η_a | Viscosidad dinámica del aire |
| θ | Ángulo de crecimiento de una grieta con la horizontal |
| Θ | Temperatura |
| Θ_a | Temperatura del aire |
| Θ_i | Temperatura en el eje del disco |
| λ | Conductividad térmica |
| λ_a | Conductividad térmica del aire |
| μ | Coefficiente de fricción |

| | |
|-------------------|---|
| μ_e | Coeficiente de fricción estático |
| μ_d | Coeficiente de fricción dinámico |
| ρ | Densidad |
| ρ_a | Densidad del aire |
| σ | Tensión normal |
| σ_i | Tensión normal en el plano i |
| σ_{eq} | Tensión normal equivalente |
| σ_F | Límite de fatiga |
| $\sigma_{F,di}$ | Límite de fatiga para un material con defectos de tamaño d_i |
| σ_h | Tensión hidrostática |
| $\sigma_{h, max}$ | Tensión hidrostática máxima |
| $\sigma_{h, med}$ | Tensión hidrostática media |
| σ_{max} | Tensión normal máxima |
| σ_p^{max} | Tensión máxima en el plano donde aparece $\Delta\varepsilon_{pmax}/2$ |
| σ_R | Carga de rotura |
| σ_{SB} | Constante de Stefan-Boltzmann |
| σ_Y | Límite elástico a tracción |
| σ'_f | Coeficiente de resistencia a fatiga axial |
| τ | Tensión tangencial |
| τ_{ij} | Tensión tangencial en el plano ij |
| τ_Y | Límite elástico a cortadura |
| ω_i | Velocidad de rotación del disco i |

1:
INTRODUCCIÓN

1.- INTRODUCCIÓN

1.1.- JUSTIFICACIÓN

Considerando criterios como capacidad de transporte, velocidad e impacto medioambiental, el ferrocarril supera en mucho a otros medios de transporte, eso sin contar su capacidad de limitar el tráfico rodante en zonas muy congestionadas.

El moderno desarrollo del transporte ferroviario ha traído mejoras en el diseño de vías, bogies y ruedas y también en el mantenimiento de las líneas y el stock rodante. Aunque esto pudiese suponer un descenso en el desgaste de las ruedas y los raíles y un alargamiento de su vida útil, las demandas económicas y logísticas del mundo actual han forzado también un incremento de la velocidad y de la carga por eje [1], lo que lleva inevitablemente al aumento de la magnitud de las tensiones que aparecen en el contacto rueda-raíl y de la severidad de los fenómenos tribológicos y de fatiga por rodadura que afectan tanto a la rueda como al raíl, incrementando la necesidad de control mediante ensayos no destructivos de la presencia de grietas, el remecanizado de los perfiles y, por tanto, los costes de explotación (varios cientos de millones de euros en Europa sólo en raíles [2]).

El contacto rueda-raíl no solamente controla estos fenómenos, sino que es el responsable de la transmisión de esfuerzos entre ambos, es decir, del movimiento del vehículo. El citado aumento de cargas y velocidades que buscan fabricantes y operadores lleva inexorablemente a la necesidad de mantener esa transmisión de esfuerzos en las condiciones más adversas, incluyendo la presencia de contaminantes en la vía (agua, hojas, aceites, arena,...), al mismo tiempo que se debe mantener el daño que soportan tanto la rueda como el raíl bajo mínimos.

Aunque son muchos los ensayos y estudios que se han realizado al respecto durante años, la diversidad de condiciones de contacto (materiales ferroviarios existentes, presiones, velocidades, contaminantes, ...) y la complejidad de la interacción rueda-raíl hacen que los avances en conocimiento sean muy lentos y mucho más aún su traslado al campo técnico y a una mejora sustancial del transporte ferroviario y de la necesidad

de mantenimiento. La enorme dispersión de resultados que tal cantidad y variedad de parámetros de influencia genera está, además, magnificada por el hecho de que la mayor parte de los estudios se centran sólo en uno o dos parámetros, lo que hace muy difícil que quien desea acercarse al estudio del contacto rueda-raíl pueda extraer conclusiones más o menos útiles de la bibliografía existente. Por ejemplo, aunque se tenga bastante claro como influye de forma cualitativa la variación de algunos parámetros sobre las características del contacto, es difícil llegar a cuantificar esa influencia puesto que distintos autores dan magnitudes demasiado diferentes.

Se hace por ello preciso disponer de una base amplia y sólida de partida sobre la cual desarrollar la investigación en este campo y que permita evaluar de forma adecuada la influencia de un determinado parámetro. Para conseguir esto lo primero de todo es disponer de una matriz de ensayos que abarque el rango más amplio de condiciones de ensayo posibles y caracterizar los resultados que se obtengan, tanto en lo que respecta a su comportamiento mecánico y dinámico como en lo tocante al daño y los cambios que sufren los materiales en contacto. A partir de ese punto se dispondrá de una visión tanto global como de detalle de la problemática asociada al sistema rueda-raíl y será posible ir introduciendo cambios para valorar su influencia y desarrollar nuevas investigaciones sin verse perdido entre un maremagnum de resultados que no pueden compararse entre sí.

Pero no basta con conocer la fenomenología afecta a la rodadura. Esos conocimientos deben traducirse en nuevas soluciones que mejoren la seguridad y el coste económico asociado a la red ferroviaria. De entre las variables que mayores mejoras podrían aportar, también económicamente al reducir la necesidad de prevención y mantenimiento, a la rodadura se puede destacar el uso de materiales con propiedades mejoradas, siendo además de las pocas realmente controlables. Es en este apartado donde los aceros bainíticos han estado atrayendo la atención de la comunidad investigadora durante años, aunque la mayor parte de veces los resultados no han estado a la altura de las expectativas. Aún así, el uso de estos aceros sigue siendo una opción a considerar si consiguen ajustarse sus propiedades para obtener una adecuada resistencia al desgaste, principal problema con el que se enfrentan.

1.2.- OBJETIVOS

1.2.1.- OBJETIVOS GENERALES

En base a la problemática descrita en el apartado anterior y a la revisión bibliográfica realizada se decidió que la presente tesis tuviese dos objetivos generales:

- Obtener una amplia caracterización del comportamiento de un sistema rodante consistente en dos discos de aceros al carbono frente a los cambios que pueden producirse en las principales variables de influencia. Ello se hará en base tanto a la transmisión de esfuerzos entre los discos como a los cambios que se producen en ellos como consecuencia de la rodadura.
- Estudiar la viabilidad de usar aceros con tratamiento bainítico como sustitutivos de los aceros ferroviarios al carbono actuales en base a comparar los resultados que se obtienen con ellos con los obtenidos entre aceros al carbono.

1.2.2.- OBJETIVOS PARTICULARES

Con el fin de alcanzar los objetivos generales presentados en el punto anterior es preciso llegar primero a los objetivos particulares siguientes:

1. Diseñar y construir un equipo de ensayos de discos gemelos que permita la realización de los ensayos. Este equipo deberá ir dotado de una serie de sensores para recogida de datos.
2. Estudiar la adherencia o transmisión de esfuerzos entre los discos de aceros al carbono en función de las variables de control seleccionadas:
 - Deslizamiento.
 - Presión normal.
 - Contaminante en el contacto: Ninguno, agua o aceite.
3. Estudiar el desgaste soportado por los discos en los ensayos entre aceros al carbono en función de las variables de control y discernir las causas y particularidades del mismo.

4. Estudiar los cambios que se producen en la superficie de los discos en los ensayos entre aceros al carbono en función de las variables de control. Estos cambios incluyen: aspecto superficial, deformación plástica, endurecimiento y cambios en la rugosidad.
5. Estudiar el aumento de temperatura que se alcanza durante los ensayos entre aceros al carbono.
6. Estudiar la emisión acústica asociada a los ensayos.
7. Repetir los puntos 2 a 6 pero usando un acero al carbono y uno bainítico y después dos aceros bainíticos. Se usarán aceros bainíticos con distintos niveles de endurecimiento para evaluar la influencia de ese endurecimiento.
8. Estudiar y modelizar la relación existente entre los resultados obtenidos y las variables de control.
9. Comparar los resultados obtenidos usando aceros al carbono con los que se obtienen con aceros bainíticos para evaluar la posibilidad de usar éstos últimos.

1.3.- ENFOQUE Y PLANIFICACIÓN GENERAL

En los siguientes apartados se detalla brevemente el enfoque que se le da al presente estudio y se planifican a grandes rasgos los pasos para llevarlo a cabo. Una descripción más detallada de la planificación puede verse en el capítulo 3.

1.3.1.- ENFOQUES POSIBLES

A lo largo del tiempo han sido muchas las formas de estudiar el comportamiento de un elemento que trabaja a rodadura, aunque es posible, dejando a un lado los estudios meramente teóricos o de simulación por ordenador, hacer una clasificación atendiendo a sus características diferenciales:

1. Ensayo de campo: Más que ensayos, en muchas ocasiones se trata de estudios realizados sobre ferrocarriles en funcionamiento normal, acoplando sensores a ruedas y raíles para evaluar su comportamiento. Por desgracia estos ensayos son muy costosos tanto en tiempo como en dinero.
2. Ensayos de simulación en laboratorio: Se trata de ensayos a escala real que buscan reproducir las condiciones que se dan durante la circulación por vía férrea, mejorando el control del mismo y la toma de datos.
3. Ensayos simplificados en laboratorio: Son ensayos a escala más pequeña y con una geometría simplificada, pero que permiten un gran control de los parámetros del ensayo y tienen un coste muy reducido.

Además de esta clasificación, como acertadamente comenta J. Kalousek [3], existen 2 formas de enfocar el problema: la de los ingenieros aplicados y la de los investigadores académicos. Los primeros, obligados a tomar decisiones diarias con pocos datos, emplean ecuaciones cuyos parámetros se ajustan estadísticamente a los datos obtenidos y consideran a las instituciones académicas muy alejadas de las regulaciones y normativas que limitan su campo de acción. Los segundos, que evitan el enfoque anterior por su falta de rigor documental y en el proceso de estudio científico, buscan seguir los modelos teóricos para incluir en las ecuaciones

de comportamiento solamente aquellos parámetros conocidos que hagan referencia a las características del material o del sistema estudiado, aunque requieren mucha más información y no siempre son los que más se ajustan a los datos experimentales.

Así pues, como cada uno tiene un forma de afrontar un mismo problema. unos buscaran desarrollar modelos complejos en los que se controlen adecuadamente unas variables y las otras se mantengan invariantes, mientras que otros se decantarán por un modelo simplificado basado en datos de campo que les permita tomar decisiones diariamente independientemente de la habitual incertidumbre que existe fuera de los laboratorios. ¿Es un enfoque mejor que el otro?. No, cada uno tiene una razón de ser.

En esta tesis se ha optado por realizar ensayos simplificados de laboratorio por dos razones: porque permiten realizar gran cantidad de ellos en un tiempo razonable, aportando los datos que se precisan, y porque lleva hasta valores admisibles el gasto económico asociado a la investigación.

En cuanto al enfoque que se dará al estudio de los resultados, éste pretende ser más aplicado que puramente académico, puesto que la tesis misma esta centrada en la realización de ensayos y no en el estudio matemático o analítico del sistema rueda-raíl y su problemática asociada. De todas formas, se espera que en el futuro los resultados aquí obtenidos puedan ayudar a desarrollar y comprobar una teoría más avanzada sobre los temas que se estudian.

Este tipo de ensayos supone que se esta realizando un escalado del sistema original tanto sobre la geometría como sobre las cargas aplicadas, aunque se presupone que las condiciones generales que se obtienen con el ensayo de discos gemelos son similares a las que aparecen en condiciones reales, incluyendo la acumulación de deformación plástica en la superficie de los especímenes.

Por desgracia, los ensayos realizados con una máquina de disco gemelo no carecen de defectos, de entre ellos cabe destacar que, al contrario que sucede en la realidad, las únicas tensiones importantes que aparecen en los discos son las de contacto, por lo que las grietas no tienen forma de

crecer hacia el interior del disco [4] y siempre acabarán produciendo una delaminación (en cualquier caso ésto es lo que suele suceder también en vía). Otra limitación importante es que, a menos que se complique el diseño del equipo, no tienen capacidad de simular ni el deslizamiento lateral ni el angular (spin).

1.3.2.- PLANIFICACIÓN GENERAL

Con el fin de alcanzar los objetivos citados en el capítulo 1.2, se ha elaborado la siguiente planificación:

Fase 1: Revisión bibliográfica para conocer el estado del arte. Esta revisión se centrará en los siguientes puntos:

- Información básica sobre el contacto rueda-raíl y su geometría.
- Parámetros de influencia sobre el sistema rueda-raíl: carga normal, deslizamiento, etc...
- Transmisión de esfuerzos entre la rueda y el raíl, en base a la conocida como “curva de adherencia”.
- Desgaste y aparición de grietas debido a la rodadura.
- Otros cambios en la rueda y el raíl debidos a la rodadura: endurecimiento, deformación plástica, etc...
- Sistemas y equipos de ensayo para el estudio del contacto en rodadura.

Fase 2: Planificación de los ensayos y selección de los resultados a estudiar. Consta de dos partes:

- Selección de las variables de control que definirán los ensayos a realizar de acuerdo con la bibliografía revisada. Al mismo tiempo se seleccionarán los valores exactos de estas variables que se usarán en los ensayos, de forma que se cubra un rango de valores apropiado para cumplir con los objetivos de esta tesis. Esta selección es la base para definir la planificación de los ensayos a realizar.

- Selección de los parámetros a estudiar como resultados de los ensayos realizados. Se seleccionarán aquellos que mejor puedan caracterizar el comportamiento del sistema rueda-raíl, el daño soportado por los elementos rodantes en contacto y los cambios que sufran a lo largo del ensayo.

Fase 3: Fabricación de un equipo de ensayos de laboratorio para rodadura. Esta fase puede dividirse en las siguientes etapas:

- Selección de las características que debe tener el equipo, sobre todo en cuanto a sus capacidades.
- Diseño del equipo y realización de planos.
- Fabricación y montaje del equipo de ensayos.
- Comprobación de la bondad de su funcionamiento y ejecución de las correcciones necesarias.

Fase 4: Realización de ensayos y toma de datos. Estos ensayos se realizarán de acuerdo con la matriz de ensayos que se diseñe en la fase 2 y los resultados que se obtengan deben servir como base fundamental sobre la que comparar los que se obtengan en investigaciones posteriores.

Fase 5: Estudio de los resultados obtenidos, de su relación con las variables de control y de la viabilidad de usar aceros bainíticos con alto contenido en carbono como sustitutos de los aceros ferroviarios actuales. De ser posible se identificarán las leyes de comportamiento que relacionen las variables de entrada con la respuesta del sistema rodante y los cambios que tengan lugar en las superficies en contacto.

Este estudio debería permitir la identificación de las variables más influyentes sobre cada uno de los parámetros que se estudien como resultados y la elaboración de una serie de conclusiones.

1.4.- APORTACIONES DE LA TESIS

La realización de la presente tesis ha supuesto las siguientes aportaciones:

- Se ha construido un equipo de ensayo de discos gemelos con un amplio control del mismo y que permite también la realización de ensayos de frenada.
- Se ha comprobado la posibilidad de usar aceros al carbono comunes para estudiar el contacto rueda-carril sin necesidad de recurrir al mecanizado de discos a partir de elementos ferroviarios.
- Se ha estudiado la respuesta de los aceros bainíticos empleados en comparación con los aceros al carbono, llegándose a la conclusión de que no son una opción viable por su menor resistencia a la delaminación.
- Se ha evaluado la adherencia en un amplio rango de condiciones de presión normal y deslizamiento, tanto en seco como añadiendo agua o aceite al contacto, encontrándose una escasa influencia del tipo de acero empleado.
- Se ha evaluado el desgaste en un amplio rango de condiciones de presión normal y deslizamiento, tanto en seco como añadiendo agua o aceite al contacto, siendo los resultados más destacables la notable influencia de la geometría de los discos y el peor comportamiento encontrado en los aceros bainíticos, pese a su mayor dureza.
- Se han estudiado los cambios que se producen en la superficie de los discos en cuanto a su aspecto, su rugosidad, la deformación plástica que soportan y el endurecimiento que ello implica, tanto en seco como con agua o con aceite y para los distintos materiales ensayados.
- Se ha estudiado el aumento de temperatura que experimentan los discos durante los ensayos, encontrándose valores inferiores a los necesarios para que las propiedades mecánicas de los aceros se resientan.
- Se han relacionado los distintos resultados obtenidos con las

variables de control (presión normal y deslizamiento) o con algún parámetro derivado de ellas, estableciéndose leyes de comportamiento para las distintas condiciones de contacto (seco, agua o aceite) y los distintos materiales ensayados.

- Se han estudiado las peculiaridades del crecimiento de grietas en rodadura y que lo diferencian de otros sistemas también afectados por procesos de fatiga.
- Se ha comprobado que el estudio de la emisión acústica asociada a la rodadura puede ser útil para estudiar este fenómeno, siempre y cuando se adopten determinadas precauciones, que no ha sido posible mantener en esta tesis.

2:

PANORAMA CIENTÍFICO DEL
CONTACTO RUEDA-CARRÍL

2.- PANORAMA CIENTÍFICO DEL CONTACTO RUEDA-CARRIL

Este capítulo está dedicado a la recopilación de la información publicada hasta el momento de la realización de la presente tesis sobre los temas objeto de la misma.

2.1.- MATERIALES PARA RUEDAS Y CARRILES

En este apartado se hace una descripción de las características de los aceros empleados en la fabricación de las ruedas y raíles empleados en la industria ferroviaria. Aunque se describen principalmente las características de los mismos en base a la normativa comunmente aplicada en España y Europa, se describen también las propuestas realizadas por distintos autores para la fabricación de estos elementos.

2.1.1.- MATERIALES PARA RUEDAS

En los últimos 30 años ha habido una mejora sustancial de los procesos de fabricación de ruedas y de las técnicas de inspección [5]. Estas mejoras incluyen la limpieza de los aceros, su consistencia y calidad. Los avances incluyen también el cambio de la colada en lingote a colada continua y la adopción de límites en la composición química de la rueda.

Las ruedas modernas, con un contenido en carbono inferior a sus predecesoras se fabrican a partir de acero desgasificado en una atmósfera de argón. Esto limita el contenido en hidrógeno a menos de 2 partes por millón y reduce los riesgos de fragilidad por hidrógeno [6]. El control de la composición química limita también la cantidad de inclusiones no-metálicas que podrían actuar como concentradores de tensión. Además, cualquier defecto macroscópico debería ser detectado por las inspecciones ultrasónicas que se realizan al final del proceso de fabricación. Finalmente las ruedas se someten a un temple superficial con el fin de generar tensiones residuales de compresión en la banda de rodadura y reducir el tamaño de grano. Dada la baja templabilidad del acero usado, la aparición de martensita queda limitada a una delgada capa superficial que se elimina por mecanizado durante el acabado [3].

La elección final del material con el que se va a fabricar una rueda depende, sin olvidar nunca la normativa aplicable en cada país, del

equilibrio que se obtenga entre el coste, la resistencia al desgaste y la resistencia a la fatiga.

De todas formas, la búsqueda de los aceros más apropiados a la rodadura no ha terminado y se siguen evaluando distintos aceros y tratamientos con el fin de mejorar la resistencia al agrietamiento y al desgaste

2.1.1.1.- LA NORMA UNE-EN 13262

En España es la norma UNE-EN 13262, transposición de su homóloga europea, la que describe las características de las ruedas objeto de esta tesis:

- **Composición:** Se establecen 4 tipos de acero ER6 e ER9, cuya principal diferencia es el aumento en el contenido de C desde un 0.48 a un 0.60. Esto indica que en todos los casos se trata de aceros hipoeutectoides, susceptibles de ser sometidos a tratamientos térmicos para mejorar sus propiedades, normalmente mediante temple superficial.

| Acero | Contenido máximo en % | | | | | | | | | | |
|-------|-----------------------|------|------|-------|-------|------|------|------|------|------|----------|
| | C | Si | Mn | P | S | Cr | Cu | Mo | Ni | V | Cr+Mo+Ni |
| ER6 | 0.48 | 0.40 | 0.75 | 0.020 | 0.015 | 0.30 | 0.30 | 0.08 | 0.30 | 0.06 | 0.50 |
| ER7 | 0.52 | 0.40 | 0.80 | 0.020 | 0.015 | 0.30 | 0.30 | 0.08 | 0.30 | 0.06 | 0.50 |
| ER8 | 0.56 | 0.40 | 0.80 | 0.020 | 0.015 | 0.30 | 0.30 | 0.08 | 0.30 | 0.06 | 0.50 |
| ER9 | 0.60 | 0.40 | 0.80 | 0.020 | 0.015 | 0.30 | 0.30 | 0.08 | 0.30 | 0.06 | 0.50 |

Tabla 1.- Composición de los aceros empleados en la fabricación de ruedas según la UNE-EN 13262

- **Resistencia mecánica a tracción:** La tabla 2 muestra las características mecánicas que deben alcanzarse tanto en el velo como en la llanta, obtenidos en ensayos de tracción, para que puedan emplearse en la fabricación de ruedas.

| Acero | Llanta | | | Velo | |
|-------|------------|------------|------------------|-------------------------|------------------|
| | σ_Y | σ_R | A ₅ % | Reducción de σ_R | A ₅ % |
| ER6 | ≥ 500 | 780/900 | ≥ 15 | ≥ 100 | ≥ 16 |
| ER7 | ≥ 520 | 820/940 | ≥ 14 | ≥ 110 | ≥ 16 |
| ER8 | ≥ 540 | 860/980 | ≥ 13 | ≥ 120 | ≥ 16 |
| ER9 | ≥ 580 | 900/1050 | ≥ 12 | ≥ 130 | ≥ 14 |

Tabla 2.-Propiedades mecánicas de los aceros empleados en la fabricación de ruedas según la UNE-EN 13262. Valores de tensión en MPa.

- Dureza en la llanta: Al igual que ocurre con la carga de rotura, al aumentar el contenido de C, también se le exige al acero una mayor dureza. En este caso, los valores de la tabla deben alcanzarse hasta una profundidad de 35 mm bajo la banda de rodadura. La categoría 1 se suele emplear para ferrocarriles que circulan a más de 200 Km/h.

No obstante, la dureza debe disminuir conforme nos alejamos de la llanta, debiendo haber caído en 10 unidades HB en la zona de transición llanta-velo.

| Acero | Valor mínimo de dureza Brinell | |
|-------|--------------------------------|-------------|
| | Categoría 1 | Categoría 2 |
| ER6 | - | 225 |
| ER7 | 245 | 235 |
| ER8 | 245 | 245 |
| ER9 | - | 255 |

Tabla 3.-Dureza mínima de la llanta según la UNE-EN 13262.

Además de las anteriores restricciones, se establecen límites para la resiliencia, la resistencia a fatiga (la rueda debe superar 10 millones de ciclos con una probabilidad del 99.7%), tenacidad, homogeneidad y limpieza microestructural, rugosidad o tensiones residuales (entre 80 y 150 N/mm² cerca de la superficie).

No es el objetivo de este estudio estudiar esta norma, pero hay que

tener en cuenta que marca unos límites dentro de los cuales se moverán algunas de las características mecánicas de las ruedas de ferrocarril en España.

Existe una multitud de otras normas para la fabricación de ruedas, aplicables en distintos países, y que no se van a analizar aquí por no aportar excesivas diferencias respecto a la EN 13262 (hay un buen resumen de ellas en [8]). Algunas de las más encontradas en artículos son la BS 5892-2 y la UIC 812-3.

2.1.1.2.- OTROS MATERIALES PARA LA FABRICACIÓN DE RUEDAS

La mayor parte de los aceros estudiados por la comunidad científica corresponden a los aceros casi-perlíticos descritos por la norma de uso en cada país o a variaciones de los mismos, ya que pocos aceros pueden competir con estos en lo referente a resistencia al desgaste [9]. Otros pueden englobarse dentro del grupo de los bainíticos.

Los aceros bainíticos típicos contienen muy poco carbono, pero una mayor proporción en Mn, Cr, Mo y B que los perlíticos. El enfriamiento rápido en estos aceros parece producir un material más resistente a la fatiga por rodadura y el desconchado. No obstante, se espera una velocidad de desgaste mayor debido a su menor contenido en carbono [5] y a la menor resistencia a cortadura que ofrecen los carburos precipitados frente a las láminas de perlita [10], como muestran gran parte de los resultados publicados [11]. Pese a ello, estos aceros siguen manteniendo la atención de los investigadores [12] y se les ha atribuido muchas veces la propiedad de presentar la velocidad de desgaste justa para eliminar rápidamente las grietas que aparecen en rodadura [10].

El acero propuesto por Ekberg y Sotkovski [13] tiene una microestructura ferrítico-perlítica de grano fino y un buen control de impurezas. De los ensayos realizados por estos autores se infiere una mejora del comportamiento mecánico sin pérdida de ductilidad, incluso a bajas temperaturas. Su menor proporción de ferrita mejoró la resistencia del material hasta en un 15%, al igual que la reducción del tamaño de grano mejoró la fatiga.

El acero Imacro [5], con un contenido en Cr superior al 4% y algo de

Niobio, posee una estructura martensítica relativamente blanda obtenida por temple en agua. Esta estructura parece mejorar el comportamiento frente a la fatiga, a la vez que mantiene la resistencia al desgaste.

El acero “WT superior steel” [6] fabricado por la empresa italiana Lucchini posee un mayor contenido en silicio para reducir la susceptibilidad al daño térmico, mientras que el 1% de manganeso controla la dureza.

Por su parte, Jiang [14] estudió un acero Hadfield (usados para algunos componentes de la vía ferrea sometidos a condiciones severas [11]) con estructura austenítica, comparandolo con un acero bainítico con una estructura bainítico-ferrítica, aunque, como se ve en la figura 1, el bainítico presentó una vida a fatiga mucho más elevada.

Este comportamiento del acero Hadfield se debe a su mayor ductilidad, que le lleva a experimentar una elevada acumulación de deformaciones plásticas, con el daño que eso supone .

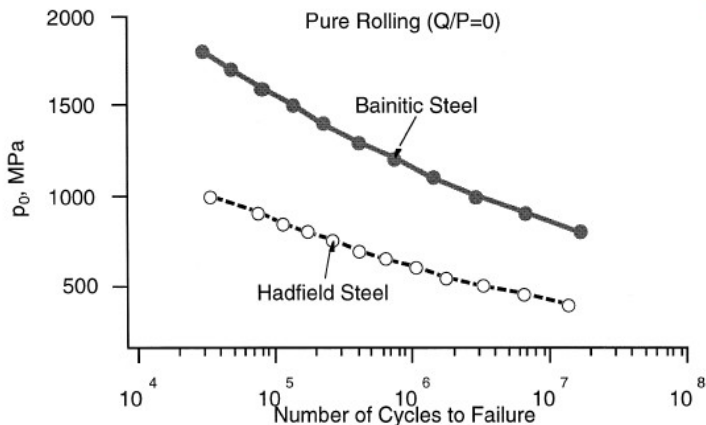


Figura 1: Curvas de fatiga por rodadura para los aceros bainítico y Hadfield estudiados por Jiang [14]

Cassidy [15] estudió la posibilidad de usar un acero bainítico de bajo contenido en carbono y una aleación hierro-níquel con el fin de mejorar la resistencia a la formación de martensita. Aunque en ambos casos se evita esta transformación, el acero bainítico no puede evitar la formación de “planos” debido a la pérdida de características que sufre al aumentar la temperatura.

También se ha propuesto el uso de una fundición nodular bainítica [16] [17]. Este material combina alta resistencia al desgaste por el efecto lubricante de los nódulos de grafito (los cuales también amortiguan notablemente el ruido) con una elevada ductilidad [5]. No obstante, este material presenta una menor resistencia a la fractura que el acero y hace bajar el coeficiente de tracción [18]. Del análisis mediante elementos finitos de su mecánica de fractura realizado por Kuna [19] se deduce que estas ruedas cumplen todos los requisitos para poder circular por las vías alemanas. Naturalmente, se requerirían pruebas adicionales para confirmar tal afirmación.

2.1.1.3.- ANISOTROPÍA EN RUEDAS DE FERROCARRIL

Tanto el proceso de fabricación por forja como la deformación plástica que tiene lugar durante el servicio hacen que el material presente una marcada anisotropía, dificultándose el estudio de la rodadura por medios analíticos. Por ejemplo, para el acero R7 el espesor de las laminas de perlita oscila entre 0.14 y 0.19 micras [1], aunque la microestructura que se encuentra en una rueda varía desde el centro de la banda de rodadura a la pestaña y con la profundidad. Como mucho se puede afirmar que las propiedades del material dependen de la zona de donde se extrae la probeta [13].

También el temple superficial que se da a la rueda para aumentar su resistencia al desgaste cambia la isotropía del material. Este tratamiento endurece la superficie de la llanta y cambia tanto sus características resistentes como su microestructura, creando gradientes microestructurales y de dureza que afectarán fuertemente a la respuesta local del material frente a las cargas de rodadura que deberá soportar. En la figura 2, elaborada por Walther y Eifler [20] en base a ensayos de fatiga en tracción, puede verse como cada sección de la rueda tiene unas propiedades mecánicas distintas dependiendo de su posición. Exactamente lo mismo ocurre si se está hablando de raíles.

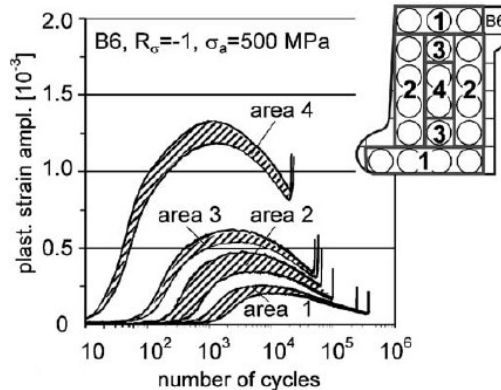


Figura 2: Cambios en la amplitud de las deformaciones plásticas durante un ensayo de fatiga con control de carga para distintas partes de la llanta [20]

Los mismos autores indican, para una rueda fabricada con un acero R7, que la proporción de ferrita varía desde un 6% cerca de la banda de rodadura hasta un máximo del 20%. Esta menor proporción de ferrita en la banda de rodadura implica una mayor resistencia a las deformaciones plásticas y al agrietamiento por agotamiento de la plasticidad del material, lo que termina provocando una mayor resistencia del material frente a la fatiga por rodadura, alargando su vida útil.

2.1.2.- MATERIALES PARA CARRILES

En los materiales para carriles, más duros, sucede igual que con las ruedas y se siguen buscando materiales que puedan mejorar sus propiedades, incluso con recubrimientos de materiales muy duros. A continuación se describen las principales características que se les exigen de acuerdo con la norma EN-13674-1 y las de otros aceros probados por distintos investigadores.

2.1.2.1.- LA NORMA EN-13674-1

Esta norma europea, que va sustituyendo a la UIC 860-0, se diferencia de ésta última en algunos puntos como el número de grados de acero (7 clasificados por su dureza frente a 4 clasificados por su carga de rotura) o la obligación de desgasificar el acero y permitir sólo colada en continuo, además de añadir una extensa batería de pruebas de aceptación [21].

La UNE-EN 13674-1 establece una serie de grados para los aceros a usar en la fabricación de carriles. Esta clasificación puede verse en la tabla 4. La composición de cada material se detalla en la tabla 5.

| Grado | Número | Dureza (HBW) | Características |
|----------|--------|--------------|--------------------------|
| R200 | 1.0521 | 200-240 | No aleado (C-Mn). Sin TT |
| R220 | 1.0524 | 220-260 | No aleado (C-Mn). Sin TT |
| R260 | 1.0623 | 260-300 | No aleado (C-Mn). Sin TT |
| R260Mn | 1.0624 | 260-300 | No aleado (C-Mn). Sin TT |
| R320Cr | 1.0915 | 320-360 | Aleado (1% Cr). Sin TT |
| R350HT | 1.0631 | 350-390 | No aleado (C-Mn). Con TT |
| R350LHT | 1.0632 | 350-390 | No aleado (C-Mn). Con TT |
| R370CrHT | 1.0992 | 370-410 | No aleado (C-Mn). Con TT |
| R400HT | 1.1254 | 400-440 | No aleado (C-Mn). Con TT |

Tabla 4.- Grados de acero para carriles según la norma UNE-EN 13674-1 (TT=Tratamiento térmico).

Aquí es preciso destacar la elevada importancia que están adquiriendo últimamente los raíles con tratamiento térmico para reducir el espacio lamelar en la perlita que los compone, con resultados especialmente buenos en muchas situaciones [22].

Otras restricciones que establece la norma hacen referencia a la presencia de tensiones residuales, segregaciones, resistencia mecánica y a la fisuración, propagación de grietas o a la vida a fatiga, que se evalúa de acuerdo con la norma ISO 1099 con un criterio de aceptación de que para una deformación de 0.00135 la vida debe ser superior a 5 millones de ciclos.

La composición de los aceros contemplados en la norma puede verse en la tabla 5 junto con su nomenclatura. Además se establecen severos límites a la presencia de oxígeno e hidrógeno en el acero, de $2 \cdot 10^{-3}$ ppm para el oxígeno y de $3 \cdot 10^{-4}$ o menos para el hidrógeno.

| Acero | % en masa | | | | | | | | |
|----------|-----------|-----------|-----------|-------|-------|-----------|-------|-------|-------|
| | C | Si | Mn | P(≤) | S(≤) | Cr | Al(≤) | V(≤) | N(≤) |
| R200 | 0.38-0.62 | 0.13-0.60 | 0.65-1.25 | 0.040 | 0.040 | ≤0.15 | 0.004 | 0.030 | 0.010 |
| R220 | 0.48-0.62 | 0.18-0.62 | 0.95-1.30 | 0.030 | 0.030 | ≤0.15 | 0.004 | 0.030 | 0.010 |
| R260 | 0.60-0.82 | 0.13-0.60 | 0.65-1.25 | 0.030 | 0.030 | ≤0.15 | 0.004 | 0.030 | 0.010 |
| R260Mn | 0.53-0.77 | 0.13-0.60 | 1.25-1.75 | 0.030 | 0.030 | ≤0.15 | 0.004 | 0.030 | 0.010 |
| R320Cr | 0.58-0.82 | 0.48-1.12 | 0.75-1.25 | 0.030 | 0.030 | 0.75-1.25 | 0.004 | 0.030 | 0.010 |
| R350Ht | 0.70-0.82 | 0.13-0.60 | 0.65-1.25 | 0.030 | 0.030 | ≤0.15 | 0.004 | 0.030 | 0.010 |
| R350LHT | 0.70-0.82 | 0.13-0.60 | 0.65-1.25 | 0.030 | 0.030 | ≤0.15 | 0.004 | 0.030 | 0.010 |
| R370CrHT | 0.68-0.84 | 0.38-1.02 | 0.65-1.15 | 0.025 | 0.025 | 0.35-0.65 | 0.004 | 0.030 | 0.010 |
| R400HT | 0.88-1.07 | 0.18-0.62 | 0.95-1.35 | 0.025 | 0.025 | ≤0.15 | 0.004 | 0.030 | 0.010 |

Tabla 5.- Composición y propiedades mecánicas de los grados de acero definidos por la norma UNE-EN 13674-1:2011

Algunas de las propiedades que deben presentar se resumen en la tabla 6.

| Acero | σ_R (MPa) | ϵ (%) | HBW (superficial) |
|----------|------------------|----------------|-------------------|
| R200 | 680 | 14 | 220-240 |
| R220 | 770 | 12 | 240-260 |
| R260 | 880 | 10 | 260-300 |
| R260Mn | 880 | 10 | 260-300 |
| R320Cr | 1080 | 9 | 320-360 |
| R350Ht | 1175 | 9 | 350-390 |
| R350LHT | 1175 | 9 | 350-390 |
| R370CrHT | 1280 | 9 | 370-410 |
| R400HT | 1280 | 9 | 400-440 |

Tabla 6.- Valores de carga de rotura, alargamiento y dureza de la superficie de rodadura para raíles de acuerdo con la norma EN-13674-1.

2.1.2.2.- OTROS MATERIALES PARA LA FABRICACIÓN DE RAILES

Dejando a un lado el resto de normas nacionales o internacionales para la fabricación de raíles (GOST 10791, AAR M107-84, UIC 812-3V,...), todas, en el fondo, bastante similares, han sido los aceros bainíticos -también evaluados en ocasiones para la fabricación de ruedas- los que llevan atrayendo la atención de los investigadores en este campo desde hace más de 40 años. Aún así también hoy en día son frecuentemente considerados una opción para la fabricación de carriles en la industria ferroviaria [22], con resultados, como indica Sawley [23], muchas veces contradictorios. En realidad parece que aportan mayor resistencia al desgaste y a la fatiga que los aceros perlíticos habituales si se trata de bainita fina y condiciones de contacto severas, aunque menos para bainita gruesa o condiciones menos exigentes [24].

El Oregon Graduate Institute [23] ha comparado varios de estos aceros con un acero perlítico HH (similar al R370CrHT). Los mejores resultados se obtuvieron con el acero bainítico de mayor límite elástico (1003 MPa). No obstante, en ensayos en vía el desgaste fue mayor (hasta 1.6 veces) en el acero bainítico. Donde se encontró una más que notable mejora fue en la resistencia a la nucleación y crecimiento de grietas, exceptuando las soldaduras, mucho más problemáticas debido a la aparición de tensiones residuales y estructuras frágiles en la zona de afección térmica (ZAC). En la figura 3 puede verse el aspecto de dos raíles, uno perlítico y otro bainítico tras el mismo tiempo instalados en vía. Aunque el desgaste del acero bainítico es mayor, la menor necesidad de reperfilear los raíles puede hacer que, al final los costes sean menores para el acero bainítico.

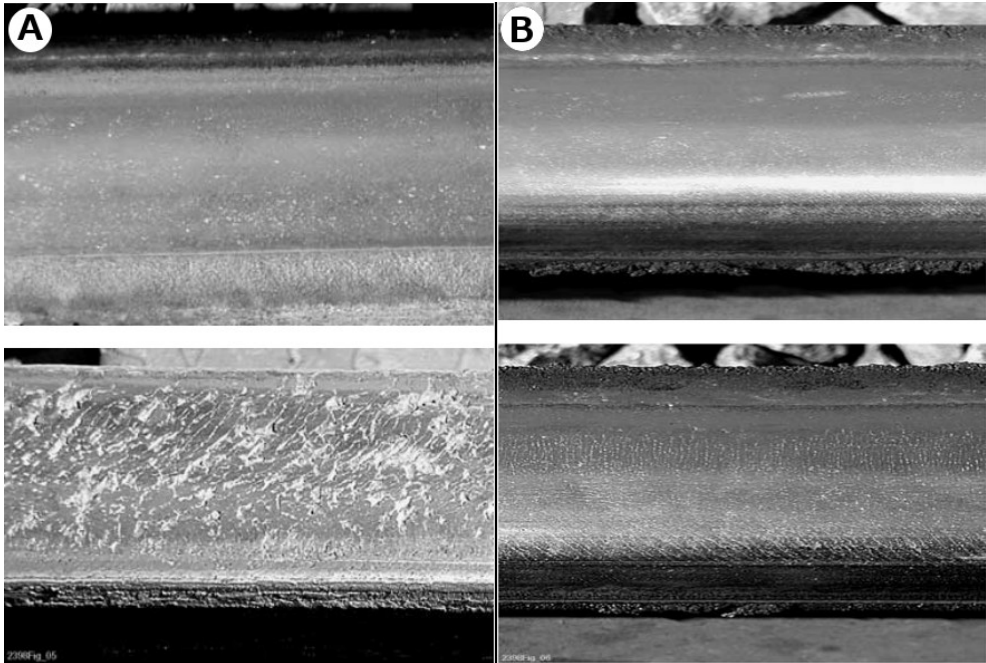


Figura 3: Aspecto de los raíles de ambos lados de una curva a los dos años de su instalación. A: Acero perlítico HH. B: Acero bainítico. [23]

Sin llegar a la dureza de un acero bainítico, también se ha propuesto el uso de aceros hipereutectoides obtenidos mediante un proceso especial que aumenta su ductilidad [25]. Este tipo de aceros han mostrado tener una resistencia al desgaste superior a la obtenida con muchos otros materiales [26], incluidos aquellos con endurecimiento superficial.

Otras opciones para mejorar el comportamiento de los raíles ha sido endurecer la cabeza del raíl, lo que parece dar buenos resultados [17] en cuanto a mejora frente al desgaste y a fatiga o, incluso, usar recubrimientos. Kapoor [27][28] ha ensayado raíles UIC (grado 260) 900A recubiertos con recubrimiento duro Duroc® mediante laser-cladding con durezas iniciales de 370 y 530 HV (el autor no da más información sobre los recubrimientos). Algunos de los recubrimientos ensayados mostraron una mejora prometedora respecto al material inicial en lo que respecta a la resistencia a la fatiga y al desgaste, aunque el comportamiento del recubrimiento dependió mucho de si los ensayos de laboratorio se realizaban en seco o con lubricación por agua (algunos recubrimientos presentaron fallo en la

interfase metal base-recubrimiento), por lo que no se alcanzó una conclusión clara.

2.1.3.- LA PROBLEMÁTICA DE LA DUREZA DEL RAÍL Y LA RUEDA

La inmensa mayoría de las investigaciones, ya sea en laboratorio o en campo, se orientan a conocer el comportamiento del raíl o de la rueda. En muchos casos es posible obtener como resultado que determinado material tiene un comportamiento excelente frente al desgaste o frente a la fatiga, pero el investigador obvia que son dos las superficies que están en contacto y que ninguna de ellas debería causar más problemas de los necesarios a los encargados del mantenimiento.

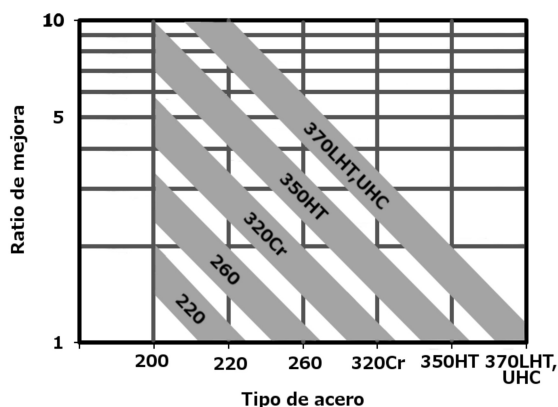


Figura 4: Mejora en la resistencia al desgaste del raíl en función de su dureza. Basada en datos de [251].

La primera duda que se plantea es qué dureza elegir para cada uno de los elementos. La figura 4 es una guía para cuantificar la mejora frente al desgaste del raíl al cambiar un material por otro, dentro de los definidos por la norma, con el fin de obtener la mejor resistencia posible al desgaste. Por su parte, la figura 5 muestra como influye la relación entre las durezas del raíl y la rueda sobre la velocidad de desgaste. De acuerdo con esta figura, el aumento de la dureza del raíl (la de la rueda se mantiene constante) por encima de la de la rueda aumentará su resistencia al desgaste sin disminuir la de la rueda. Es por ello que los raíles siempre son más duros, además de que ello supone un menor coste de mantenimiento, dado que sustituir los raíles es mucho más caro que sustituir las ruedas. No obstante, la influencia de un incremento de la dureza del raíl no garantiza que se mejore también la

resistencia a fatiga.

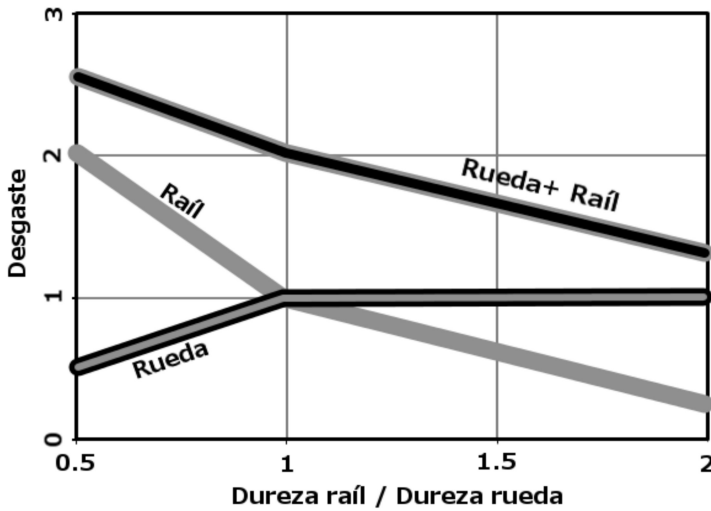


Figura 5: Desgaste del raíl y la rueda en función de la relación entre sus durezas si la de la rueda se mantiene constante. Adaptada de [247].

Bevan [29] realizó una excelente revisión bibliográfica de distintos ensayos tribológicos entre rueda y raíl para evaluar la influencia de la dureza de los materiales en contacto. De esa revisión se extrajo la consecuencia de que al incrementarse la dureza de uno de los materiales normalmente se reduce su desgaste mientras que el comportamiento del otro componente o no se ve afectado o mejora ligeramente, dependiendo de sus características. No obstante, parece que existen evidencias de que un incremento de la dureza del raíl va acompañado de un aumento del desgaste de la rueda.

Kalousek [3] aplica el principio de reciprocidad. Este principio implica que, dado que el campo de tensiones superficial en la rueda encuentra un reflejo especular en el raíl, las velocidades de desgaste en el raíl y en la rueda serán las mismas. Naturalmente, esto será así si los materiales de ambos elementos tienen las mismas propiedades. Como esto no es así el material más duro se desgastará menos y el más blando más, siempre manteniendo la velocidad media de desgaste. No obstante, si existe lubricación, la influencia de la dureza se reduce y se restablece la velocidad de desgaste de la rueda y el raíl. Eso sí, con valores mucho menores.

2.2.- EL CONTACTO RUEDA-RAÍL

En este capítulo se hace un breve resumen sobre las principales características del contacto rueda raíl.

2.2.1.- EL CONTACTO HERTZIANO

Cuando dos cuerpos rígidos y curvos son empujados uno contra otro se forma un área de contacto a partir del punto en el que se tocan. La forma y tamaño de esta área depende de la geometría de los cuerpos y de las fuerzas que actúan sobre ambos, pero es frecuente aceptar la solución propuesta por Hertz [30]. Esta solución se basa en considerar los cuerpos elásticos y el sistema estático y tiene como solución una pequeña elipse, la cual puede degenerar para algunos tipos de contacto como el que aparece entre 2 cilindros paralelos, caso en el que la longitud de un eje es infinita. Si los cuerpos en contacto no tienen ningún cambio geométrico brusco [31] en la zona de contacto, sus superficies pueden aproximarse por polinomios de segundo orden;

$$\begin{aligned} z_1 &= A_1 \cdot x^2 + B_1 \cdot y^2 \\ z_2 &= A_2 \cdot x^2 + B_2 \cdot y^2 \end{aligned} \quad (1)$$

A partir de esta aproximación se puede hallar el área de contacto y la distribución de tensiones normales sobre la misma, que corresponde a un elipsoide, con un valor medio y máximo dados, junto con la distribución de presiones por:

$$\begin{aligned} P_N(x, y) &= \frac{3 \cdot N}{2 \cdot \pi \cdot a_e \cdot b_e} \sqrt{1 - \left(\frac{x}{a_e}\right)^2 - \left(\frac{y}{b_e}\right)^2} \\ P_{Nmed} &= \frac{N}{\pi \cdot a_e \cdot b_e} \\ P_{Nmax} &= 1.5 \cdot \frac{N}{\pi \cdot a_e \cdot b_e} \end{aligned} \quad (2)$$

donde N es la carga normal y a_e y b_e los semiejes de la elipse de contacto.

Existen otras teorías más avanzadas para hallar el área de contacto, como la de Johnson y Greenwood [32], pero la teoría simplificada de Hertz,

presentada hace más de 100 años, siempre ha sido considerada suficientemente exacta para gran parte los cálculos.

Algunas geometrías de contacto permiten obtener la presión máxima (este es uno de los dos principales parámetros que definen el contacto en la mayoría de los ensayos de rodadura. El otro es el deslizamiento) sin necesidad de recurrir a la ecuación (2). Por ejemplo, la presión máxima que aparece para dos cilindros del mismo material en contacto puede estimarse de acuerdo con la ecuación propuesta por Timoshenko y Goodier [33]:

$$P_{Nmax} = 0.418 \cdot \sqrt{N \cdot E \cdot \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right)} \quad (3)$$

Donde R_1 y R_2 son los radios de cada cilindro, N la carga normal aplicada por unidad de longitud y E el módulo de Young.

2.2.2.- DESLIZAMIENTOS

El fenómeno conocido como rodadura aparece cuando un cuerpo gira sobre la superficie del otro que, por otra parte, también puede estar girando.

Supónganse dos discos iguales girando uno contra otro y en sentido contrario. Si ambos giran a la misma velocidad su movimiento está totalmente acoplado y no existe transmisión de esfuerzos entre ellos, pero las velocidades de giro de los dos cuerpos rodantes no tienen que ser iguales. Para tener en cuenta este hecho, que introduce desviaciones respecto al rodamiento perfecto de un cuerpo sobre otro y hace que aparezcan fuerzas tangenciales entre los discos, se define el parámetro adimensional conocido como “deslizamiento” (*creep* en inglés). Este parámetro cuantifica la diferencia de velocidad entre las dos superficies en contacto. El deslizamiento, cuya influencia en la dinámica de los vehículos ferroviarios fue destacada por primera vez por Carter [34], se evalúa tanto en la dirección longitudinal (γ_x) como en la transversal (γ_y) y se define, para rodadura, de acuerdo con las siguientes ecuaciones [35]:

$$\gamma_x = \frac{V_{xt} - V_x}{V} \quad \gamma_y = \frac{V_{yt} - V_y}{V} \quad (4)$$

donde V_i es la velocidad real de la rueda en la dirección i y V_{ii} es la velocidad que tendría en caso de que no existiese deslizamiento.

Un tercer valor frecuentemente empleado es el deslizamiento de giro (*spin creep* en inglés), el cual aparece cuando hay un giro relativo entre ambos cuerpos en un eje perpendicular a la superficie de contacto. Los deslizamientos longitudinales y laterales son adimensionales, pero el de giro tiene unidades de $[\text{longitud}]^{-1}$. Este parámetro se define como:

$$\gamma_\alpha = \frac{V_{\alpha t} - V_\alpha}{V} \quad (5)$$

Para dos discos en contacto y girando, lo que corresponde a la simplificación de laboratorio más usual de la rodadura, la expresión del deslizamiento longitudinal se puede convertir en [36]:

$$\gamma_x = 2 \cdot \frac{R_1 \cdot \omega_1 - R_2 \cdot \omega_2}{R_1 \cdot \omega_1 + R_2 \cdot \omega_2} \quad (6)$$

donde R_i son los radios de los discos y ω_i sus velocidades de rotación

La figura 6 puede ayudar a clarificar los conceptos expuestos puesto que en ella se han representado de forma gráfica los distintos deslizamientos que pueden aparecer en el contacto y las fuerzas que van irremediamente asociadas a los mismos.

La importancia del deslizamiento salta a la vista cuando se considera que su propia existencia informa de una rodadura imperfecta, ya que en su circulación sobre la vía la rueda no recorre toda la distancia que debería por su velocidad de giro y la transmisión de fuerzas en el contacto es distinta a la esperada, llevando a importantes pérdidas energéticas.

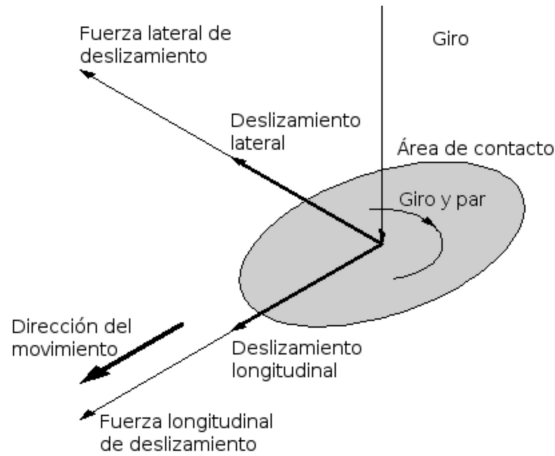


Figura 6: Desplazamientos y fuerzas originadas por el deslizamiento

2.2.3.- LA CURVA DE ADHERENCIA RUEDA-RAÍL

La adherencia entre la rueda y el raíl por el que circula es uno de los parámetros más importantes para el sector ferroviario. Todas las fuerzas de tracción y frenado que aparecen durante el funcionamiento de los vehículos están, en última instancia, limitadas por esta adherencia. Además de provocar retrasos, en algunas situaciones una baja adherencia puede llevar a la aparición de ruedas “quemadas”, planos, sobreaceleraciones de los motores y otros efectos indeseables y, muchas veces, peligrosos. Por desgracia, la adherencia varía de forma impredecible a lo largo, incluso, de un mismo día.

El valor de la adherencia se mide a partir del llamado “coeficiente de adherencia” o “de tracción” f , que es como se define la relación de transmisión de esfuerzos entre la rueda y el raíl y que se corresponde exactamente con el cociente entre la fuerza tangencial que aparece y la fuerza normal:

$$f = \frac{T}{N} \quad (7)$$

Conviene aquí aclarar que aunque la definición es la misma que la del coeficiente de fricción, dinámico en este caso, μ_d , y en principio parece

lógico suponer que en rodadura la distribución de tensiones tangenciales en el contacto corresponderá, para cualquier punto del mismo, al producto del coeficiente de fricción por las tensiones normales. Esto no siempre es así y en realidad ambos son parámetros distintos, como se verá en los párrafos siguientes.

Respecto a los valores necesarios para el funcionamiento normal del vehículo, un valor demasiado elevado lleva a un desgaste excesivo de los raíles y las ruedas y a la aparición de fenómenos de fatiga; un valor demasiado bajo dificultará la tracción y el frenado. Valores mínimos entre 0.15 y 0.2 se consideran necesarios para la tracción, mientras que para la frenada, basta con valores de 0.1 [37][38]. El rango de valores que se encuentra en la bibliografía es muy amplio, abarcando desde coeficientes de adherencia superiores a 0.6 hasta inferiores a 0.2 si el contacto está limpio e incluso menores a los anteriores si hay presencia de agua.

De acuerdo con el apartado anterior, si los dos discos giran a la misma velocidad no hay transmisión de esfuerzos y f debe ser nulo, mientras que si giran a velocidades muy distintas no encontramos ante un problema de deslizamiento clásico y $T = \mu_d N$, por lo que $f = \mu_d$. Esto implica que se conocen los dos puntos extremos de la curva coeficiente de adherencia-deslizamiento (más conocida como “curva de adherencia”) y que debe existir una transición entre ambos puntos.

La curva de adherencia es, quizá, la más importante de todas cuando se habla de dinámica ferroviaria y adopta la forma de la figura 7, aunque los valores de adherencia que se alcanzan y los puntos en que la curva se satura dependerán de cada caso particular, siendo los principales factores de influencia los contaminantes que puedan haber en la vía: agua, aceites, hojarasca,...

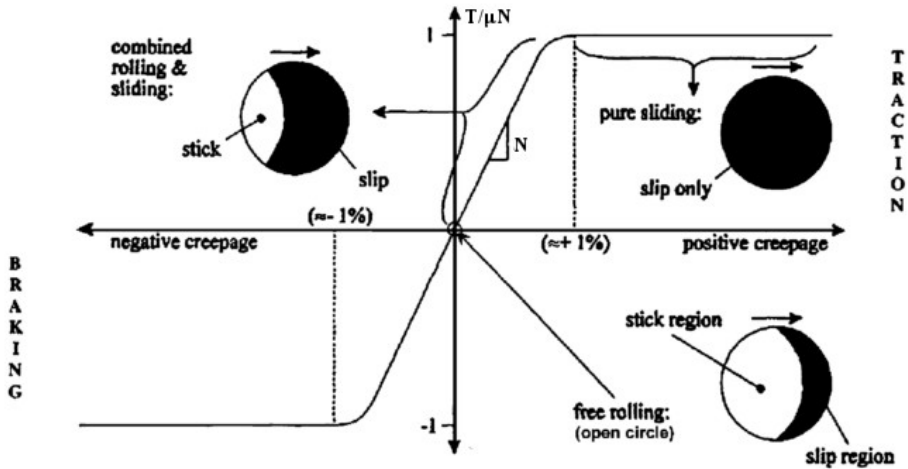


Figura 7: Curva de adherencia incluyendo frenada. Relación entre el coeficiente de adherencia y el deslizamiento [50].

Como puede verse en la figura 7, la transición entre los dos puntos extremos de la curva se produce a bajos deslizamientos y se relaciona con la evolución de las características del contacto.

Cuando el deslizamiento es nulo, no existe movimiento relativo en ningún punto del área de contacto y el coeficiente de adherencia vale cero, al no haber transmisión de esfuerzos entre las superficies. Al aparecer algo de deslizamiento en el área de contacto se crea una zona trasera donde hay un microdeslizamiento relativo entre ambas superficies (la localización de las zonas de adherencia y microdeslizamiento fue confirmada por Ollerton mediante modelos fotoelásticos [39]), mientras que en el resto del área de contacto sigue existiendo una condición de adherencia sin movimiento relativo entre las partes. A medida que el deslizamiento va aumentando también crece linealmente el coeficiente de adherencia y la zona de deslizamiento relativo debido al aumento del área que transmite esfuerzos. Llegado a cierto punto, el área de microdeslizamientos ocupa toda el área de contacto y el valor de la adherencia se estabiliza. Dado que toda el área está deslizando puede considerarse que $f = \mu_d$.

Posterioros aumentos del deslizamiento pueden llevar a una ligera pérdida de adherencia por otras causas que se citarán más adelante,

principalmente por el efecto del aumento de la temperatura. Esta pérdida de adherencia puede llevar en última instancia a un aumento del ruido, a propiciar el corrugado de los raíles o a problemas durante la frenada. A deslizamientos muy elevados, cercanos ya al 100%, el descenso puede llegar a anular prácticamente la transmisión de esfuerzos entre rueda y raíl [40].

Fue Carter quien, en 1926 [34], desarrolló la teoría bidimensional de contacto en rodadura para aplicarla a la dinámica de vehículos ferroviarios. Este autor aproximó la rueda por un cilindro y el raíl por una banda sobre la que circulaba el cilindro. Además, supuso que el radio del cilindro era muchísimo mayor que el perímetro del área de contacto. De esta forma pudo convertir el problema de contacto en un medio elástico infinito rodeado por un plano en el que hay una distribución local de presiones y tensiones tangenciales. Es decir, se recurrió al espacio semi-infinito y solamente se tuvo en cuenta el deslizamiento longitudinal γ_x . En la figura 8 puede verse una distribución típica de las tracciones sobre el área de contacto y la ley de deslizamiento que se obtiene.

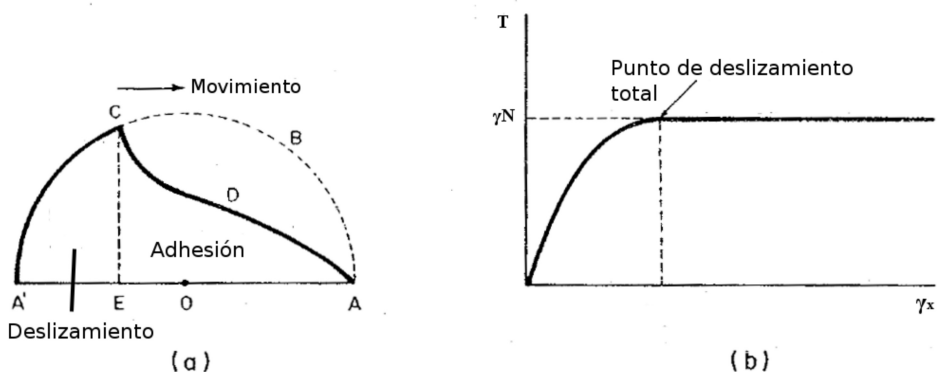


Figura 8: Representación de la distribución de tensiones tangenciales (a) y curva de adherencia (b) según la teoría de Carter.

Dado que no es objetivo de esta tesis entrar a describir el desarrollo matemático de las distintas teorías aparecidas a lo largo del tiempo se remite al lector a la bibliografía específica (ver las referencias [41]–[44] como punto de partida). En la tabla 7, donde se plasman las distintas teorías básicas de contacto desde la de Hertz.

| Autor - Año | Dimensiones | Fuerzas | Cinemática | Resolución |
|------------------------|-------------|-------------------------|--------------------------------|------------|
| Hertz - 1881 | 2 | Normales | Estática | Analítica |
| Bousinesqui - 1885 | | Normales y tangenciales | Rodadura | |
| Carter - 1926 | | | | |
| Cattaneo - 1938 | | | | |
| Mindlin - 1949 | | | | |
| Haines-Ollerton - 1936 | | | | |
| Kalker - 1967-1993 | 3 | | Rodadura, deslizamiento y giro | Numérica |

Tabla 7: Características de las principales teorías de contacto. Adaptado de [45]

También es preciso mencionar los excelentes trabajos realizados por Polach [46]–[48] para Bombardier con el fin de encontrar un método rápido y preciso para el cálculo de las fuerzas de adherencia en función del deslizamiento, habiendo obtenido resultados en ajustes sobre datos reales tan buenos como los que se muestran en la figura 9.

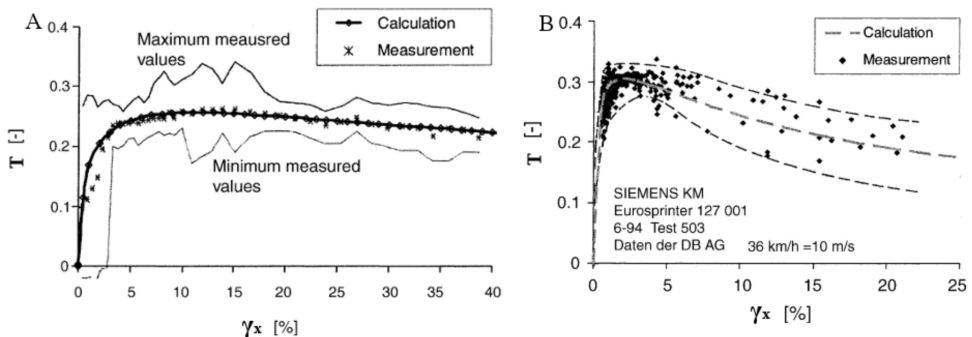


Figura 9: Dos de los ajustes realizados por Polach sobre datos reales de una locomotora Bombardier [245] (A) y una Siemens [242] (B). Obsérvese la pérdida de adherencia que aparece conforme aumenta el deslizamiento.

La ya comentada pendiente negativa que presentan las curvas de adherencia en la figura 9 tras superar su valor máximo se supone que está causada por una pérdida de propiedades mecánicas por parte de los materiales en contacto por el aumento de temperatura que tiene lugar al ir

incrementándose el deslizamiento [49], esto haría que el material no pueda ofrecer tanta resistencia al deslizamiento como originalmente. No obstante, aunque es frecuente encontrar una caída de la adherencia, no siempre es así [50] o, mejor expresado, el descenso puede retrasarse notablemente (figura 9-A).

Dejando a un lado la modelización teórica, la modelización experimental de la dependencia de la adherencia con el deslizamiento en esta zona puede hacerse [48][51] mediante una expresión exponencial:

$$f = f_0 \left[\left(1 - \frac{f_\infty}{f_0} \right) e^{-C_f \gamma} + \frac{f_\infty}{f_0} \right] \quad (8)$$

Donde f_0 es el coeficiente de tracción inicial y f_∞ es el estabilizado para un deslizamiento infinito. C_f es una constante de ajuste.

Esta ecuación, escrita de otra forma, es muy similar a la usada por Ferrer [40], quien añade un exponente al valor del deslizamiento:

$$f = f_\infty + (f_0 - f_\infty) \cdot e^{-C_f \cdot \gamma^S} \quad (9)$$

Donde C_f y S son constantes de ajuste.

Una última expresión a considerar, que incluye la pérdida de adherencia, es la propuesta por Lewis [51], quien hace uso de los valores de los coeficientes de fricción estático μ_e y dinámico μ_d .

$$f = \mu_e e^{-C_f \gamma} + \mu_d (1 - e^{-C_f \gamma}) \quad (10)$$

En realidad, durante un ensayo, la curva de adherencia presenta unas características particulares que se alejan un poco de la curva teórica de la figura 7. Para empezar, aunque debería ser nulo, siempre se encuentra un pequeño valor del coeficiente de adherencia para deslizamientos nulos. Esto se debe tanto a la diferente rugosidad de los dos discos en rozamiento como a la aparición de soldaduras en frío de acuerdo con la teoría del rozamiento de Bowden, que hacen que siga existiendo una pequeña resistencia a la

rodadura. Otras posibles explicaciones son la presencia de vibraciones y la dificultad de obtener una rodadura realmente pura [52].

Otra diferencia respecto a la curva teórica es que se precisa de un determinado tiempo de rodadura antes de que la adherencia comience a aumentar linealmente. Este tiempo podría estar relacionado con la eliminación de la capa adherida de humedad y contaminantes que recubriría inicialmente los discos y que ejercería un efecto lubricante. Si tal fuese el caso, un aumento de la severidad de los fenómenos tribológicos llevaría a un descenso del tiempo necesario para que se produzca la eliminación de esa capa.

2.2.4.- DISTRIBUCIÓN DE LAS TENSIONES DE CONTACTO

Desde el punto de vista teórico, ya se ha comentado que la distribución de tensiones normales adoptará la forma de un elipsoide sobre un área de contacto elíptica. Ésta es la forma de distribución más usada por la comunidad investigadora, ya sea en cálculos analíticos, por elementos finitos o de otro tipo.

No obstante, la situación se complica si se habla de las tensiones tangenciales en presencia de un deslizamiento parcial. En este caso el área de contacto queda dividida en una zona de adherencia y otra de microdeslizamientos y se desconoce por completo tanto el tamaño real de ambas como cuál es la distribución teórica que más podría parecerse a la real, de la cual no hay prácticamente medidas.

Lo que suele hacerse es usar para la zona de microdeslizamiento el valor de $\mu_d P_N$ (μ_d es el coeficiente de fricción dinámico y P_N la presión normal) y usar algún tipo de ajuste para la transición a la otra zona, donde se usa el coeficiente de fricción estático μ_e . Quizá la distribución más usada es la propuesta por Carter (una descripción del cálculo puede encontrarse en [41]), la cual se muestra en la figura 10

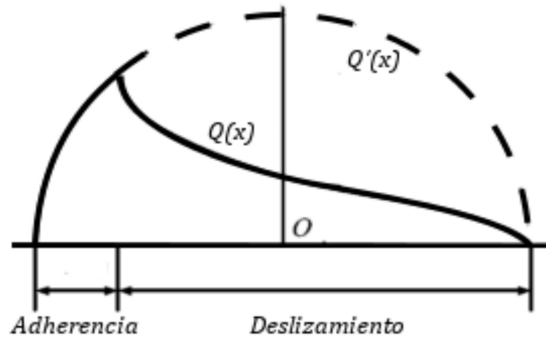


Figura 10: Distribución de tensiones en el contacto con presencia de deslizamiento parcial.

No obstante, han sido muchas las distribuciones propuestas, cada una con sus ventajas y desventajas. En la figura 11, tomada de Rovira y Lewis [51], se pueden ver algunos de los otros modelos existentes, todos basados en el uso del coeficiente de fricción estático para la zona de adherencia y del dinámico para la zona de deslizamiento.

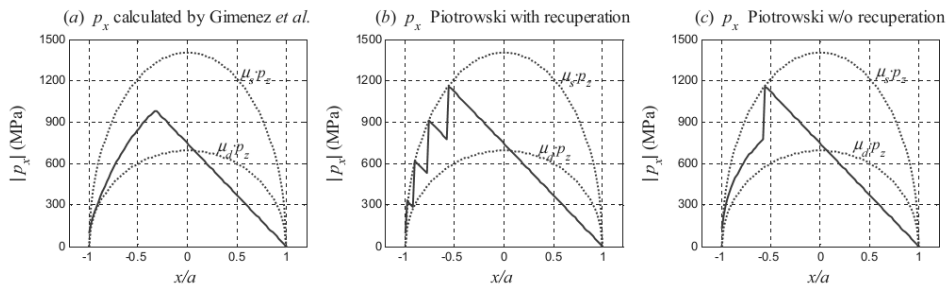


Figura 11: Distribución teórica de tensiones en el contacto según 3 teorías distintas [51].

Cabe aquí citar varios problemas que presenta cualquier distribución teórica de tensiones que pueda emplearse: En primer lugar, la rugosidad e irregularidades geométricas de las superficies en contacto, que aunque no existieran inicialmente aparecerían por desgaste, alteran irremediablemente la distribución de tensiones (ver figura 12). Además, dado que el contacto es tridimensional, la distribución de tensiones es bastante más complicada que la descrita. Para superar este escollo es frecuente dividir el área de contacto en finas bandas paralelas a la dirección de rodadura y aplicar la teoría descrita a cada una de ellas con la restricción de que la solución encontrada

mantenga la continuidad entre las bandas adyacentes.

Por otra parte, también se ha demostrado que el coeficiente de fricción estático depende del tiempo transcurrido desde que las superficies entran en contacto [53] y que, dado el escaso tiempo de contacto entre las superficies en rodadura, el uso de este coeficiente para la zona de adherencia podría no ser el adecuado.

Con todo ello, pese a todos los avances que se han producido en el estudio de la distribución de tensiones, mayormente mediante el uso de los elementos finitos, ningún modelo parece proporcionar unos resultados más satisfactorios que otros y casi cualquier distribución que se emplee puede servir para realizar cálculos siempre que se ajuste el modelo a cada caso estudiado.

En la figura 12 puede verse una distribución real de tensiones normales comparada con la hertziana teórica. Obsérvese la escasa correspondencia entre ambos por la inevitable influencia, sobre todo, de la rugosidad [54].

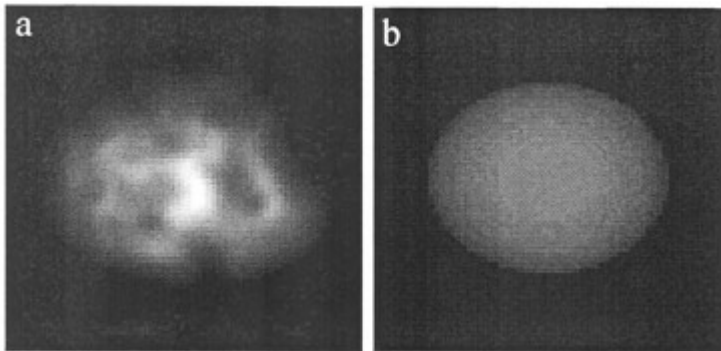


Figura 12: Distribución de tensiones normales obtenida por ultrasonidos (a) y distribución hertziana esperada (b) [190].

2.3.- EL DESGASTE

2.3.1.- INTRODUCCIÓN

La unión rueda-raíl forman un sistema tribológico en el que ambas partes están sometidas por igual a las enormes tensiones que aparecen debido tanto al peso del ferrocarril como a su velocidad. Ello lleva a que tanto uno como otro elemento sufran desgaste y aparición de grietas por fatiga de rodadura.

Ambos fenómenos pueden hacer que una rueda tenga que retirarse del servicio, tanto por la pérdida de dimensiones que provocan como por el modo en el que puede afectar al comportamiento dinámico del vehículo ferroviario, reduciendo la comodidad de los viajeros y aumentando el riesgo de descarrilamiento, problema que se incrementa con los nuevos trenes de alta velocidad con condiciones de funcionamiento más severas.

Aunque estos problemas se solucionan remecanizando la superficie de los raíles y las ruedas para eliminar el daño superficial y restaurar su geometría, este proceso también acarrea importantes gastos económicos, incluyendo una reducción de la vida de las piezas, ya que, por ejemplo, la mayor parte de los alrededor de 35 mm de pérdida que se permiten en una rueda de deben al remecanizado (en un remecanizado se pueden eliminar entre 2 y 12 mm) y no a fenómenos de desgaste, reduciendo, según datos recogidos por la empresa Bombardier, la vida media de las ruedas a 4 o 5 años [15].

Antes de nada conviene aclarar que para que comience el desgaste es preciso que transcurra un determinado tiempo para que se produzcan ciertos cambios químicos y/o microestructurales en los materiales. Esta circunstancia parece ser mucho más importante cuando la velocidad de desgaste es elevada [24], debido a los mayores cambios superficiales necesarios y aunque no importe en ensayos de vía o de larga duración debería ser tenida en cuenta a la hora de evaluar los datos obtenidos en laboratorio, donde, si el ensayo es corto, una parte importante del tiempo puede corresponder a esa fase previa al inicio del desgaste. Transcurrida esa fase inicial el desgaste muestra una tendencia lineal con el tiempo o, por la relación de proporcionalidad existente entre las variables, el tráfico

soportado o la distancia recorrida [55]. Tal linealidad queda atestiguada, por ejemplo, en la figura 13.

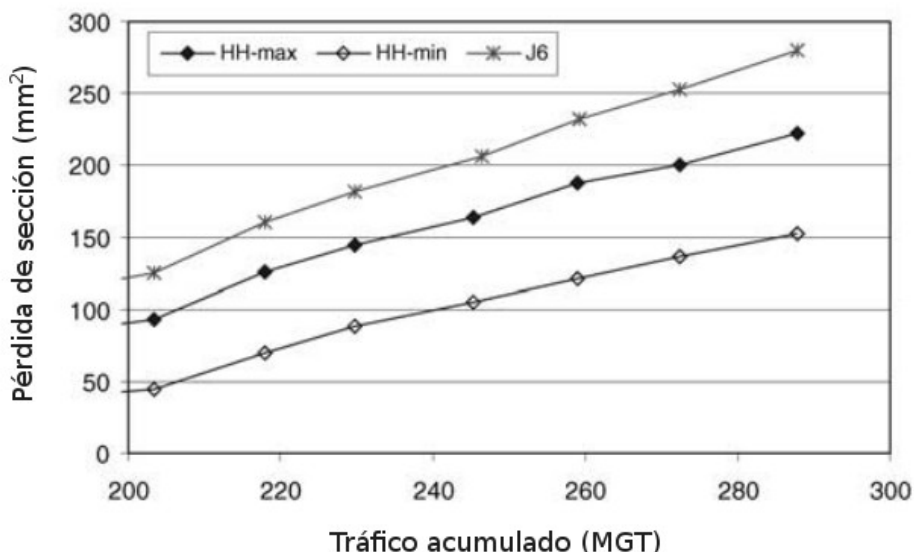


Figura 13: Variación lineal del desgaste con el tráfico acumulado para un acero perlítico (HH-max y HH-min) y uno bainítico (J6) [23]

2.3.2.- MECANISMOS DE DESGASTE

Cuando se habla del desgaste asociado al par rueda-raíl es preciso reconocer que no existe ningún modelo que permita calcular el desgaste del raíl y la rueda mas que de forma grosera [56]. Además, solamente el mecanismo asociado a la delaminación por fatiga superficial parece tener importancia. Evidentemente, también existe un mecanismo de desgaste oxidativo y otro de desgaste por abrasión. No obstante, la tasa de desgaste provocada por estos dos palidece frente a los problemas causados por el desgaste delaminativo debido a la aparición de grietas superficiales.

Respecto al desgaste oxidativo, solamente mencionar que este tipo de desgaste se ve poco afectado por las tensiones de contacto, ya que el paso de un vehículo lo único que hará será expulsar el óxido de la superficie del raíl al no tratarse de una capa protectora, aunque los óxidos de hierro tienen

cierta influencia sobre la adherencia [57].

El desgaste abrasivo aparece cuando partículas de elevada dureza quedan atrapadas en el contacto y “arañan” la superficie, llevando a la aparición de surcos y al arranque de material. Este mecanismo puede resultar muy importante, por ejemplo, cuando se usa arena para mejorar la adherencia rueda-raíl.

Además de los citados, Kapoor [58] o Tunna [6] incluyen también un mecanismo de adherencia que se relaciona con un desgaste moderado, pero tanto en las figuras que este autor proporciona tomada de Bolton [59] como en las de otros autores (figura 14), puede verse como todas las grietas transversales presentan la misma orientación, lo que indica claramente que su origen está en la nucleación de grietas por agotamiento de las deformaciones plásticas que se describe en el apartado 2.4.3.2.

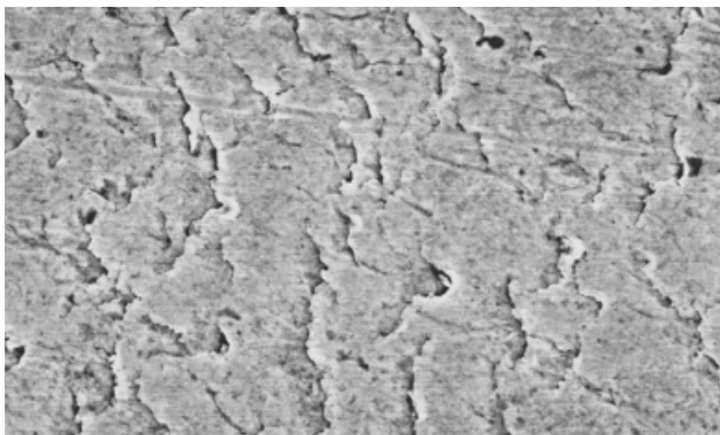


Figura 14: Aspecto de la superficie de una rueda resultante de un desgaste moderado [49].

Las partículas que así se generan son una mezcla de óxidos de hierro (Fe_2O_3 y Fe_3O_4) y hierro metálico debido a la mayor lentitud en la formación de estas partículas[58][60]. Estas partículas suelen tener una forma alargada con unas medidas medias de 100x10 micras. Su espesor indica que proceden de la capa endurecida que se origina en la superficie de la rueda por deformación (apartado 2.6.4.-Endurecimiento).

Volviendo a la aparición de partículas de desgaste, cuando se habla de delaminación se puede distinguir entre dos fenómenos: el “shelling” y el

“spalling” [61]. Mientras que el primero se relaciona directamente con la fatiga por rodadura, el spalling se asocia a la aparición de una capa frágil de martensita en la superficie por efectos térmicos.

Así pues, el “shelling” es el fenómeno consistente en el desprendimiento de esquirlas de metal de la rueda debido a grietas iniciadas en su superficie, las cuales penetran una cierta distancia hacia el interior, después se propagan paralelamente a la superficie y, finalmente, vuelven a ella, aislando un volumen de material y provocando su desprendimiento.

Siendo la aparición de grietas superficiales el principal mecanismo de desgaste en la rodadura del material ferroviario, el fenómeno se sigue estudiando en el capítulo 2.4 dedicado a la fatiga.

2.3.3.- MODELOS PARA EL ESTUDIO DEL DESGASTE

Aunque se han usado distintos modelos a la hora de estudiar el desgaste, la variabilidad de los resultados obtenidos por cada grupo de investigación hace muy difícil encontrar un modelo único que pueda usarse en cualquier caso.

Clayton [24] indica que, al igual que en muchas otras áreas, no existe ningún modelo de desgaste que permita predecir la velocidad de desgaste en una circunstancia determinada a no ser que se incluyan datos experimentales, aunque deja abierta la puerta a que el estudio de las relaciones existentes entre la estructura metalúrgica y los mecanismos de desgaste pueda ayudar a superar las presentes dificultades. Más recientemente, en un estudio llevado a cabo entre la empresa Alstom y la Universidad de Sheffield [62] mediante elementos finitos, se compararon los resultados obtenidos a partir de distintos modelos con datos reales y solamente un modelo, aquel desarrollado a partir de esos mismos datos reales de partida, dio unos resultados aceptables. No obstante, cabe destacar que todos los modelos probados se ajustaban bastante bien a los datos de partida usados para cada uno de ellos.

Basicamente [6] existen 2 tipos de modelos en la literatura para describir la interacción rueda-rail:

1. Modelos de transferencia de energía, que asumen que la pérdida de material es función de la energía disipada en el contacto.
2. Modelos mecánicos, en los que el desgaste es función de la distancia recorrida, la fuerza normal y la dureza de los materiales.

2.3.3.1.- MODELOS ENERGÉTICOS Y REGÍMENES DE DESGASTE

Estos modelos, usados por ejemplo por Lewis y Dwyer-Joyce [62][63], suponen que la velocidad de desgaste que sufre una rueda está relacionada con la energía disipada en el contacto debido al deslizamiento entre la rueda y el rail. Esta energía puede calcularse a partir del siguiente parámetro:

$$\text{Constante de desgaste} = T \cdot \gamma = T_x \cdot \gamma_x + T_y \cdot \gamma_y \quad (11)$$

donde T es la fuerza tangencial de deslizamiento y γ el deslizamiento. Los subíndices x e y indican la dirección del deslizamiento. La constante de desgaste es un valor en Newtons que permite evaluar el desgaste que aparecerá. En otras ocasiones se usa el valor $T \cdot \gamma / A$, siendo A el tamaño del área de contacto, como forma de normalizar los resultados. Aunque este otro parámetro parece dar mejores resultados, las diferencias entre usar uno u otro tampoco son extraordinarias.

Los estudios llevados a cabo por estos autores y otros [11] [64] en base a estos dos parámetros han permitido identificar tres regímenes de desgaste para las ruedas de ferrocarril: ligero, severo y catastrófico, aunque según los resultados obtenidos por cada autor, cada uno sitúa la separación entre regímenes en unos puntos u otros (véase la tabla 8 y los párrafos siguientes).

Desgaste ligero: Para condiciones de desgaste ligero (menos de 0.1 mg/m rodado [4]) la velocidad de desgaste es proporcional a $T \cdot \gamma$ [64] (parte inicial de la curva de la figura 15). En este régimen predomina un desgaste abrasivo/oxidativo en el que aparecen pequeñas partículas de óxido tanto en la superficie de la rueda como del raíl, las cuales les proporcionan un color parduzco. No obstante, esta relación de proporcionalidad se rompe cuando la energía disipada en el contacto aumenta.

Desgaste severo: A partir de un determinado punto el mecanismo de

desgaste de las ruedas cambia debido a que el material va acumulando deformaciones plásticas en su superficie, que llevan a la aparición de grietas que vuelven a la superficie y provocan la delaminación de pequeñas esquirlas de material. Estas partículas se caracterizan por un color grisáceo y ser completamente metálicas [6].

Se supone que la presencia de una capa superficial endurecida tiene una influencia notable en hacer que la grieta crezca paralela a la superficie y después salga hacia ella. En esta fase el valor del parámetro $T \cdot \gamma$ puede seguir aumentando sin que se incremente la velocidad de desgaste.

Esta delaminación produce en la rueda una rugosidad mayor que la que aparece cuando el desgaste es adhesivo. El tamaño de las partículas que aparecen puede superar las 400 micras de longitud y las 20 de espesor.

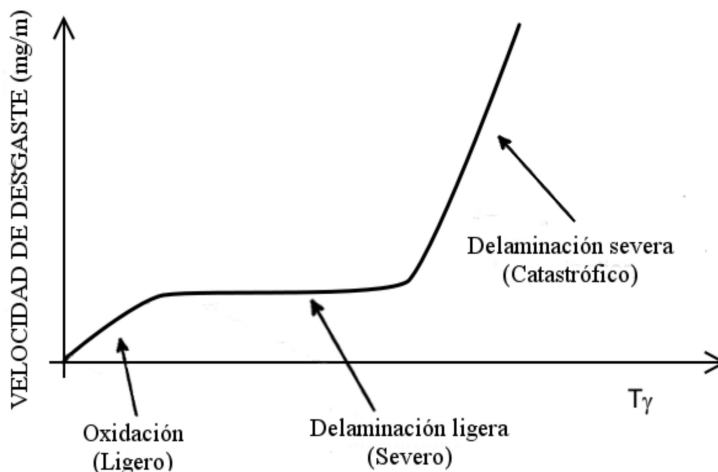


Figura 15: Regímenes de desgaste en función del parámetro $T \cdot \gamma$ (basado en [63]).

Desgaste catastrófico: Al ir aumentando $T \cdot \gamma$ llega un momento en que las grietas dejan de crecer en paralelo a la superficie de la rueda para crecer más hacia el interior. Esto provoca la pérdida de grandes trozos de material y el paso a un régimen de desgaste que se conoce como catastrófico. En algunos ensayos se ha encontrado que este tipo de desgaste se daría a partir de deslizamientos del 15% (ver figura 18 un poco más adelante). Por suerte,

recientes simulaciones dinámicas [65] indican que raramente, incluso en curvas de 400 metros, se superan valores de $T \cdot \gamma$ de 80N, que es uno de los límites superiores propuestos para el desgaste severo.

El aspecto que ofrece un corte transversal de la rueda en cada uno de los regímenes descritos puede verse en la figura 16.

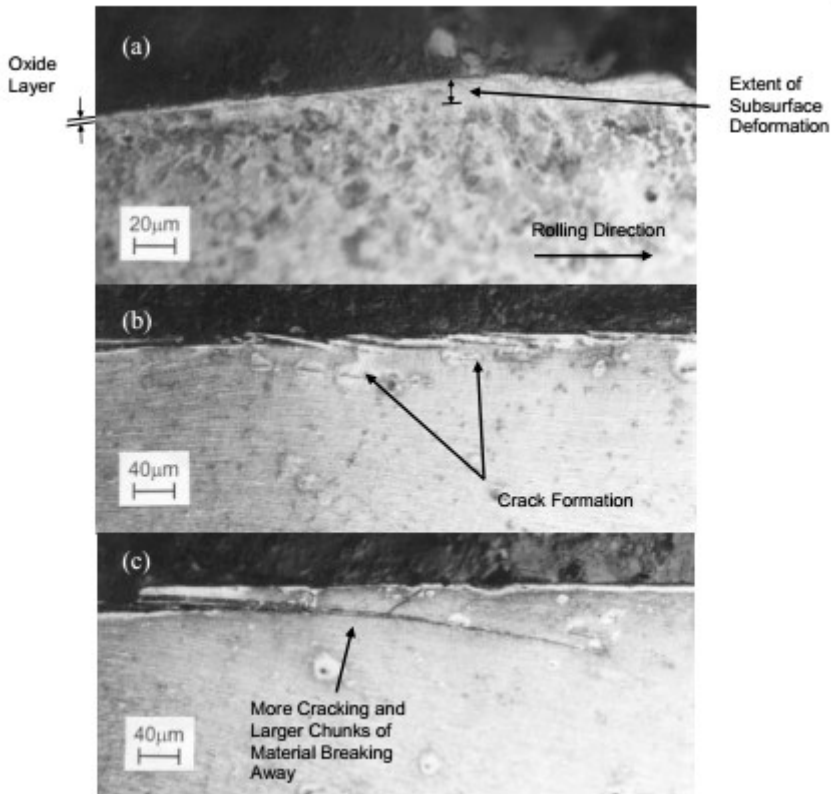


Figura 16: Cortes longitudinales de un disco simulando el comportamiento de una rueda en ensayos de disco gemelo. a) $T\gamma=1.3$ b) $T\gamma=104.5$ c) $T\gamma=166.8$ [63]

Se han relacionado las transiciones entre los distintos regímenes con cambios en el comportamiento del sistema rueda-rail. El paso de régimen ligero a severo se correspondería con el comienzo de un deslizamiento total entre las superficies. Como puede verse en la figura 17, el coeficiente de fricción y el desgaste siguen una evolución paralela, de forma que cuando el coeficiente de fricción se estabiliza debido a que se ha alcanzado el

deslizamiento total, también lo hace el desgaste, no cambiando apreciablemente aunque la magnitud del deslizamiento vaya aumentando. Esto se debe, posiblemente, a que cuando toda la superficie del contacto ha comenzado a deslizar los esfuerzos tangenciales no pueden seguir aumentando.

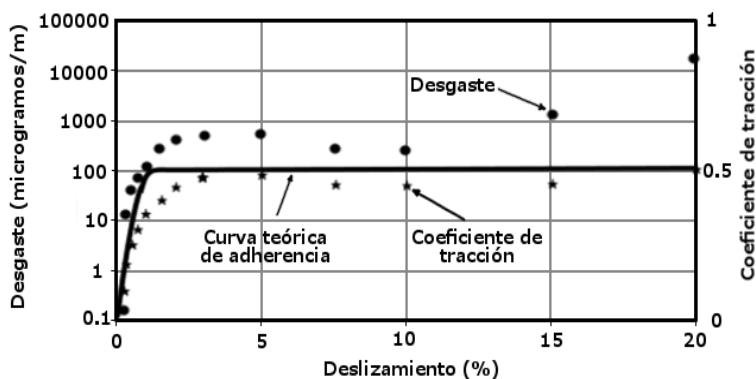


Figura 17: Evolución del coeficiente de adherencia y de la velocidad de desgaste con el deslizamiento. Datos de [63]

Algunos estudios [66][67] parecen mostrar que las condiciones de desgaste severo coinciden con puntos cercanos al límite de endurecimiento del material (ver apartado 2.4.3.2), mientras que el paso a desgaste catastrófico estaría causado por el efecto de la temperatura. Esta segunda transición ocurriría cuando el material de la rueda sufre un ablandamiento debido al aumento de su temperatura al aumentar el deslizamiento.

En los estudios conducidos por Lewis [63] se encontró que la transición a fallo catastrófico ocurría entre los 200 y los 300°C, intervalo en el que aparece una caída en la resistencia mecánica de los aceros al manganeso similares al R8T que usó en sus ensayos.

A partir de ensayos de laboratorio se elaboró la siguiente tabla, en la que a partir del valor de $T\gamma$ es posible conocer, no sólo que tipo de desgaste aparecerá, si no las ecuaciones que pueden usarse para evaluar la velocidad del desgaste que aparecerá.

| Fricción | Régimen | $T \cdot \gamma$ | Desgaste (mm^2/km) |
|-----------------|----------------|------------------------------------|--|
| Seco | Ligero | <100 | $0.25 \cdot T \cdot \gamma / D$ |
| Seco | Severo | >100 y <200 | $25/D$ |
| Seco | Catastrófico | >200 | $(1.19 \cdot T \cdot \gamma - 154) / D$ |
| Lubricado | Ligero | <500 | $3/D$ |
| Lubricado | Catastrófico | >500 | $(1.19 \cdot T \cdot \gamma - 154) / D$ |

Tabla 8: Estimación de los valores de desgaste para los distintos regímenes [64]

Los resultados en que se basa la tabla 8 se obtubieron en laboratorio usando una rueda de clase “D” y un rail de acero BS11. En el servicio real es posible que la velocidad de desgaste sea menor al existir siempre mayor capa de lubricación. El uso de otros materiales justificaría que sea necesaria una corrección de las fórmulas anteriores.

Pearce [68], usando como material para la rueda el R8T y para el rail el BS11, estableció los siguientes rangos para el cálculo del desgaste en mm^2 (D es el diámetro de la rueda):

$$\begin{aligned}
 T \cdot \gamma < 100 &\rightarrow \frac{0,25}{D} \cdot T \cdot \gamma \\
 100 \leq T \cdot \gamma < 200 &\rightarrow \frac{0,25}{D} \\
 T \cdot \gamma \geq 200 &\rightarrow \frac{1.190 \cdot T \cdot \gamma - 154}{D}
 \end{aligned} \tag{12}$$

Las mismas investigaciones que dieron lugar a la tabla 8 permitieron demostrar que el desgaste severo solamente aparece cuando el nivel combinado de deslizamiento alcanza el 1%, lo que ocurre (en condiciones normales) solamente cuando el lateral de la rueda contacta con el rail. Lewis empleó el parámetro $T \cdot \gamma / A$ [69] en lugar de $T \cdot \gamma$, que introducido inicialmente por Pearce [68] tiene una buena aceptación [70][71], para estudiar el desgaste que aparecía en una rueda fabricada con R8T al rodar sobre un rail UIC60 900A. Sus resultados pueden verse en la tabla 9. En forma gráfica, el aspecto de la curva que se obtiene es a grandes rasgos el mismo que el de la figura 15, aunque la introducción del área quizás le presta más versatilidad para trabajar con distintas geometrías de contacto.

Debe tenerse en cuenta que en dicha tabla la velocidad de desgaste viene dada en $\text{mg}/(\text{mm}^2 \cdot \text{km})$, de forma que para comparar con los valores dados por otros autores es preciso multiplicar por el área del contacto.

| Régimen | $T \cdot \gamma / A$ (N/mm^2) | Desgaste ($\text{mg}/\text{mm}^2/\text{km}$ rodado) |
|--------------|---|--|
| Ligero | <10.4 | $5.3 \cdot T \cdot \gamma / A$ |
| Severo | >10.4 y <77.2 | 55 |
| Catastrófico | >77.2 | $61.9 \cdot T \cdot \gamma / A$ |

Tabla 9: Estimación de los valores de desgaste para los distintos regímenes [69]

Markov [27] realizó una gran cantidad de ensayos de laboratorio para determinar la velocidad de desgaste para diferentes condiciones de trabajo usando un equipo de discos gemelos. Este autor reportó velocidades de desgaste medias para deslizamientos menores del 5% y, a partir de ahí, desgaste severo e incluso catastrófico, éste cuando el deslizamiento se acerca al 100%, valores distintos a los expuestos más arriba. Esto hace pensar en una gran influencia de otros parámetros distintos del deslizamiento y que deben ser tenidos en consideración. La figura 18, por ejemplo, muestra la influencia de la dureza en el desgaste.

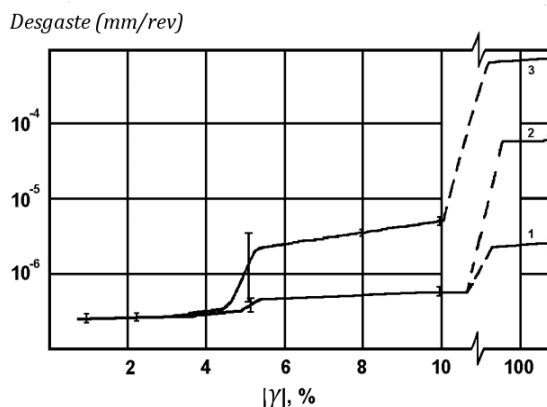


Figura 18: Influencia de la dureza en la velocidad de desgaste de las ruedas. Tensión de contacto: 650 MPa. Dureza: 1) 700 HV, 2) 500 HV y 3) 250 HV [159].

Conocer esto puede ayudar a optimizar las tareas de mantenimiento, saber cuando aplicar lubricación para reducir el desgaste y

mejorar la preparación de los sistemas de simulación por elementos finitos para predecir los cambios en el perfil de las ruedas.

Zakharov [29] también uso ensayos de discos para estudiar la velocidad de desgaste con distintos valores de carga y deslizamiento. En este caso los discos, de 40 mm de diámetro se sometieron a cargas de 300 a 1100 MPa con deslizamientos laterales entre el 2,5 y el 10%. A partir de estos estudios se concluyó que el producto de la presión de contacto por la velocidad de deslizamiento $P_N \cdot v_s$ es el parámetro más relevante para identificar los distintos regímenes de desgaste.

Kik [72] usa el módulo del vector suma de los desplazamientos longitudinales y laterales, en lugar de su suma aritmética, para obtener un parámetro (E_g) relacionado con la disipación energética en el contacto:

$$E_g = \sqrt{(T_x \cdot \gamma_x)^2 + (T_y \cdot \gamma_y)^2} \quad (13)$$

Enblom y Berg [73] demostraron que E_g puede ser convertido en una densidad de flujo de energía mediante la siguiente fórmula:

$$E_d = \frac{E_g \cdot V}{A} \quad (14)$$

donde V es la velocidad del vehículo y A el área de contacto rueda/rail. A partir de sus investigaciones dedujeron que los regímenes de desgaste ligero y severo están separados por un valor de $E_d = 4 \text{ N} \cdot \text{m}/(\text{s} \cdot \text{mm}^2)$.

Una comparación realizada por Tunna [6] entre 3 de los modelos anteriores, aplicándolos sobre un mismo caso real llevó a los siguientes resultados:

| | Desgaste | Tipo |
|-------------------------|-------------------------------|-------------|
| BR Research [64] | 0.234 g/km | Ligero |
| Lewis [69] | 0.201 g/km | Ligero |
| Kik [72] | 20.6 N·m/(s·mm ²) | Severo |

Tabla 10.-Comparativa realizada por Tunna sobre distintos métodos de evaluación del régimen de desgaste

Como puede verse, 2 modelos dan resultados similares, mientras que el modelo de Kik predice un desgaste de tipo severo mucho mayor. De entre los 2 modelos que dan resultados similares, el modelo de Lewis predice el cambio a régimen severo cuando $T \cdot \gamma$ alcanza los 156 N, valor inferior a los 200 N del modelo del BR Research.

2.3.3.2.- MODELOS MECÁNICOS

El modelo más usado en tribología debido a su sencillez es, posiblemente, el de Archard. Este modelo predice el volumen de material eliminado en base a las fuerzas normales al contacto, la distancia de deslizamiento y las propiedades del material. La ecuación usada es:

$$W_i = k \cdot \frac{N \cdot d}{H} \quad (15)$$

donde W_i es el volumen perdido en m³ (la velocidad de desgaste se designará como W), N la fuerza normal (Newtons), d la distancia recorrida (m), H la dureza del material más blando (N/m²) y k el llamado coeficiente de Archard. Por desgracia, aunque la fórmula funciona bien para un deslizamiento puro sin rodadura y algunos autores [74][60][75] la usan en el estudio del desgaste asociado al contacto rueda-raíl, su aplicabilidad en ese contexto esta razonablemente cuestionada [76], sobre todo viendo como aceros bainíticos de mayor dureza suelen presentar mayor desgaste.

Otros autores [6] han encontrado una relación logarítmica entre el desgaste y la dureza, de acuerdo con la siguiente ecuación:

$$W_t = \frac{k_{HB}}{HB^{C_w}} \quad (16)$$

donde HB es la dureza Brinell y k_{HB} y C_w constantes experimentales.

Volviendo al modelo de Archard, éste ha sido calibrado para ser usado con distintos materiales de ruedas y railes. Ejemplos de su uso pueden encontrarse en Enblom y Berg [64], en algún estudio realizado por la Universidad Metropolitana de Manchester [77] o en Jendel [78]. Además, el método usado por este autor usa un coeficiente modificado que permite tener en cuenta la influencia de la contaminación, de lubricantes y de otros factores ambientales.

Este último autor [78], proporciona (figura 19) un mapa de desgaste para escoger el valor del coeficiente de Archard k , usando como datos de entrada distintos ensayos realizados en laboratorio (de disco gemelo y de pin-on-disc) con materiales ferroviarios y sin lubricación alguna. El propio autor indica que la parte central de la gráfica presenta una fuerte falta de linealidad y que su modelización mediante la ley de Archard no es para nada sencilla.

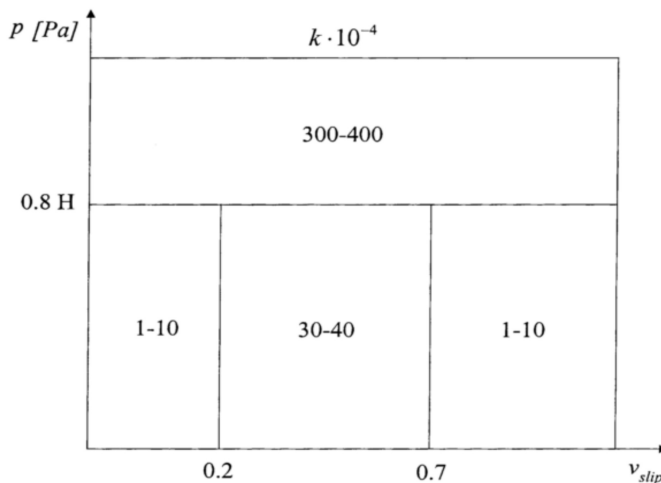


Figura 19: Mapa de desgaste basado en el coeficiente de Archard [78]

Pese a este problema, los mapas de desgaste como el de la figura 20, contruidos a partir de la velocidad de deslizamiento y la presión normal, presentan, frente a los basados en el parámetro $T \cdot \gamma / A$ la ventaja de que se visualiza individual e inmediatamente el efecto de la velocidad y la presión, aunque todavía sería necesario evaluar de alguna forma el efecto del material, ya que las diferencias son sustanciales entre distintos pares de materiales, como muestra la figura 20.

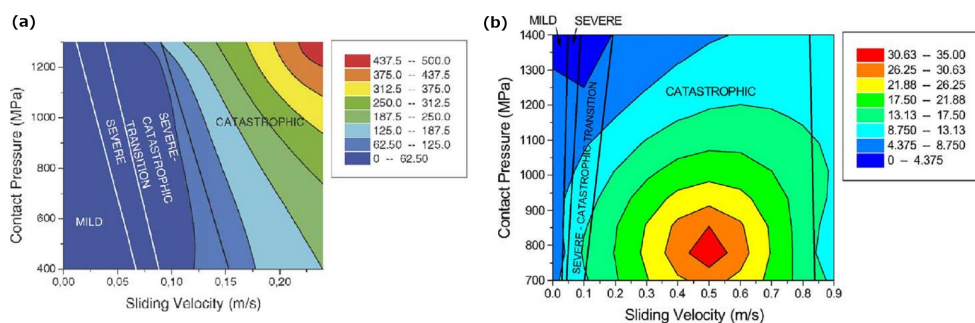


Figura 20: Mapas de desgaste para el de Archard para dos pares de aceros ferroviarios distintos (a: BS11-Clase D y b:UIC60 90A-R7) [193]

También se han propuesto modificaciones al modelo para lidiar con los casos en los que éste no parece dar buenos resultados. Uno de ellos, que añade el efecto del coeficiente de fricción μ , es el propuesto por Sarkar [79], usado también por otros autores como Hegadekatte [80], quien asimila los ensayos de disco gemelo a ensayos de pin-on-disc en los que la velocidad se corresponde con la de deslizamiento.

$$W_i = k \cdot \frac{P_N \cdot d}{H} \sqrt{1 + 3\mu^2} \quad (17)$$

También es preciso mencionar modelos como el “dynarat” desarrollado por Kapoor [81], simulación que divide los cuerpos en capas y predice la deformación por histéresis plástica de las distintas capas. Mucho más rápido que una simulación por elementos finitos, ha dado resultados prometedores.

Por su parte, Kapoor y Franklin [82] han desarrollado un modelo para predecir el desgaste por delaminación que separa el material afectado

por las tensiones de contacto en capas. La deformación acumulada en cada una se calcula a partir de las tensiones que aparecen a la profundidad a que se encuentra, incluyendo en el cálculo el efecto del endurecimiento por deformación. Cuando la deformación cortante acumulada sobrepasa un valor crítico, esa capa es eliminada, dejando al descubierto la capa inferior. Este modelo puede tener el potencial de predecir adecuadamente la evolución de la velocidad de desgaste con el número de ciclos y el efecto del endurecimiento del material por deformación.

2.4.- FATIGA POR RODADURA

En este apartado se hace un breve repaso de los distintos tipos de grietas asociadas al contacto rueda-raíl, para pasar después al estudio de las grietas de tipo superficial, sus características y procedimientos de cálculo, por ser estas grietas las más habituales tanto en ruedas como en raíles.

2.4.1.- INTRODUCCIÓN

El constante desarrollo de los materiales ferroviarios y los cambios en el diseño de vías, bogies y ruedas han llevado a un descenso en la velocidad de desgaste de las ruedas de ferrocarril y, en consecuencia, a un aumento de su vida operativa. Al mismo tiempo, las demandas logísticas y económicas del mercado han forzado el aumento de la velocidad de los vehículos y de la carga por eje; factores que implican un incremento de las tensiones que deben soportar la ruedas. Como resultado de esta situación, la fatiga esta comenzando a reemplazar al desgaste como principal causa de reemplazo y reperfilado de ruedas [1][83], más aún si se tiene en cuenta que una rueda puede ser capaz de soportar 10^9 ciclos antes de que el desgaste haga que sus dimensiones sean inaceptables [84], mucho más que el límite de fatiga convencional de 10^7 .

Además, otro factor a tener en cuenta es que las consecuencias de un fallo por fatiga pueden ser notablemente más peligrosas que las causadas por un desgaste excesivo, llevando en los casos más graves al descarrilamiento. Esta problemática se agrava sobre todo en curvas, donde aparece al contacto del borde de la cabeza del raíl con la pestaña de la rueda y aumenta el deslizamiento al mismo tiempo que se reduce el área de contacto[27], lo que lleva a una mayor severidad de las condiciones de contacto.

2.4.2.- TIPOS DE GRIETAS

Aquí se hace un breve resumen de los defectos más importantes relacionados con la aparición de grietas que pueden encontrarse en ruedas y raíles. Un excelente listado de toda la fenomenología relacionada con el daño sufrido por estos elementos puede encontrarse en [85].

2.4.2.1.- GRIETAS SUPERFICIALES

Este tipo de grietas de fatiga aparece debido fundamentalmente a las grandes deformaciones plásticas provocadas por la histéresis plástica de lazo abierto (ratchetting) que sufre la rueda en su superficie cuando esta sometida a elevadas tensiones tangenciales [86]. Una rueda que haya estado circulando por la vía presentará en su superficie gran cantidad de microgrietas originadas por esta causa, aunque en su mayor parte no crecerán hacia el interior sino hacia la superficie haciendo que se desprenda una pequeña esquirla de metal. En los raíles las grietas suelen recorrer una distancia mayor que en las ruedas antes de desviarse hacia la superficie y también hay mayor tendencia a que la grieta se desvíe hacia abajo para provocar la rotura del raíl [87].

En la figura pueden verse el aspecto de estas grietas, formando una fina matriz de pequeñas grietas escasamente separadas y alineadas en paralelo. Aparecen tanto en la rueda como en el raíl, donde se conocen como “head checks” en la literatura anglosajona.

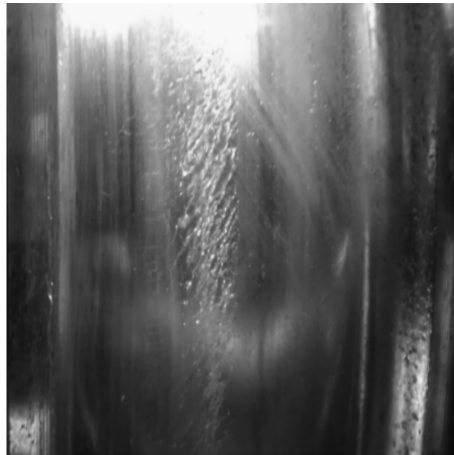


Figura 21: Grietas superficiales en una rueda de ferrocarril y en un raíl (head checks) [248]

La morfología real de estas grietas es algo más compleja de lo que denota su apariencia superficial ya que crecen en 3D y pueden ramificarse o coalescer.

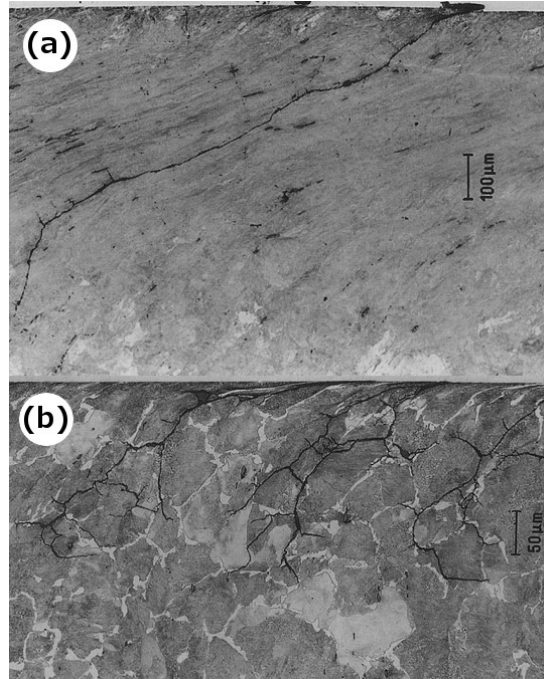


Figura 22: Aspecto típico de las grietas obtenidas en ensayos de disco gemelo. Con (b) y sin ramificación (a) [67].

2.4.2.2.- GRIETAS FORMADAS EN LA “CAPA BLANCA”

Se trata de grietas superficiales que aparecen debido a la formación en la superficie de una capa dura y frágil de martensita y austenita, normalmente en la rueda ya que la disipación de calor en el raíl es mucho más rápida. La figura muestra dos imágenes, una óptica y otra de microscopía de barrido en dos raíles con casi 20 años de servicio. Obsérvese, en la imagen SEM la existencia de tres capas: Un “tercer cuerpo” marcado con un triángulo blanco y formado (en el caso particular del estudio del que proviene la imagen) por una mezcla de óxidos de hierro y alúmina proveniente de las operaciones de acabado superficial del raíl, la “capa blanca” (“white layer” en inglés), que comienza en las flechas negras y termina en las blancas, y el sustrato perlítico.

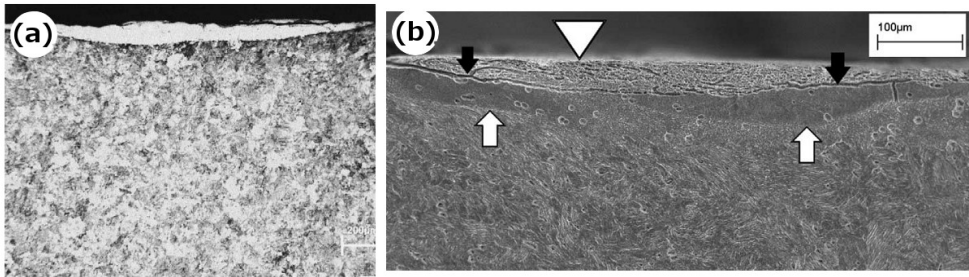


Figura 23: Imágenes de la "capa blanca" obtenidas por microscopía óptica en un rail UIC60/900A (a) y por microscopía electrónica en un rail UIC60/900B (b) [88]

Estas “capas blancas” pueden tener un espesor de más de 100 μm [88] (algunos autores hablan de hasta 1 mm [89]) y una dureza de hasta casi 1200 HV[55], excediendo los valores habituales de la martensita. Con semejantes propiedades es fácil comprender porqué la aparición de grietas en esta capa es sencilla.

Análisis usando radiación de sincrotrón han demostrado que en esta capa no existen cambios sustanciales en su composición si se compara con el metal original, por lo que el proceso de cambio microestructural debe ser totalmente mecánico o térmico. La descarburación propuesta por algún autor [90] se debe a que el carbono ausente está formando parte de carburos de muy pequeño tamaño (entre 2 y 50 nm) que no son detectables con técnicas usuales [88].

La formación de esta capa tan endurecida se puede explicar por una fragmentación mecánica de las láminas de cementita y una transformación a austenita debido a las altas temperaturas que se alcanzan en el contacto rueda-raíl durante las severas condiciones de patinaje que pueden aparecer durante una frenada con baja adherencia [91][92] (dando en ocasiones origen a un “plano” en la rueda). La martensita se forma en el enfriamiento de las superficies rompiendo la estructura deformada normalmente preexistente [93]. La presencia de austenita en la capa indica que las temperaturas que se alcanzan llegan, por lo menos, a unos 470 $^{\circ}\text{C}$, valor mínimo que debe alcanzarse para que se produzca la transformación bajo las elevadas presiones que hay en la superficie [94]. Esta temperatura se ve superada frecuentemente durante una frenada excesiva, que provoca un alto deslizamiento sobre el raíl, llegando a superar los 800 $^{\circ}\text{C}$ [95], e incluso

los 1000°C con cargas altas por eje si la rueda queda bloqueada [89].

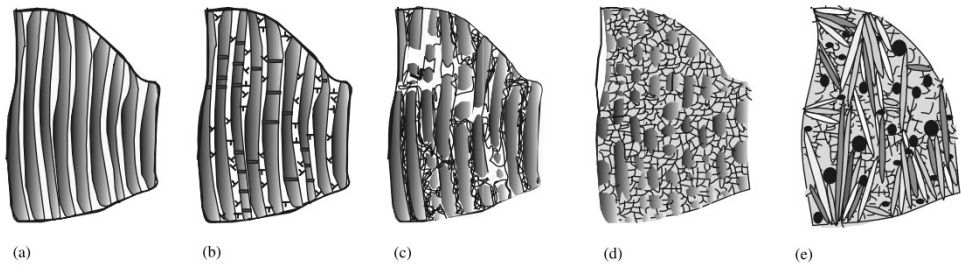


Figura 24: Fases en la formación de la "capa blanca". a) Perlita original, b) Fragmentación de la perlita por causas mecánicas o c) térmicas, d) austenización y e) transformación de fase durante el enfriamiento [88].

Debido al aumento de volumen (cerca del 3%) durante la transformación martensítica se generan altas presiones de compresión residuales que afectan a todo el volumen transformado. Esta circunstancia cambia también el campo de tensiones, de forma que la dirección de las tensiones principales deja de coincidir con la de deformaciones plásticas dominantes. Otro efecto de estas tensiones es la estabilización de la austenita restante [88].

Las grietas inducidas por cargas térmicas aparecen en la superficie orientadas transversalmente, como se muestra en la figura 25.

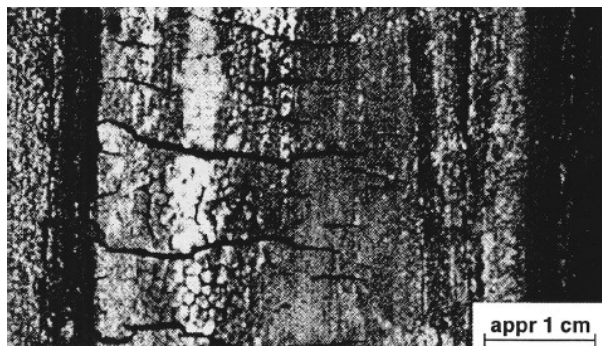


Figura 25: Grietas en la superficie de la rueda iniciadas por una fuerte carga térmica [13]

Inicialmente estas grietas se propagan radialmente, aunque bajo la acción de las cargas actuantes comienzan a propagarse circunferencialmente. En estos casos la grieta termina emergiendo a la

superficie para causar una pérdida de material como en el caso de una grieta generada por ratchetting.

Es de resaltar que este fenómeno no suele suceder en ruedas frenadas por zapatas de fundición [96], en las que el desgaste es puramente abrasivo, al alcanzarse rápidamente un alto coeficiente de fricción (alrededor de 0.6) entre la rueda y la zapata, el cual no puede ser superado por la adherencia rueda-raíl, incluso aunque aparezcan pequeñas zonas de soldadura.

2.4.2.3.- GRIETAS SUB-SUPERFICIALES

Estas grietas pueden aparecer cuando el material no contiene defectos macroscópicos (ausencia de inclusiones macroscópicas o poros) y en el contacto hay elevadas tensiones normales [83]. Aparecen entre 3 y 5 mm bajo la superficie de rodadura [97] y son menos frecuentes en aceros de alta resistencia.

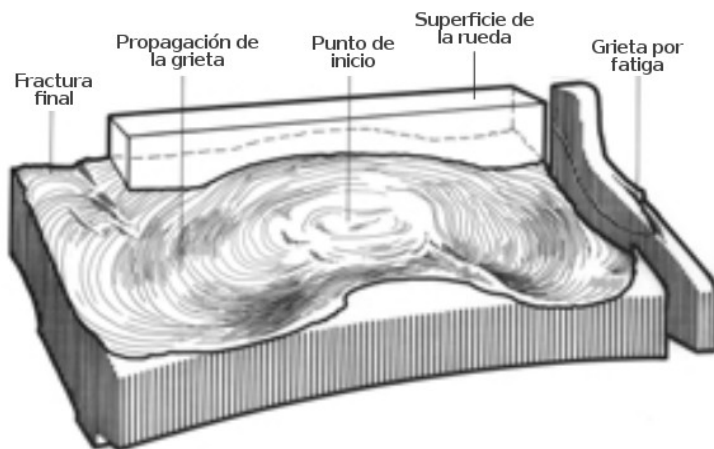


Figura 26: Aspecto de una fractura por grieta subsuperficial [13]

Las ruedas que presentan este tipo de problemas suelen mostrar signos de descascarillado debido a las grietas que han ido apareciendo y creciendo hacia la superficie. En realidad, este es el mecanismo de crecimiento que suelen seguir todas las grietas sub-superficiales, excepto

por el hecho de que las grietas asociadas con la fatiga crecen con un determinado ángulo respecto al radio de la rueda hasta una profundidad de unos 20 mm, después se propagan paralelamente a la llanta y finalmente empiezan a crecer hacia la superficie [83]. Esta forma de crecimiento hace que cuando la grieta llega a la superficie se desprenda un pedazo de acero cuya longitud oscila entre los 15 y los 100 mm, aunque se han encontrado casos en los que su longitud era de 250 mm.

2.4.2.4.- GRIETAS INTERIORES

Estas grietas, que son las más peligrosas, aparecen desde unos 10 mm, punto a partir del cual la resistencia a fatiga esta dominada por defectos macroscópicos [97], hasta a 25 mm de la superficie, dependiendo de las características del material y se generan debido a la presencia principalmente de poros de hasta 1 mm de diámetro o inclusiones bandeadas de sulfuro de manganeso [83] o $Al_2O_3(CaO)_x$ [7]. La presencia de un defecto en el material cambia la distribución de tensiones localmente al actuar como un concentrador de tensiones y aparecen deformaciones plásticas puntuales y tensiones residuales que pueden ser de tracción. Si a esto se añade que en las cercanías de un defecto la calidad del material sea inferior a la esperada, se dan todas las condiciones para la nucleación de una grieta si se supera cierto valor límite de tensiones. Una vez ha aparecido la grieta, se propaga a una distancia constante de la superficie hasta que termina por crecer, bien hacia el cubo, bien hacia la superficie. La longitud circunferencial de la grieta puede variar entre los 25 y los 135 mm.

La posibilidad de que ocurra un fallo de este tipo en una rueda es muy baja (Ghidini [7] indica unos pocos casos en 10 años en Italia) debido a que los modernos estándares de fabricación, que incluyen refinado en las cucharas de colada precalentadas y desgasificación por vacío, hacen desde hace años que este tipo de defectos sean muy improbables [98].

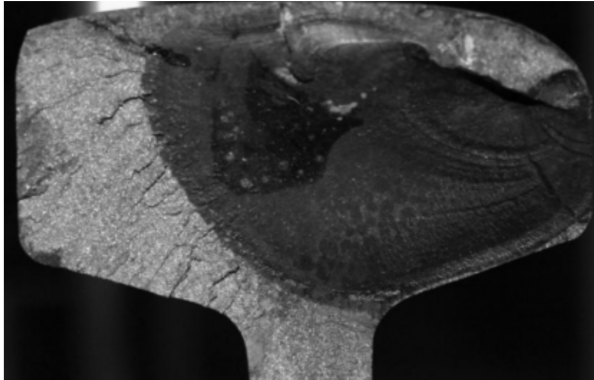


Figura 27: Fractura aparecida en un raíl debido a un defecto interno [248].

2.4.3.- GRIETAS SUPERFICIALES POR FATIGA

Este apartado esta dedicado solamente a las grietas superficiales, que son las más comunes y las que aparecerán por el mero hecho de la circulación del vehículo sobre la vía férrea.

2.4.3.1.- FASES DE DESARROLLO

El fallo de una rueda o un raíl por fatiga, igual que el de muchos otros elementos, puede dividirse en tres fases, ya que la mayor parte de los autores no separan la fase de crecimiento de grietas de pequeño tamaño de la de nucleación por tratarse esta última de un fenómeno poco definido [4]:

- I. Nucleación de grietas / Crecimiento acelerado de grietas de pequeño tamaño
- II. Crecimiento estable de grietas
- III. Crecimiento inestable de grietas.

En la figura 28 puede verse el aspecto de una grieta superficial iniciada por rodadura. Obsérvese como va cambiando el ángulo de la grieta a medida que cambia de fase debido a la distancia al campo de altas tensiones de contacto. Estas grietas presentan el mismo comportamiento y forma que las encontradas en sistemas afectados por fretting-fatiga; algo lógico pues en ambas están causadas por altas tensiones superficiales de

contacto.

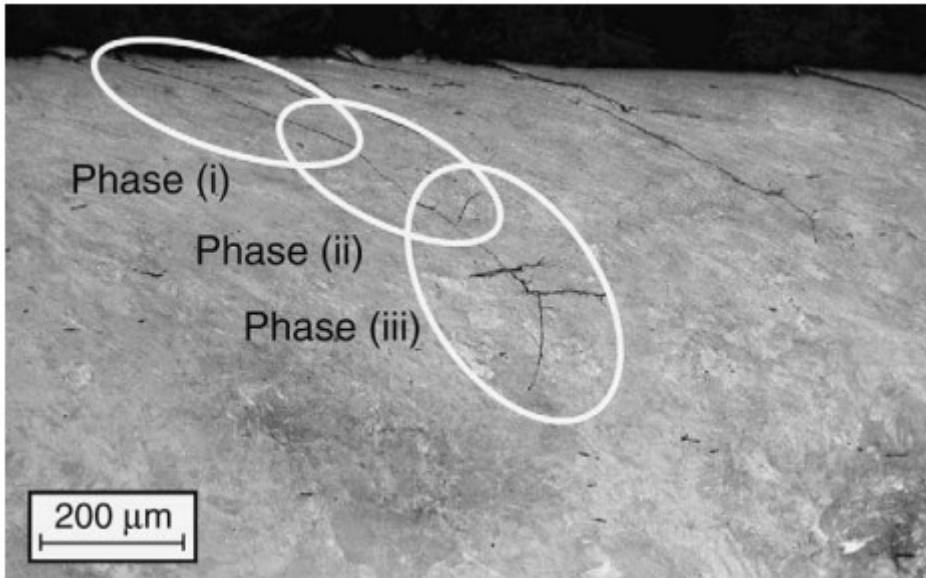


Figura 28: Fases de crecimiento de una grieta superficial causada por rodadura [101].

Una gráfica donde se representa la velocidad de crecimiento de grieta para cada fase de crecimiento es la de la figura 37 en el apartado 2.4.4. La fase I comprende la nucleación debida al agotamiento de la plasticidad del material y un proceso de fatiga de bajo ciclo, en el que la grieta, de muy pequeño tamaño, crece de forma muy rápida [99] por causas que todavía no son del todo conocidas. Esta fase termina cuando la velocidad de crecimiento, que desde un valor máximo muy alto va disminuyendo, alcanza un mínimo.

Durante la fase II el crecimiento de grieta está impulsado por las tensiones de contacto, aunque se cree que la presencia de agua puede jugar un papel fundamental en el crecimiento (ver apartado 2.4.3.3). Durante esta fase son dos los factores que controlan el crecimiento de la grieta: su longitud y el campo de tensiones. Durante la primera parte de esta fase la grieta está inmersa en el campo de altas tensiones de contacto y va aumentando su longitud, con lo que, por ello, el factor intensidad de tensiones en el fondo de grieta se incrementa y, con él, también lo hace la

velocidad de crecimiento. Poco a poco la grieta se va alejando de la zona de altas tensiones superficiales y su velocidad de crecimiento va bajando poco a poco hasta que pasa a estar controlada por las tensiones generales, como las de flexión, que, por ejemplo, afectan a los raíles durante la fase III. Este comportamiento de la fase II con un aumento inicial de la velocidad de crecimiento y una caída posterior hace que algunos autores dividan en dos esta fase [1].

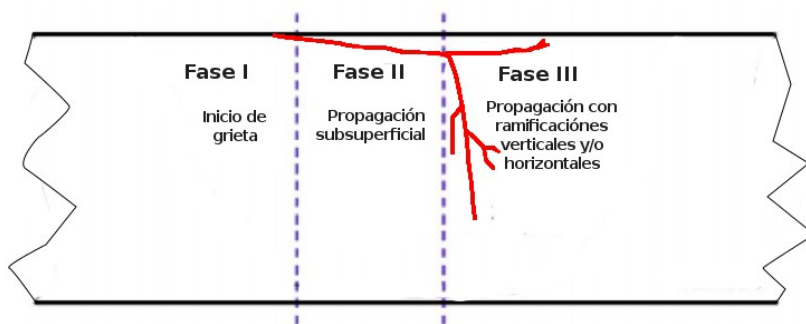


Figura 29: Fases en la propagación de una grieta en rodadura. Adaptado de [244]

Lo más común es que durante la fase II, la grieta crezca bajo la superficie de la rueda de forma casi paralela a ella hasta que se intersecte con otra o vuelva a la superficie para, en ambos casos, dar lugar al desprendimiento de un pedazo de material y a un desgaste de tipo delaminativo. Es difícil que la grieta ramifique hacia el interior y alcance una longitud suficiente que, combinada con las tensiones de flexión y residuales [100] (e incluso sólo residuales [98]) que hayan en la rueda o el raíl, pueda hacer que el factor de intensidad de tensiones sea lo bastante alto como para que se alcance la última fase de crecimiento inestable (fase III). No obstante, en ocasiones la grieta crecerá hacia dentro para acabar en una fractura frágil. La figura 30 muestra el riesgo de que la grieta crezca perpendicularmente a la superficie en función de su tamaño visible en el exterior.

De esta forma, tras la fase II, la rueda debería mostrar una banda de grietas alrededor de su circunferencia visibles a simple vista.

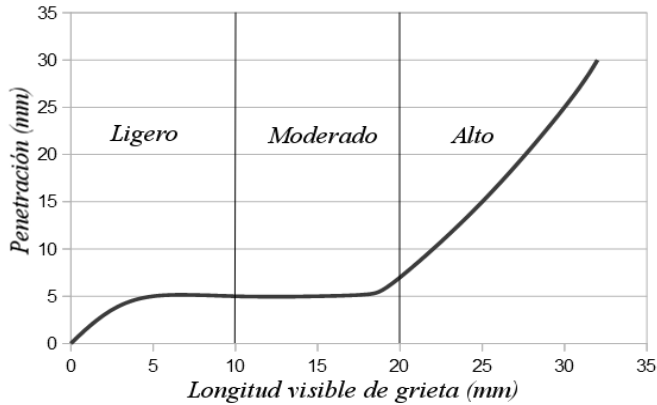


Figura 30: Correlación entre la longitud visible de una grieta, su penetración y el riesgo de daño. Adaptado de [253].

La fase I puede ser estudiada mediante la mecánica de fractura microestructural. La fase II mediante la mecánica de fractura elasto-plástica, mientras que la fase III responde bien a una mecánica de fractura lineal y elástica [86]. Un esquema basado en este comportamiento es el de Kitagawa-Takahashi, usado también para el estudio de la aparición de grietas en defectos subsuperficiales [83].

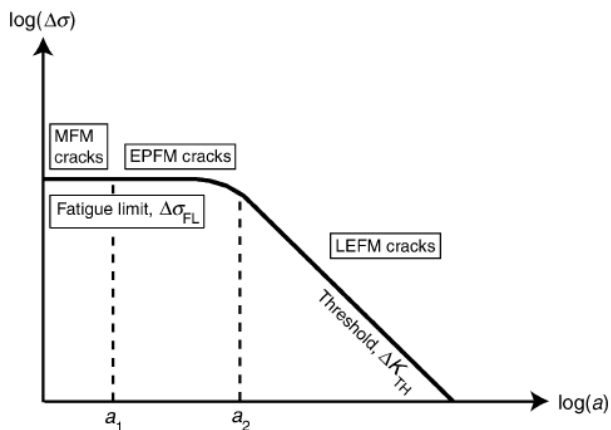


Figura 31: Diagrama de Kitagawa – Takahashi elaborado por Miller[102].

En este diagrama pueden verse 3 zonas distintas, delimitadas por los tamaños a_1 , y a_2 . El valor de a_1 se puede asociar al tamaño de grano de la aleación, dando algunos autores valores entre 3 y 5 granos [101], mientras

que a_2 puede obtenerse a partir de los típicos ensayos de fatiga, aunque algunos autores, como Miller [102], han propuesto su estimación a partir de ecuaciones como la siguiente :

$$a_2 = \frac{1}{\pi} \cdot \left(\frac{\Delta K_{TH}}{\Delta \sigma_F} \right)^2 \quad (18)$$

Donde ΔK_{TH} es el rango del factor de intensidad de tensiones umbral e $\Delta \sigma_F$ el límite de fatiga (medido como rango).

Queda por remarcar que las mismas fases de desarrollo de una grieta llevan a que hayan aparecido dos criterios distintos a la hora de evaluar la vida de un elemento:

- Estudiar el tiempo transcurrido hasta la nucleación de una grieta o, en la práctica, hasta la aparición de una grieta detectable.
- Suponer que el material esta lleno de pequeñas grietas y evaluar el tiempo que tardan en alcanzar un determinado tamaño.

2.4.3.2.- HISTÉRESIS PLÁSTICA Y NUCLEACIÓN DE GRIETAS

Aunque muchas veces se puede hacer una analogía entre los resultados obtenidos con otros ensayos, como los que se hacen para estudiar engranajes o rodamiento, y los de rodadura para el estudio del sistema rueda-raíl, hay una diferencia crucial: en los primeros se emplean aceros muy duros con un límite elástico que puede superar los 2000 MPa, limitando enormemente su deformación plástica [103]. Si bien no siempre es así, en rodadura el inicio de una grieta esta relacionado muchas veces con la acumulación de deformación plástica en su superficie, hecho corroborado por las evidencias metalográficas [87], lo que lleva a que el material alcance su límite de deformación, con la consiguiente aparición de una grieta[104][105][106].

Antes de seguir adelante, es preciso aclarar que los materiales rodantes están sometidos a un campo de tensiones triaxiales que hacen que su comportamiento no pueda ser estudiado directamente a partir de los

resultados obtenidos de ensayos mecánicos clásicos. Es por ello que es frecuente observar superficies de raíles muy deformadas, pero sin agrietamiento [107][108] debido a que las cargas de rotura son superiores a las que se encuentran en ensayos de fatiga a tracción [87].

En rodadura cada punto de la superficie de contacto de la rueda sufre un ciclo de carga-descarga en cada revolución. Si en esos ciclos las tensiones no alcanzan la zona de deformación plástica, el comportamiento es puramente elástico (figura 32-a). Tensiones mayores llevan a que tras un periodo de acumulación de deformación plástica y endurecimiento por acritud se alcance una fase estable, ya sea puramente elástica o incluyendo un ciclo cerrado de histéresis plástica (figura 32-b y -c). No obstante, aunque el material va endureciéndose ciclo tras ciclo, existe un límite de endurecimiento, conocido como “límite de acritud”, que marca el punto a partir del cual el material deformará pero no seguirá endureciendo [6]. Si se supera este límite aparecerá una deformación plástica permanente y acumulativa con cada revolución de la rueda (figura 32-d), llevando al fallo por fatiga de bajo ciclo. Es lo que se conoce en inglés como “ratchetting” y que en esta tesis, por no existir un término más adecuado, se puede traducir como histéresis plástica inestable.

Este fenómeno hace ya años que fue estudiado en ensayos de disco gemelo por Kapoor [105] y su existencia en materiales ferroviarios ha sido verificada por autores como Poschmann [109], quien encontró valores de deformación entre $0.5 \cdot 10^{-3}$ y $2 \cdot 10^{-3}$ al superarse el límite de endurecimiento para ruedas de ferrocarril R7. Este fenómeno se da principalmente en la superficie debido a las altas fuerzas de fricción que aparecen cuando existe contacto en la pestaña de la rueda, llegándose a alcanzar deformaciones puntuales del 1000% cuando ya se ve una grieta en la superficie [86].

La figura 33 muestra como aparecen las grietas superficiales por rodadura en el raíl y la rueda. Obsérvese la correspondencia de la orientación de las grietas con la deformación plástica del material.

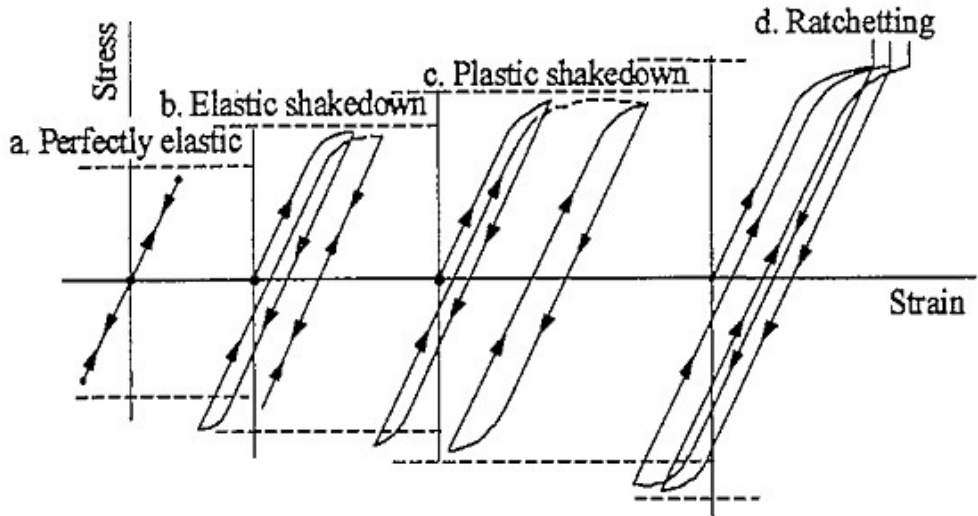


Figura 32: Comportamientos posibles de un material frente a cargas cíclicas [110]

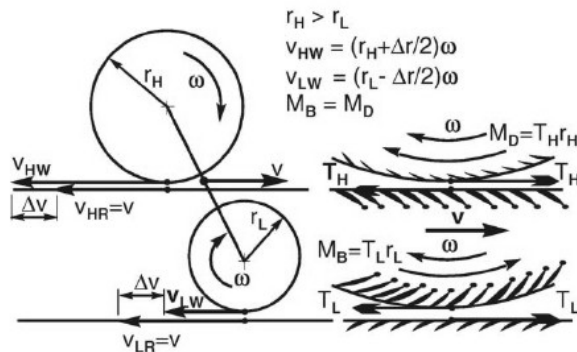


Figura 33: Reciprocidad del daño por rodadura entre la rueda y el raíl [3]

La figura 34-derecha muestra la dirección de las fuerzas tangenciales y longitudinales que actúan sobre la rueda en el raíl interior y su resultante. Las grietas deberían aparecer sobre planos perpendiculares a estas resultantes, tal y como muestra la figura 34-izquierda, que muestra las cuatro ruedas de un bogie que pasa habitualmente sobre curvas a derecha e izquierda. En esa figura puede verse también como, visto desde arriba, las grietas están orientadas hacia el centro del bogie, siguiendo perfectamente la

orientación de la deformación plástica.

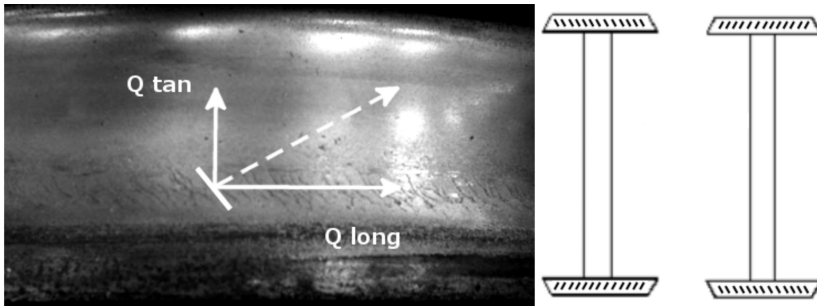


Figura 34: Fatiga de rodadura producida por fuerzas tangenciales en una rueda y orientación de las grietas en las ruedas de un bogie (vista superior). Adaptado de [8] y [243].

El hecho de que un material se vea sometido a una histéresis plástica de este último tipo lleva a una fuerte reducción de la vida a fatiga del material. Para una presión constante la relación entre la pérdida de vida a fatiga por rodadura y la magnitud de histéresis plástica responde bien a la ecuación [110]:

$$\% \text{ pérdida de vida} = 53 \cdot R_d^{0.5} \quad (19)$$

Donde R_d es la deformación plástica acumulada unidireccional, directamente proporcional al producto del número de ciclos N_c por la diferencia entre la presión (P_N) y el límite de endurecimiento. Otro ajuste similar dado por este mismo autor es el siguiente:

$$\% \text{ pérdida de vida} = 2.74 \cdot P_N \cdot N_c^{0.5} \quad (20)$$

Donde el significado de las variables que aparecen es el dado para la ecuación (19).

Johnson [111] estimó que este fenómeno puede considerarse importante para un valor del parámetro $P_{Nmax}/\tau_Y > 4$, donde P_{Nmax} es la presión máxima en el contacto y τ_Y el límite elástico a cortadura y su importancia aumenta conforme lo hace ese parámetro.

Aún así, no siempre el ratchetting tiene una importancia tan extrema, pues parecen existir evidencias [87] de que el ratchetting puede quedar anulado por los cambios de dirección del vehículo, con lo que los mecanismos dominantes para producir la aparición de una grieta serían los de fatiga de bajo ciclo.

2.4.3.3.- INFLUENCIA DEL AGUA EN EL CRECIMIENTO DE GRIETAS SUPERFICIALES

Una de las teorías más usadas y aceptadas [110] para explicar el crecimiento de grietas en rodadura, aunque no la nucleación o el crecimiento de grietas de pequeño tamaño, es la que se basa en la presencia de agentes lubricantes, agua casi exclusivamente, que quedan retenidos en el interior de las grietas y ejercen una elevada presión hidrostática cuando la grieta se comprime.

Aunque todavía existen autores que discrepan al respecto, ya se encontraron evidencias de la importancia de la presencia de un fluido para que aparezca fatiga por rodadura en ensayos realizados en los años 30 por Way [112] y después, hace 50 años, cuando Ollerton [113] comprobó que al ensayar un acero BS11 con otro BR-D, en seco no aparecían picaduras en $40 \cdot 10^6$ ciclos, mientras que éstas aparecían rápidamente cuando se introducía un lubricante. Estudios posteriores no han hecho sino corroborar estos hallazgos [79][114].

Otras evidencias de la necesidad de la presencia de un lubricante para la aparición de grietas son las siguientes:

- Las grietas por fatiga son raras en túneles, donde la lluvia no moja los raíles [113][114].
- Existen diferencias en la necesidad de remecanizado de ruedas entre estaciones secas y lluviosas [117].
- Se ha comprobado que en climas fríos, donde la condensación de agua es más fácil, la velocidad de crecimiento de las grietas es mayor [114].

Normalmente se ha estudiado mucho más la influencia de un líquido sobre las grietas en raíles que en ruedas, aunque el fenómeno afecta también

a estas últimas, sobre todo en curvas, donde la superficie conductora en el raíl exterior es el raíl. La figura 35a muestra una grieta en la superficie de un raíl, la cual esta situada inmediatamente delante de la rueda. En estas circunstancias las fuerzas tangenciales tiran de la grieta, abriéndola. Si hay presencia de algún fluido con una viscosidad lo suficientemente baja, éste entrará en la grieta por capilaridad [118]. En la figura 35b puede verse como la rueda ha avanzado hasta abarcar ambos lados de la grieta. Cuando esto ocurre, la fuerza normal que transmite la rueda cierra la boca de la grieta, impidiendo la salida del líquido que había penetrado en ella.

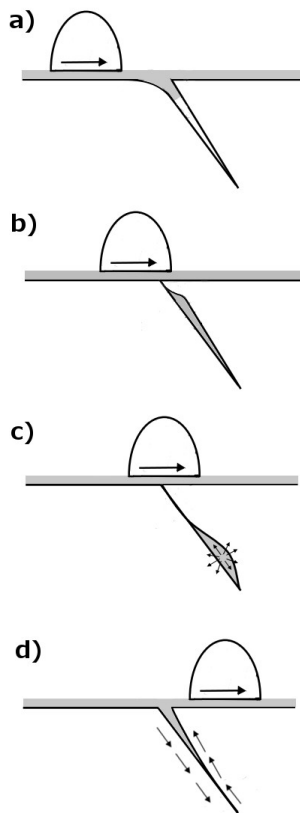


Figura 35: Proceso de crecimiento de grieta por atrapamiento de agua en su fondo según el proceso descrito en [6].

A medida que la grieta avanza sobre la grieta, el líquido se va comprimiendo cada vez más, a la vez que es empujado hacia el fondo de la

grieta (figura 35c). Asumiendo un comportamiento incompresible del fluido, las presiones que aparecen en la cavidad que resta en el fondo de grieta son enormes. Estas presiones ayudan a la grieta a crecer en modo I al abrir sus paredes e incluso pueden ser suficientes para hacerla crecer. Cuando (figura 35d) la rueda, en su avance, libera la pared trasera de la rueda, el líquido puede escapar, desapareciendo la presión hidrostática en el fondo de grieta.

No obstante, en ese momento las fuerzas que actúan sobre la grieta podrían hacerla crecer en modo II si la fricción entre las caras de la grieta es inferior a 0.2. Este tipo de crecimiento de la grieta se demostró posible tras las investigaciones de Bold [119], y aunque es claramente difícil de observar, a no ser que se empleen diseños especiales, como el de Morbarigazzi [120], basado en interferometría holográfica, se ha conseguido comprobar su existencia.

Además de este fenómeno, la presencia de agua puede reducir la fricción entre las paredes de la grieta e incluso separarlas [118], aunque la grieta no esté completamente cerrada y no aparezca presión hidrostática propiamente dicha [121]. Ambos fenómenos ayudan también a acelerar el crecimiento de la grieta.

Este proceso puede darse incluso aunque no haya presencia visible de agua (o aceite) sobre la superficie. La presencia de una alta humedad o la condensación de rocío durante la noche, junto a fenómenos de capilaridad pueden hacer que la grieta se llene de agua, pudiendo permanecer así incluso cuando la superficie externa ya se ha secado.

Esta influencia del agua parece verse acrecentada cuando previamente se somete el par rodante a cierta cantidad mínima de ciclos en seco, lo que incluso podría ser necesario [56]. La figura 36 muestra la influencia de una serie de ciclos en seco previos a unos ensayos en disco gemelo con agua [110]. Como puede observarse, el hecho de que los discos se vean sometidos inicialmente a unos ciclos de rodadura en seco disminuye enormemente el tiempo necesario para la aparición de grietas. Esto es lógico, puesto que el efecto lubricante del agua reducirá el campo de tensiones tangenciales, retardando la deformación plástica y la aparición de grietas, aunque una vez formadas acelere su crecimiento.

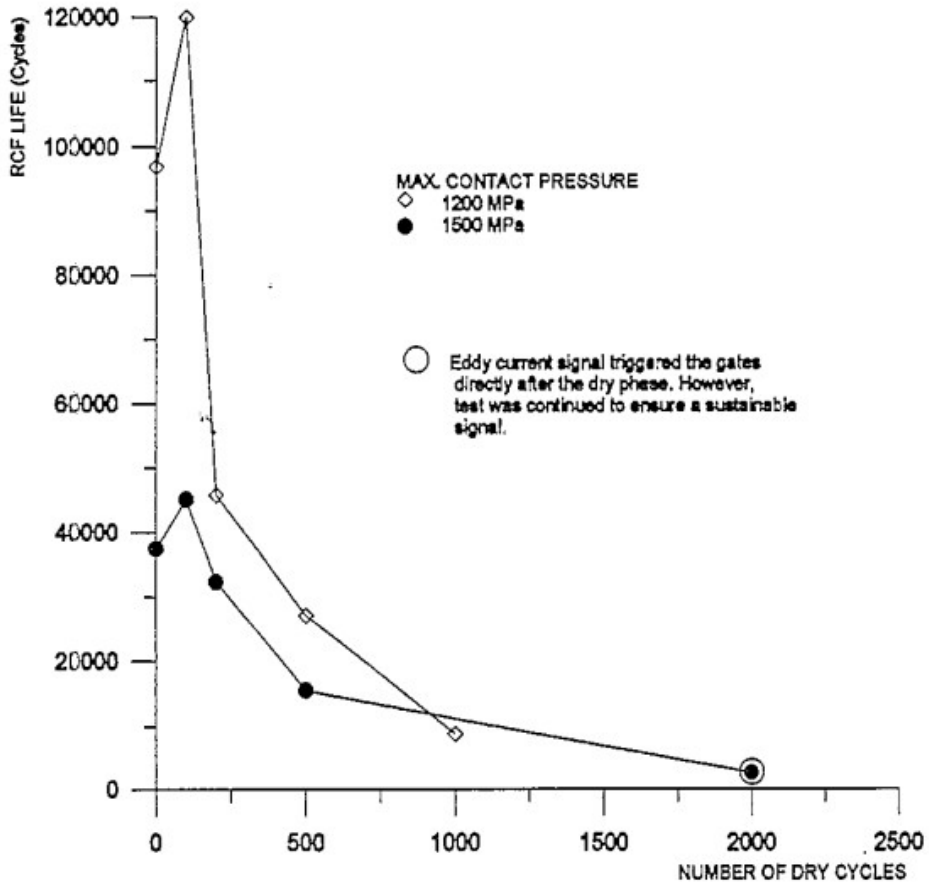


Figura 36: Efecto de los ciclos en seco iniciales sobre la vida posterior con agua en un ensayo de discos gemelos [110]

2.4.4.- LA INTERACCIÓN DESGASTE-FATIGA

La interacción desgaste-fatiga es uno de los fenómenos más importantes a tener en cuenta tanto en la fatiga por rodadura del sistema rueda-raíl como en otros sistemas afectados. En rodadura se dan dos circunstancias opuestas: Por un lado, como ya se ha comentado, la aparición de grietas superficiales y su posterior afloramiento a la superficie es la principal causa de desgaste por delaminación cuando las condiciones de contacto son severas. En este caso, desgaste y fatiga por rodadura son el

mismo fenómeno. Por otro lado, se puede considerar, desde un enfoque más frecuente, que son fenómenos antagónicos. Es decir, una velocidad de desgaste alta puede eliminar todas las grietas que aparezcan antes de que alcancen un tamaño crítico, haciendo desaparecer totalmente el peligro de rotura por fatiga. Los dos puntos de vista son acertados si se tiene en cuenta que en el primer caso se entiende que una grieta existe desde su nucleación y en el segundo que solamente lo hace cuando alcanza una longitud mínima, a veces de varios milímetros [122], que es cuando empieza a ser peligrosa (recuerdese la figura 30). Es en este último enfoque en el que se centran los párrafos siguientes.

Como ya se ha comentado en el apartado 2.4.3.1, las fases de crecimiento de una grieta en rodadura son tres [86] y pueden representarse junto con tres velocidades de desgaste distintas en la figura 37.

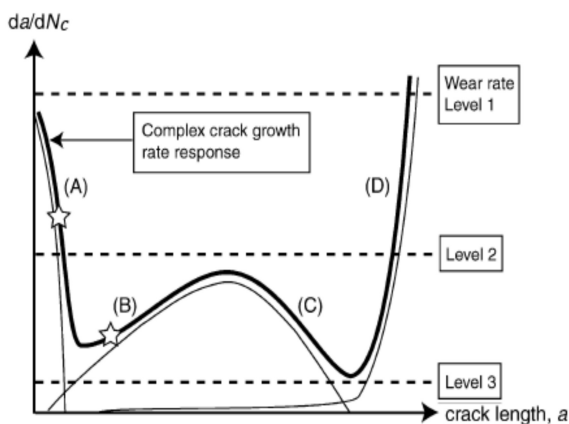


Figura 37: Fases de crecimiento de una grieta por rodadura [86]

Si se toman esos tres niveles de desgaste, el nivel I de desgaste representado en la figura 37 es tan elevado que no permite la aparición de una grieta. El nivel II permite la aparición de las grietas, pero las elimina rápidamente una vez se han formado. El nivel III de desgaste no afectará para nada al crecimiento de las grietas que se formen.

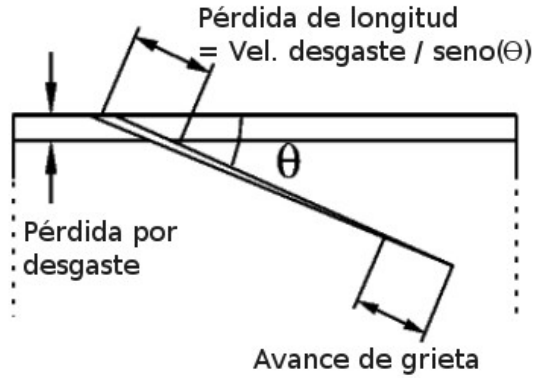


Figura 38: Influencia del desgaste sobre el crecimiento de grieta [4].

Así pues, es fundamental incluir ambos fenómenos [4], crecimiento de grieta y desgaste, en cualquier modelización. Para tenerlos en cuenta es posible recurrir a modelos como el de Paris-Erdogan [123] e incluir la pérdida de longitud debida al desgaste producido en cada ciclo de rodadura. Esto proporcionará la velocidad neta de crecimiento de grieta:

$$\left\{ \frac{da}{dN_c} \right\}_{neta} = \frac{da}{dN_c} - \frac{W}{\sin(\theta)} = C(\Delta K)^m - \frac{W}{\sin(\theta)} \quad (21)$$

Donde C y m son las constantes de la ecuación de Paris-Erdogan, N_c el número de ciclos, W la pérdida por desgaste e ΔK el rango del factor de intensidad de tensiones. Otra expresión es la usada por Ringsberg [86] o Kapoor [124], quienes igualan la velocidad de pérdida de longitud de grieta por desgaste con una medida de este último mediante la ecuación 22, desarrollada a partir de la ley de Archard.

$$\left(\frac{da}{dN_c} \right)_{desgaste} = \frac{k \cdot P_{Nmax} \cdot \pi}{4 \cdot H \cdot b_e} \frac{1}{\sin(\theta)} \quad (22)$$

Siendo θ el ángulo de la grieta con la horizontal y b_e el semieje de la elipse de contacto.

Pese a todo lo expuesto, algunas condiciones de trabajo del sistema rueda-raíl pueden provocar que un desgaste acelerado lleve a un rápido fallo por fatiga. Esta situación puede darse cuando el desgaste cambia la geometría de, por ejemplo, el raíl para dar origen a un fuerte concentrador de tensiones [3] como el mostrado en la figura 39. Obsérvese en la misma figura el aspecto que presenta la rueda afectada tras 20000 km de servicio, con la gran cantidad de material arrancado de la zona central de altas tensiones. Por suerte, tanto el desgaste como la deformación plástica de la rueda y el raíl normalmente cambiarán la geometría agrandando el área de contacto y reduciendo las tensiones, evitando también el crecimiento de las grietas que hayan podido aparecer.

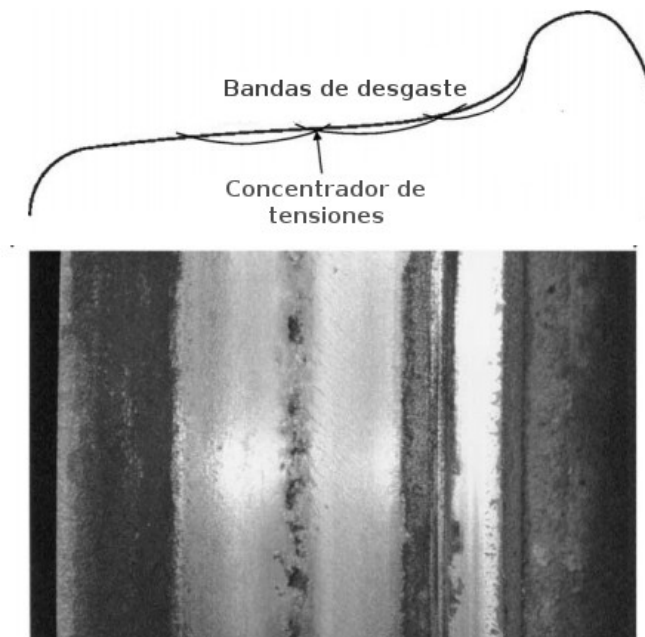


Figura 39: Esquema de la formación de un concentrador de tensiones por desgaste y aspecto de la rueda tras 20000 Km de servicio [3].

En cualquier caso, ambos fenómenos, fatiga y desgaste, son perniciosos y llevan a pérdidas económicas importantes, por lo que sólo un compromiso entre ambos puede llevar a minimizar el gasto.

2.4.5.- CÁLCULOS EN FATIGA A RODADURA

Aunque en esta tesis no se va a recurrir a la simulación por elementos finitos, la cantidad de autores que emplean esta herramienta hace preciso recalcar que el estudio teórico de la fatiga por rodadura difiere de las teorías clásicas en varios aspectos que dificultan, y no poco, su uso. Muchas de estas dificultades han sido recogidas en un estudio del grupo de Ekberg [87][125]:

- Las grietas de pequeño tamaño están muy influenciadas por la microestructura, por lo que las condiciones de isotropía y homogeneidad no son aplicables [98].
- El campo de tensiones de contacto es triaxial, con componentes tensionales fuera de fase y con rotación de las direcciones de las tensiones principales, con crecimiento de grietas en modo II o III.
- Debido a las cargas de compresión, será el rozamiento entre las paredes de la grieta quien controlará la velocidad de crecimiento. No obstante, este factor es muy difícil de cuantificar.
- Al aumentar la longitud de las grietas, su inclinación puede aumentar, cerrándola en parte [13].

También otros autores citan dificultades a la hora de trabajar con fatiga en rodadura:

- Las características del material cambian con el tiempo debido a fenómenos como la histéresis plástica o el endurecimiento por acritud [86].
- A las tensiones de contacto hay que sumar las térmicas [103], las de encastre en el eje [84], frenado, etc.
- Sobrecargas puntuales, muy comunes por lo general en ferrocarriles, pueden acelerar momentáneamente la velocidad de crecimiento de las grietas [127] y hacen necesaria la introducción de modelos estadísticos.

Por si todo ello no fuese bastante, ya se ha comentado como la presencia de agua es un factor normalmente no considerado pero de gran importancia en el crecimiento de grietas (en realidad se han ido desarrollando diversos métodos para poder incluir el efecto del fluido

atrapado y poder calcular el factor de intensidad de tensiones. Cabe destacar los trabajos realizados a este respecto por Kaneta y Murakami [57][58], Beynon [130] usando las funciones de Green, Bogdansky [131] o Ringsberg [132][133] y Kapoor [134] añade uno más al citar otro factor que acelera el crecimiento de grietas de pequeño tamaño en rodadura: la deformación causa un alargamiento de las grietas y lleva a una alineación de los bordes de grano de la microestructura perlítica.

Finalmente, quizás peor que todo lo anterior, es que con tal cantidad de parámetros que influyen en el contacto es muy difícil encontrar una buena correlación entre los modelos teóricos que se proponen y los resultados obtenidos en laboratorio; e incluso cuando entre ellos hay una buena correspondencia el comportamiento real en vía puede ser distinto al predicho en ensayos de laboratorio [135].

2.4.5.1.- TENSIÓN EQUIVALENTE, PLANO CRÍTICO E ÍNDICE DE DAÑO

Trabajar con un sistema de tensiones unidireccional, como en un ensayo de tracción es muy fácil, ya que el estado tensional de la pieza analizada es conocido en todo momento y los cálculos son extremadamente sencillos. Cuando se tiene un campo triaxial las cosas cambian. La idea de usar una tensión equivalente cuando se está trabajando con sistemas de tensión multiaxiales es uno de los métodos más empleados para predecir la aparición de daño por fatiga. Este sistema busca, hábilmente, simplificar el cálculo al sustituir tres tensiones espaciales por una única tensión que representará el efecto de todas ellas.

El cálculo de esta tensión equivalente se complementa con la búsqueda del llamado “plano crítico” (basado originalmente en los métodos de inicio de grietas), que será aquel en el que el valor de dicha tensión es máxima y, por lo tanto, la acumulación de daño por los mecanismos de fatiga es mayor que en el resto de todos los posibles planos que se puedan considerar. Es en ese plano donde más daño se acumula y donde aparecerán las grietas de fatiga en caso de que la tensión equivalente calculada supere un determinado valor umbral. Desde las ideas iniciales al respecto de Guest [136], han sido muchas las modificaciones que han aparecido y los modelos de cálculo propuestos para hallar el plano crítico, aunque todos se basan en evaluar el campo de tensiones que afecta al material. Ekberg [137] ha hecho

un resumen de los criterios de cálculo de la tensión equivalente más comunes en rodadura, aunque son muchos más los existentes (McDiarmid, Smith-Watson-Topper, Fatemi-Socie,...) :

- Máxima tensión principal:

$$\sigma_{eq} = \text{máx}(\sigma_i) \quad (23)$$

- Criterio de Tresca:

$$\sigma_{eq} = \text{máx} \tau = \text{máx} \frac{\sigma_i - \sigma_j}{2} \quad (24)$$

- Tensión equivalente de Von Mises:

$$\sigma_{eq} = \frac{1}{\sqrt{2}} \sqrt{(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2} \quad (25)$$

- Criterio de Sines:

$$\sigma_{eq} = \tau + 3 \alpha \sigma_{h, med} \quad (26)$$

- Criterio de Crossland:

$$\sigma_{eq} = \tau + 3 \alpha \sigma_{h, máx} \quad (27)$$

- Criterio de Dang Van:

$$\begin{aligned} \sigma_{eq} &= \tau(t) + a_{DV} \sigma_h(t) \\ \sigma_{eq} &= \tau(t) - a_{DV} \sigma_h(t) \end{aligned} \quad (28)$$

Independientemente del criterio usado, lo importante es obtener una tensión máxima que pueda compararse con un valor límite. Quizá los dos modelos más usados, o que parecen dar mejores resultados son el de Dang Van y el de Sehitoglu [14] (basado en el cálculo de densidad energética de Smith-Watson-Topper).

Este último criterio combina tanto tensiones como deformaciones, por lo que se define más como un parámetro de fatiga (o “Fatigue Parameter”, como indica el autor), que como una tensión equivalente. De todas formas, también en este caso se define el plano crítico como aquel donde FP se hace máximo. Su forma es la siguiente:

$$FP = \frac{|\sigma_{m\acute{a}x}| + \sigma_{m\acute{a}x}}{2} \frac{\Delta \varepsilon}{2} + J \Delta \tau \Delta \varepsilon_y \quad (29)$$

Donde $\sigma_{m\acute{a}x}$ es la máxima tensión normal, $\Delta \varepsilon$ es el rango de la deformación normal, $\Delta \varepsilon_y$ es el rango de la deformación tangencial, $\Delta \tau$ es el rango de la tensión cortante y J una constante característica del material. En realidad, parece que el uso de parámetros basados en la deformación como éste son más apropiados que los basados en tensiones cuando se trabaja en zona plástica [125].

El criterio de Dang Van fue desarrollado para estudiar el agotamiento por histéresis plástica a nivel de grano [138] y está basado en la comparación entre una tensión equivalente y un valor umbral. En él $\tau(t)$ y $\sigma_h(t)$ representan las tensiones cortantes y directas en el tiempo t y a_{DV} es una propiedad adimensional del material que representa la influencia de las presiones hidrostáticas.

Sea cual sea el elegido, el uso de este método de trabajo parece ser prometedor, como muestran algunos estudios realizados con varios parámetros por Ringsber [2] o por Ekberg [83], quien mostró que los criterios basados en la obtención de una tensión equivalente (Dang Van, Sines o Crossland, por ejemplo) pueden emplearse, aunque no sin dificultad, para analizar el inicio de fatiga, incluso en materiales que contienen defectos.

No obstante, todavía queda un largo camino que recorrer en la búsqueda del mejor criterio. Por ejemplo, pese a que el criterio de Dang Van ha sido posteriormente mejorado para tener en cuenta las anisotropías existentes en una rueda provocadas por el proceso de fabricación [13], las comparaciones realizadas entre los resultados del modelo y la vida real de una rueda dan como mucho resultados limitados.

Una vez evaluada la posibilidad de que aparezca daño por fatiga en rodadura, se puede estimar su magnitud usando los llamados índices de daño. En realidad, se trata de un método complementario al del plano crítico, ya que lo que se hace es comparar el valor de la tensión equivalente (o del parámetro de fatiga) obtenido en el plano crítico con el valor umbral a

partir del cual aparecerá daño y se evalúa la diferencia entre ambos.

Kalousek [139] y Ekberg [97][104] usan el siguiente índice para evaluar el inicio de la fatiga superficial por rodadura (expresiones similares existen para grietas subsuperficiales e interiores):

$$FI = f - \frac{2 \cdot A \cdot \tau_Y}{3 \cdot Q} \quad (30)$$

donde FI es el índice de inicio de la fatiga por rodadura en la superficie, Q es la suma cuadrática de las fuerzas tangenciales (longitudinales y transversales), f el coeficiente de tracción, A el área de contacto y τ_Y el límite elástico a cortadura del material.

Se supone que aparecerá fatiga por rodadura cuando $FI > 0$

Si el índice descrito se escribe como:

$$FI = \frac{Q}{P_N} - \frac{\tau_Y}{P_{Nmax}} \quad (31)$$

entonces la curva $Q/P_N = \tau_Y/P_{Nmax}$ es la parte curva de la figura 40. Por debajo de, aproximadamente, $Q/P_N = 0.25$ el valor límite deja de seguir la curva y para a ser constante. Esto indica que en ese rango, un valor negativo de FI , también podría causar el fallo de la rueda.

A menudo la máxima tensión de contacto se estima como $1.5 \cdot P_N/A$, donde A es el área de contacto. τ_Y puede estimarse a partir del criterio de Von Mises como $1/3$ del límite elástico en tracción. Esta estimación indica que τ_Y se encuentra entre 260 y 330 MPa para los materiales R7 y R8, lo que supone que incluso para solicitaciones moderadas se ha de esperar que se supere el límite de acritud y aparezca histéresis plástica.

La figura 40 muestra un diagrama de acritud, también llamado de histéresis plástica o “shakedown”, en el que se representa el valor del límite de endurecimiento en función del coeficiente de tracción. El límite teórico de endurecimiento es $1/\mu$ (μ es el coeficiente de fricción). Recuérdese que el

coeficiente de tracción no debe confundirse con el de fricción, valor máximo que puede alcanzar el de tracción cuando aparece un deslizamiento total.

El diagrama se divide en 4 zonas que corresponden a las 4 posibles evoluciones de la deformación superficial en rodadura ya descritas en la figura 32. La zona de ratchetting es la más preocupante de todas y donde se espera que el daño sea mayor. Si las condiciones de contacto se representan en estos diagramas de histéresis plástica o “shakedown” y caen por encima de la línea límite, aparecerá fatiga por ratchetting y agotamiento de la plasticidad.

Con el uso de estos diagramas se ha intentado valorar el daño que puede recibir la superficie midiendo la distancia al límite mediante una horizontal [97], una normal [140] o una vertical [110], señal de que hacerlo no es nada sencillo. Por otra parte, si el punto representado cae por debajo del material, eso no indica que el material esté exento de daño y aún pueden aparecer grietas por fatiga de alto ciclo (si no se supera el límite elástico) o de bajo ciclo (cuando se supera) [84]. En cualquier caso, aunque las tensiones teóricas en vía puedan mantenerse por debajo del límite de endurecimiento, las condiciones puntuales del contacto (rugosidad, vibraciones, ...) generarán elevadas tensiones locales y harán que se supere este umbral, siendo prácticamente imposible evitar el fenómeno del ratchetting [4].

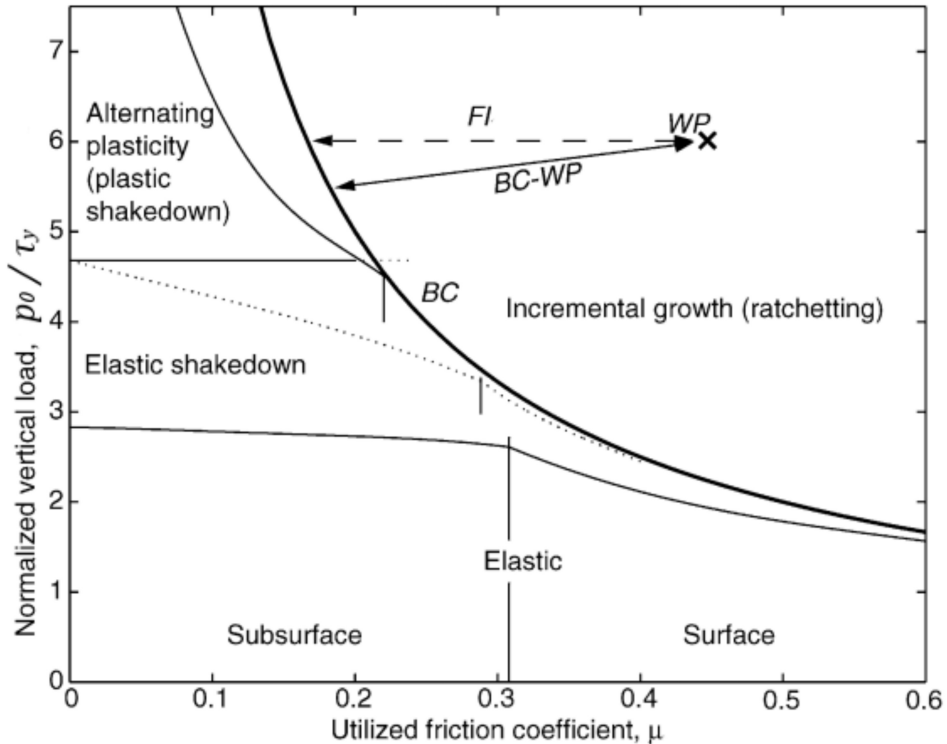


Figura 40: Diagrama de shakedown o histéresis plástica donde se ven las distintas zonas de comportamiento del material [87].

Pese a que son muy prometedores, estos diagramas y los modelos derivados han tenido solamente un éxito parcial [4] en predecir fallos en vía debido a que implican la ausencia de daño por debajo del límite de endurecimiento, lo cual no es cierto, ya que no tienen en cuenta otros factores como la temperatura. Además, el valor del límite de endurecimiento para un determinado material se conoce sólo dentro de un margen muy amplio.

2.4.5.2.- CÁLCULO DE LA VIDA

El índice FI descrito puede ser usado para evaluar la vida a fatiga a partir de la siguiente ecuación [141], donde N_{cf} es el número de ciclos hasta la nucleación de una grieta:

$$\frac{1}{N_{c,f}} = \frac{(FI)^4}{10} \quad (32)$$

No obstante, ésta no es una de las formas más habituales de evaluar la vida a fatiga en rodadura.

Entre los criterios más usados para evaluar la vida a fatiga están la relación de Coffin-Manson y la de Smith-Watson-Topper (SWT).

La relación de Coffin-Manson puede escribirse como [2]:

$$\frac{\Delta \varepsilon_y}{2} = \frac{\tau_Y}{G} (2N_{c,f})^{C_{CM1}} + \gamma'_{f'} (2N_{c,f})^{C_{CM2}} \quad (33)$$

Donde $\Delta \varepsilon_y/2$ es la amplitud máxima de la deformación a cortadura (tipo I), τ_Y el límite de fatiga a cortadura, $\gamma'_{f'}$ el coeficiente de ductilidad en fatiga cortante, C_{CM1} y C_{CM2} los exponentes asociados, G el módulo elástico en cortadura y $N_{c,f}$ el número de ciclos hasta la nucleación de una grieta.

La relación SWT, por su parte, es:

$$\sigma_p^{max} \frac{\Delta \varepsilon_{pmax}}{2} = \frac{\sigma'_{f'}{}^2}{E} (2N_{c,f})^{2C_{SWT2}} + \sigma'_{f'} \varepsilon'_{f'} (2N_{c,f})^{C_{SWT2} + C_{SWT1}} \quad (34)$$

Donde $\Delta \varepsilon_{pmax}/2$ es la máxima amplitud de la deformación principal, σ_p^{max} es la tensión máxima en el plano donde aparece $\Delta \varepsilon_{pmax}/2$, $\varepsilon'_{f'}$ y $\sigma'_{f'}$ son los coeficientes de ductilidad a fatiga axial y de resistencia a fatiga axial.

Si se usa el parámetro de Jiang y Sehitoglu [14] la relación con la vida a fatiga puede describirse siguiendo la relación:

$$(FP - FP_0)^{C_{J1}} \cdot N_{c,f} = C_{J2} \quad (35)$$

donde N_f es la vida a fatiga que corresponde al parámetro FP . FP_0 , C_{J1} y C_{J2} son parámetros que se determinan experimentalmente para cada material. La importancia de FP_0 radica en que si éste es menor que 0, se está por debajo del límite de fatiga. La inclusión de la acumulación de deformación plástica en la anterior ecuación lleva a que, si se supone una acumulación lineal del

daño, el daño total acumulado D_t hasta el ciclo N_c sea:

$$D_t = D_f + D_r = \sum_1^{N_{c,f}} \left(\frac{dD_f}{dN_c} + \frac{dD_r}{dN_c} \right)$$

$$\frac{dD_f}{dN_c} = \frac{(FP - FP_0)^{C_{J1}}}{C_{J2}} \quad (36)$$

$$\frac{dD_r}{dN_c} = \frac{|d\varepsilon_{y,r}| dN_c}{\varepsilon_{y,crit}}$$

En la ecuación anterior D_r es el daño causado por la acumulación de deformación plástica, D_f el que causa la fatiga, $\varepsilon_{y,r}$ la deformación ortogonal causada por las tensiones cortantes y $\varepsilon_{y,crit}$ el valor de deformación que provoca el fallo. La ecuación 36 esta pensada para que el fallo se produzca cuando D_t alcance el valor 1. Esta formulación permite identificar los parámetros que controlan la forma en que falla el material. Si el material tiene una baja ductilidad, el fallo ocurrirá por aparición y crecimiento de grietas; si el material es dúctil, será la acumulación de deformación la que provocará el desprendimiento de finas láminas de material de la superficie. En la figura siguiente pueden verse dos ajustes realizados usando este modelo:

Como puede observarse, todas estas ecuaciones precisan de la evaluación del campo de tensiones y/o deformaciones en el volumen de material, del cálculo en ese volumen de una tensión equivalente que lo represente y de la búsqueda del plano crítico donde ese parámetro tiene un valor máximo. La potencia de cálculo requerida es, por lo tanto, considerable. Dado que abordar estos cálculos no entra en el objetivo de esta tesis, se remite al lector a la bibliografía que se cita a lo largo de todo el texto.

El modelo propuesto por Burstow [142] adopta otro enfoque y hace uso, igual que algunos modelos de desgaste, de la transferencia de energía entre las superficies en contacto. Este autor hace uso del parámetro $T\gamma$ para estudiar la aparición de grietas en railes y aplica el modelo a finas láminas en la cabeza del rail, comparando los resultados con observaciones prácticas. La figura 41 muestra el modelo resultante.

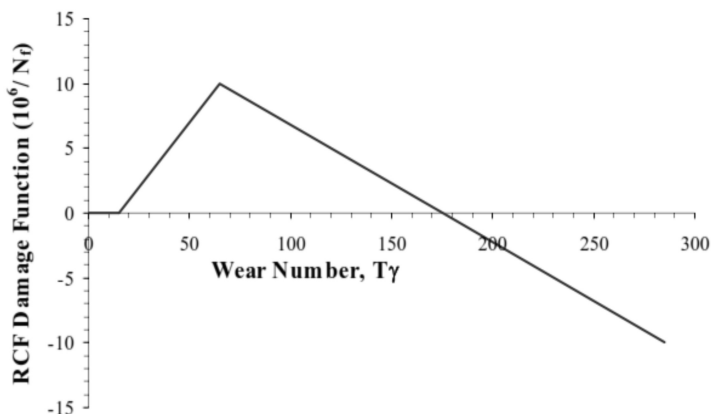


Figura 41: Variación del daño con el valor de $T\gamma$ (N) [142]

Este modelo combina los efectos del desgaste y de la fatiga. Para $T\gamma < 15$ N, no aparece daño superficial en el rail. Para 15 N $< T\gamma < 65$ N, aparece fatiga y el daño se incrementa linealmente con $T\gamma$. Para $T\gamma > 65$ N el desgaste empieza a eliminar los efectos de la fatiga. Para $T\gamma > 165$ N, solamente existe desgaste, al eliminarse rápidamente las grietas incipientes.

Este modelo parece dar muy buenos resultados, aunque es muy empírico. Una adaptación del modelo para funcionar con las ruedas puede hacer de éste un modelo muy adecuado para el estudio tanto de la fatiga como del desgaste.

También se ha propuesto que la vida a fatiga estaría relacionada con el deslizamiento y la presión de contacto de acuerdo con una ecuación con la forma [143]:

$$N_{c,f} = f(P_N)^{g(\gamma)} \quad (37)$$

Donde $f(P_N)$ es una función de la presión de contacto y $g(\gamma)$ una del deslizamiento. Aunque esta relación muestra similitudes [4] con los resultados que se obtienen trabajando con el parámetro $T\gamma$, este camino no ha continuado siendo explorado.

2.5.- FACTORES DE INFLUENCIA EN LA RODADURA

En este capítulo se describen las principales variables que influyen sobre el sistema rodante en cuanto a la transmisión de esfuerzos que tiene lugar (curva de adherencia) y en lo referente a los cambios que pueden provocar en las superficies.

2.5.1.- INFLUENCIA DE LOS CONTAMINANTES

Durante la limpieza de los raíles siempre se recoge una pasta que, estudiada en detalle, resulta ser una mezcla de fluidos aceitosos y sólidos finamente divididos [144]. Los aceites suelen estar presentes en capas que pueden llegar a tener tan sólo unas pocas decenas de moléculas de espesor. Lo mismo ocurre con el agua, excepto cuando hay lluvia, niebla o la temperatura baja por debajo del punto de condensación. Cuando tanto la superficie del raíl como la de la rueda están limpias y secas, el coeficiente de fricción entre ambas puede alcanzar valores de 0.6 pero se ha demostrado que cantidades muy pequeñas de contaminantes pueden llegar a reducir este valor en un factor de 5 o 6 [144].

Pero no son solamente líquidos los contaminantes que aparecen en el raíl: el viento arrastra polvo y tierra que se deposita sobre las vías, parte de la carga transportada por el tren puede caer de los vagones, en otoño las hojas de los árboles caducos cubren el suelo, etc. Cada uno de estos contaminantes se interpone entre la rueda y el raíl y cambia las características del contacto. Estudiarlos todos no es posible, pero si se han llevado a cabo estudios sobre los más corrientes: agua, aceite, hojas y arena y se conoce que no solamente reducen el coeficiente de tracción, sino que alteran la forma de la curva de adherencia retrasando su estabilización [145].

Evidentemente, existen muy diversos métodos que se han probado para eliminar los contaminantes de una vía férrea y aumentar la adherencia en las zonas donde se precisa. Dejando a un lado los basados en el control de los motores, cabe destacar el más antiguo de todos: los chorros de arena [146]. Consiste en un chorro de arena, en seco o en una suspensión acuosa que es dirigido contra la banda de rodadura del raíl delante de las ruedas. Su principal efecto es ejercer un efecto de unión mecánica entre las superficies en contacto. El problema radica en que la arena es un material duro que va a

contribuir al desgaste por rayado tanto de la rueda como del raíl [147][148], pudiendo aumentar el desgaste en un factor de 10 o 100 [149], en la posibilidad de que la arena húmeda quede retenida en el depósito y en el efecto de aislante eléctrico que tiene entre las ruedas y el raíl [150].

También se puede emplear una antorcha de plasma, o incluso aire caliente [149], para quemar los contaminantes presentes en los raíles antes de que el calor afecte al acero de los raíles, lo que requiere una gran cantidad de energía y su efecto es más lento que el de la arena, o recurrir al uso de disolventes químicos. Algunos han dado buenos resultados [127]. No obstante, su efecto depende del tiempo y su uso queda restringido a tramos de raíl donde se puedan colocar aplicadores.

También existe la posibilidad de usar zapatas no como sistema de frenada, sino de limpieza [172] y/o mejora de la adherencia [144]. En este caso no solamente pueden aplicarse a las ruedas. La norma UIC 541-06 regula en Europa el uso de los frenos electromagnéticos de vía. Es posible que se puedan usar esos frenos cuando se detecte una baja adherencia con el fin de limpiar la cabeza del raíl. No obstante [38], todavía debe asegurarse su efectividad como método de limpieza (ya sea por medios mecánicos o térmicos), estudiar la posibilidad de que parte del material de la zapata quede adherido y evaluar el posible daño que puedan sufrir los raíles. También se ha reportado que el uso de zapatas de fundición puede mejorar la adherencia no sólo por la eliminación de fluidos adheridos a la superficie de la rueda, sino por la deposición sobre esa superficie de partículas procedentes de la zapata [144].

2.5.1.1.- ACEITES

El aceite y la grasa procedentes de la lubricación no sólo reducen el coeficiente de fricción, si no que cambia el mecanismo de desgaste. En ensayos de laboratorio [64] se ha encontrado que la velocidad de desgaste puede reducirse entre 200 y 1000 veces. En servicio se espera que esta reducción sea sensiblemente inferior, aceptándose como normal una velocidad de desgaste 10 veces menor que en seco para el desgaste ligero.

El origen de los aceites detectados en los railes hay que buscarlo en el que cae desde el vehículo (a veces fuel-oil), en las estaciones o durante su

circulación, pero es preciso recalcar que también puede usarse como medio para reducir la fricción a los niveles deseados, sobre todo en el raíl externo de las curvas con el fin de reducir el ruido y el desgaste [38]. Los lubricadores para raíles pueden causar un importante problema si están mal ajustados y más grasa de la necesaria alcanza la cabeza del raíl.

Aunque no hayan habido derrames recientes, siempre hay aceite presente. Las ruedas pueden transportarlo largas distancias e incluso puede aparecer de condensaciones procedentes del aceite acumulado en los balastos. Collins y Pritchard [144] señalaron como una plancha de acero limpia colocada al lado de la vía durante una semana acabó con una apreciable cobertura de aceite. Otro hecho que confirma la presencia continua de aceite es que cuando llueve de forma continua durante algunos días y el raíl comienza a oxidarse, la banda de rodadura en lo alto del raíl se mantiene brillante durante bastante más tiempo que el resto de la superficie debido a la presencia de una fina capa de aceite firmemente unida al acero.

Se ha estimado que la cantidad de aceite recogido en la banda de rodadura oscila entre 0.1 y 0.5 g/km, con un espesor de 5 a 25 nm [144]. Aunque estos cálculos carecen de una precisión adecuada, sirven para evidenciar el bajo orden de magnitud del espesor de la capa necesario para producir una lubricación de tipo límite que impide el contacto metal-metal y tiene escasa resistencia a las fuerzas de cortadura.

Collins y Pritchard [144] emplearon en Inglaterra una máquina con bandas absorbentes para recoger muestras de aceite de los raíles. El posterior análisis de estos aceites mostró que tenían una viscosidad superior a la esperada y que también eran más activos superficialmente de lo normal, por lo que era de esperar que formasen capas muy unidas a la superficie del raíl. Entre el 20 y el 70% del volumen de las muestras era superficialmente activo, cuando, por ejemplo, el aceite usado en los cigueñales sólo tiene un 5% de estos componentes. Una explicación para esta mayor actividad superficial encontrada puede estar en que la exposición al sol y al aire que sufren los aceites y las fuertes tensiones tangenciales a que se ven sometidos bajo las ruedas acaban por acelerar y catalizar ciertas reacciones químicas de oxidación que mejoran su reactividad. Esto tiene otra consecuencia, y es que las características iniciales del aceite vertido no son de gran importancia, ya que, con tiempo, todos acaban alcanzando un estado

oxidativo similar.

Collins [144], que usó aceite recuperado de una vía férrea, indica como la adherencia va disminuyendo a medida que aumenta la cantidad de aceite presente en la vía hasta que se alcanza un espesor de 50 nm ($5 \cdot 10^{-6}$ g/cm²), momento en que el coeficiente de fricción permanece constante con un valor de 0.16. Estos experimentos se llevaron a cabo en condiciones secas y húmedas y se comprobó que cuando hay poco aceite el coeficiente de fricción es menor con humedad alta. Otros ensayos realizados por el mismo autor mostraron como una capa de $1.5 \cdot 10^{-6}$ g/cm² de aceite puede reducir el coeficiente de fricción de 0.4 a 0.25, comprobado mediante vigilancia en una vía férrea, donde la adherencia cayó de 0.47 a 0.22 tras detectarse aceite en la superficie del raíl.

Se ha visto, tanto en campo como en laboratorio, que las partículas aplastadas por las ruedas acaban consolidadas en la forma de pequeñas partículas planas de color negro, las cuales pueden ser expulsadas del raíl cuando pasa una rueda. Estas partículas contienen cierta cantidad de aceite adsorbido que acaba también expulsado del raíl. Por ejemplo, el paso de un tren de 50 ejes puede mejorar la adherencia desde 0.1 a 0.23 [144].

Lewis [148] ha realizado ensayos con aceite como contaminante. Los resultados obtenidos por este autor indica que, al avanzar el ensayo, el coeficiente de adherencia se mantiene más alto al aumentar el deslizamiento, como puede verse en la figura 42. Sin embargo, el valor máximo de adherencia parece permanecer invariable. Unos valores similares de adherencia, menores de 0.1, han sido reportados por otros autores [152]

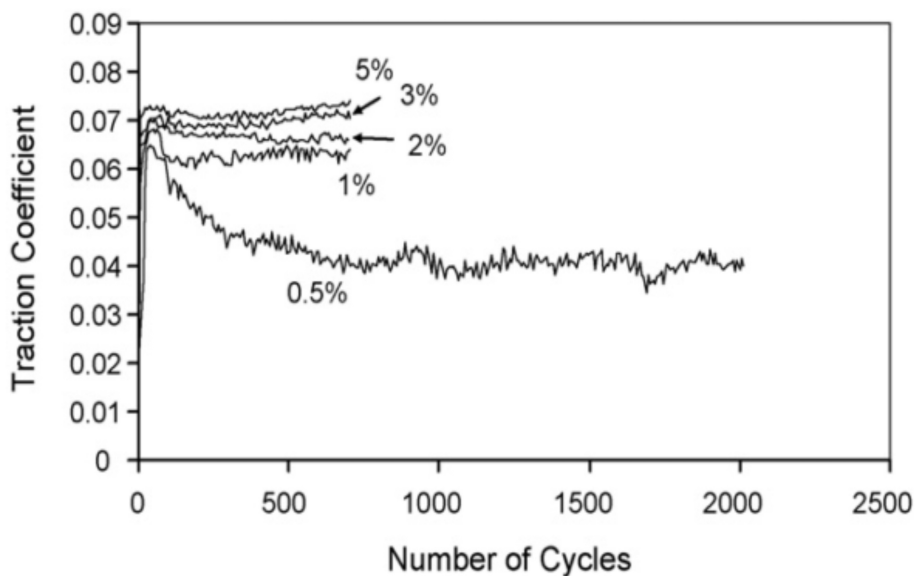


Figura 42: Variación de la adherencia con el número de ciclos para ensayos con aceite y distintos deslizamientos [148].

Este mismo autor [153] indica que en las mezclas de agua con aceite es el efecto del aceite el que predomina, incluso con proporciones de agua del 80%.

2.5.1.2.- AGUA

El agua procedente de la atmósfera siempre está presente en la superficie de los raíles y su influencia en la adherencia es, a veces, considerada superior a la del aceite [24]. Más aún, una característica del agua es que no es preciso que sea visible para reducir la adherencia, ya que esta reducción aparece también cuando la humedad es alta debido a que las partículas de agua procedentes de la humedad atmosférica son adsorbidas en todas las superficies. A medida que aumenta la humedad, lo hace también la cantidad de agua adsorbida hasta que, cuando la temperatura superficial se acerca al punto de rocío, comienzan a aparecer pequeñas gotas de agua en las superficies rugosas o cubiertas de residuos, ya que el agua condensa con mayor facilidad en aristas vivas y alrededor de partículas angulosas. En ese momento el efecto lubricante del agua hace que la adhesión pueda caer

fácilmente de 0.26 a 0.20 [144]. Un hecho curioso es que la máxima caída de adherencia aparece cuando se forman las primeras gotas de agua, antes que cuando el raíl esta totalmente mojado. No se conoce una explicación razonable a este fenómeno, pero se ha comprobado tanto aumentando progresivamente la humedad como en sentido inverso: secándolo poco a poco. Además, es algo conocido desde hace muchos años entre la gente del sector ferroviario que una espesa niebla matutina lleva a valores de adherencia inferiores a los que produce una lluvia continua, la cual suele generar adherencias aceptables [154].

Las mediciones llevadas a cabo por Collins y Pritchard [144] en campo durante un periodo de 48 horas mostraron como la adhesión caía de 0.41 a 0.26 cuando la lluvia mojaba los raíles. En otra ocasión, el agua que caía de un vehículo de desbrozado redujo la adhesión de 0.32 a 0.20. El valor medio de la adhesión con los raíles secos fue de 0.30 y en los mojados de 0.22. Estos mismos autores indican que en unas pocas ocasiones la presencia de agua aumentó la adhesión. Watkins [155] también realizó medidas de adherencia en campo, registrando caídas desde 0.4-0.45 a 0.15-0.22 en la adherencia.

Los ensayos realizados por Nakahara [156][52] también muestran como la presencia de agua disminuye la adherencia, independientemente del resto de parámetros, como la presión (figura 43), aunque se aprecia como la influencia del agua parece aumentar con la velocidad de rodadura, hecho confirmado por Ohyama [157] a altas velocidades, y que el valor máximo alcanzado por el coeficiente de tracción en la curva de deslizamiento no parece verse afectado por la presión de contacto.

Este mismo autor ha encontrado un extraño comportamiento de la curva de adherencia para valores superiores o iguales al 2%, con la aparición de dos picos en la curva. La figura 44-a muestra las distintas evoluciones de la curva de adherencia encontradas por el autor.

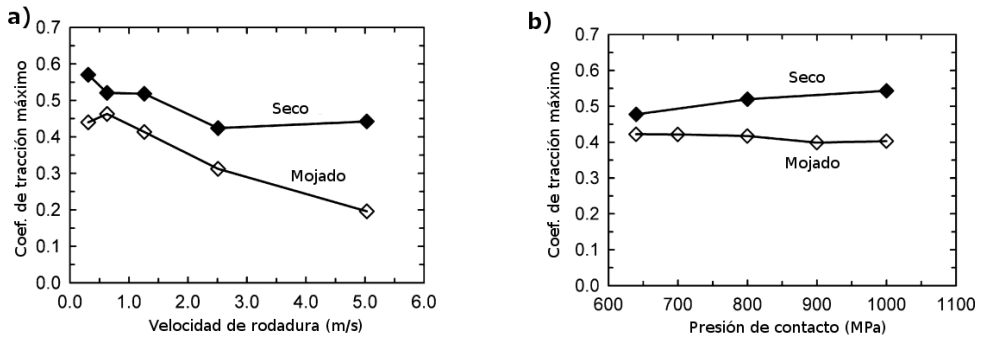


Figura 43: Efecto de la presencia de agua sobre el valor máximo de la adherencia en condiciones de velocidad (a) y presión (b) variables [52]

Para deslizamiento por debajo del 0.5%, la curva se mantiene estable tras alcanzar la saturación. Entre el 0.5% y el 1%, aparece un descenso de la adherencia al superarse el valor máximo, cosa que deja de suceder de nuevo entre el 1 y el 2%. Por encima del 2% es cuando aparece un pico inicial que le da a la curva una forma escalonada. No obstante, esta circunstancia no ha sido corroborada por otros autores, por lo que podría deberse a factores no controlados del ensayo o a la propia variabilidad de los mismos. Polach [35], por otra parte, (figura 44-b) remarca más que nada la suave transición que hay a la fase estable al ir aumentando el deslizamiento en comparación con el paso por un pico que presentan los ensayos en seco.

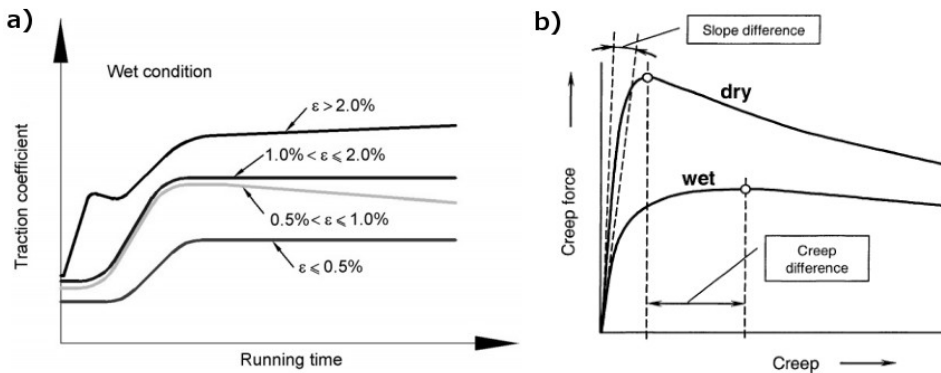


Figura 44: Tipos de curvas de adherencia en ensayos con agua. Evolución temporal (a) [52] y en función del deslizamiento (b) [48]

Por otra parte, y aparentemente en contra de lo visto hasta ahora, una

cantidad grande de agua, durante días lluviosos, contribuye a aumentar la adherencia al limpiar el carril de contaminación, incluyendo aceites recientemente vertidos, y reblandeciendo incluso las hojas que puedan haber sido compactadas por el paso de los vehículos, lo que facilita su eliminación [38].

En el capítulo 2.4.3.3 se ha comentado la influencia del agua sobre el crecimiento de grietas y, por ende, en la velocidad de desgaste. No obstante, Nilsson [158] presenta una serie de datos en los que se aprecia como el efecto lubricante que ejerce la lluvia sobre los raíles hace que el desgaste disminuya notablemente al aumentar la cantidad de lluvia que cae sobre los raíles. Esto indica que no siempre el agua va a llevar a un desgaste acelerado y que en ocasiones prima el efecto protector sobre las superficies debido, seguramente, a la ausencia de grietas previas o a que su tamaño o morfología no permite que el agua penetre en ellas para acelerar su crecimiento

Un último factor a considerar es la temperatura del agua, que parece ser capaz de provocar una bajada adicional del coeficiente de tracción cuando desciende desde 50 a 5°C, como muestra la figura 45, en la que se ve como el coeficiente de tracción puede descender notablemente ante cambios importantes de temperatura.

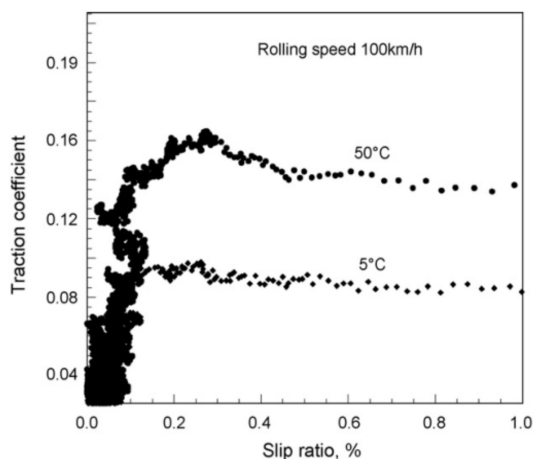


Figura 45.- Influencia de la temperatura del agua sobre el coeficiente de tracción [246].

2.5.1.3.- RESIDUOS SÓLIDOS DE DESGASTE

Otro elemento que compone la contaminación presente en los raíles es una fina mezcla de partículas sólidas aplastadas, compuestas en su mayor parte por hierro y óxidos de hierro. Otro tipo de partículas como las procedentes de las zapatas o los discos de freno aparecen solamente en cantidades despreciables, de forma que la mayor parte de esta materia sólida proviene de los mecanismos de desgaste tribológicos que afectan tanto a las ruedas como a los raíles.

Estas partículas tienen un tamaño muy pequeño (se han encontrado hasta de $2 \cdot 10^{-4}$ cm de diámetro) y proporcionan una gran cantidad de área de adsorción para los contaminantes líquidos, especialmente el aceite. Diversas medidas de adsorción encontraron que un gramo de estos residuos puede presentar una superficie de hasta 40 m^2 , con una relación peso/área que oscila entre $2 \cdot 10^{-5}$ y $40 \cdot 10^{-5} \text{ g/cm}^2$. En un raíl que consideremos muy limpio hay 8 cm^2 de área de partículas sólidas por cada cm^2 de raíl. De aquí puede extraerse la conclusión de que, en este caso, solamente una novena parte del aceite procedente de un vertido puede ser adsorbido por la propia superficie del raíl, el resto quedará adherido a las partículas y será eliminado del contacto con mayor facilidad. En un raíl sucio esta proporción se acerca más al 0.5%.

Desde este punto de vista, la presencia de estas partículas contribuyen, consecuentemente, a mantener unas condiciones de adherencia adecuadas o, por lo menos, superiores a las que se obtendrían si el aceite manchase un raíl totalmente limpio. Experimentos realizados en laboratorio han confirmado estos hechos con partículas de pequeño tamaño y hasta que quedan saturadas de aceite [144].

2.5.1.4.- OTROS CONTAMINANTES

Los contaminantes descritos en anteriores apartados son los que se encontrarán en cualquier vía férrea, otros son específicos de la zona por donde discurre la vía. Por ejemplo, se ha sugerido que el polvo procedente de cementeras, las partículas de carbón procedentes de centrales térmicas o, incluso, la contaminación atmosférica [159] son causa de una baja adherencia. No obstante, este tipo de contaminación suele estar muy

localizada en los puntos de carga, donde las pendientes son suaves y es frecuente encontrar además el mismo tipo de contaminación que en la línea principal.

Quizás el peor tipo de contaminante que puede aparecer en una vía férrea es la presencia de hojas durante la estación otoñal. Aunque esta circunstancia se da solamente durante unas dos semanas al año, durante ese tiempo aumenta la aparición de planos en las ruedas y es frecuente medir valores de adhesión que llegan a 0.1, e incluso 0.05 si las hojas están mojadas [155][160].

Si algunas de ellas son atrapadas bajo las ruedas en poco tiempo los raíles se ven cubiertos de una capa negruzca de pulpa firmemente compactada que puede llegar a tapar completamente la banda de rodadura, llegando a causar fallo en la detección del raíl debido a su comportamiento como aislante eléctrico [150]. Pero no solamente en estos casos disminuye la adherencia, la presencia de sustancias orgánicas procedentes del aplastamiento de las hojas llega a formar una capa lubricante que también reduce la adherencia, incluso cuando las hojas han sido eliminadas de los raíles, encontrándose valores de adherencia de 0.15 con el raíl seco y de 0.07 cuando esta mojado.

2.5.2.- EL “TERCER CUERPO”

Uno de los fenómenos que nunca se puede dejar a un lado en el estudio de los sistemas tribológicos es la posible aparición, en la superficie de contacto, de una capa de material cuyas propiedades son distintas a las de los cuerpos rozantes y que, por su mera presencia, altera el comportamiento del conjunto. La presencia de estas capas en vía ha sido confirmada por varios estudios, tanto en líneas de ferrocarril como de tranvía [107]. No obstante, cuantificar su influencia no es sencillo. Por una parte debido a que los valores de muchos ensayos ya incluyen, en el valor medido de adherencia, la presencia de esta capa, y por otra parte, debido a que es difícil conocer su composición o sus propiedades.

De acuerdo con los estudios de Cassard [161], en el sistema rueda-carril, estaría compuesta por una mezcla de partículas de desgaste no oxidadas procedentes tanto de la rueda como del carril y de otros

contaminantes, entre los que se incluyen partículas procedentes de la atmósfera, materiales procedentes de la operación normal del ferrocarril (arena, aceites lubricantes, partículas de los frenos [84],...) e, incluso, materiales transportados (cereales,...) [162]. Esta capa presenta, además, una alta porosidad.

Dejando a un lado los contaminantes externos, el tercer cuerpo es en ocasiones descrito como una lengua de material (véase la figura 46) en la que la proporción de sus constituyentes es diferente de la de los cuerpos en contacto, lo que presupone que es una mezcla de los materiales de ambos [107].

El corte longitudinal (en la dirección de rodadura) de la rueda de locomotora de la figura 46 presenta las siguientes capas:

- Material base original.
- Una capa de unas 350 micras de material base deformado.
- Una capa superficial tribológicamente transformada (CTT), con unas 50 micras de espesor medio.
- Varias capas de “tercer cuerpo” con un espesor total entre 150 y 200 micras. Aquí es preciso apuntar que aunque esa rueda presentaba un gran espesor de “tercer cuerpo” por el tipo de pruebas a que fue sometida, lo normal es que el espesor sea mucho menor.

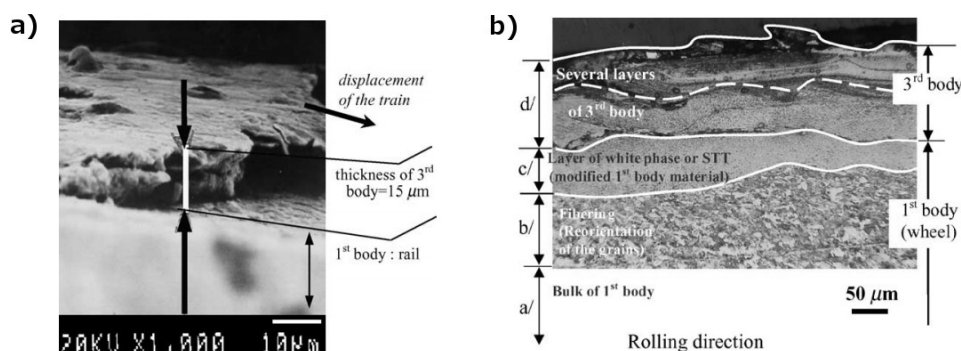


Figura 46: Imágenes en perspectiva (a) y corte transversal (b) de la superficie de una rueda con presencia del "tercer cuerpo" [240]

La formación de estas capas depende fuertemente de las condiciones

atmosféricas y de contacto, de forma que parte de estas capas puede adherirse fuertemente a uno de los cuerpos en contacto o ser expulsada, por lo que el “tercer cuerpo” no tiene porque ser una capa uniforme y continúa que recubra toda la superficie. Quizás sea por eso que la CTT pueda, a veces, ser vista directamente sobre la superficie de rodadura en forma de tiras brillantes (figura 47) y ser confundida con la “tercera capa”.

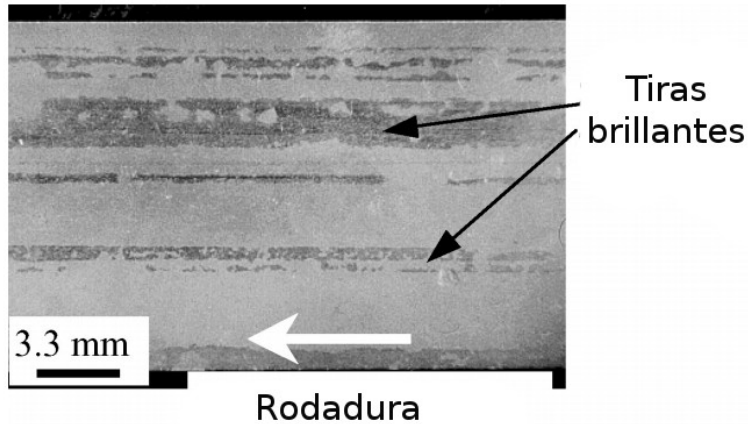


Figura 47: "Tiras brillantes" pertenecientes a la CTT en la superficie de rodadura [107]

Esta capa está sometida a fuertes deformaciones y a mezcla mecánica, e incluso atómica por difusión [107], con cualquier elemento que caiga dentro del área de contacto, ya sean sólidos (reduciendo el riesgo de aparición de grietas por indentación) o líquidos (fáciles de absorber por la porosidad de la capa), por lo que su influencia específica no es fácil de prever.

El flujo tangencial puede observarse fácilmente gracias a la aparición de frentes de avance sobre la superficie, como se aprecia en la figura 48. Pese a la apariencia de grietas que tienen estos frentes, en un principio se trata de material que ha fluido hasta crear una fina capa, todavía unida al material base en un extremo, pero que terminará siendo arrancada por las mismas fuerzas que la crearon. Evidentemente, la unión de estas lenguas con el material base es una zona propicia para la aparición de verdaderas grietas si se dan las condiciones adecuadas, por lo que lo más fácil es encontrarlos asociados.

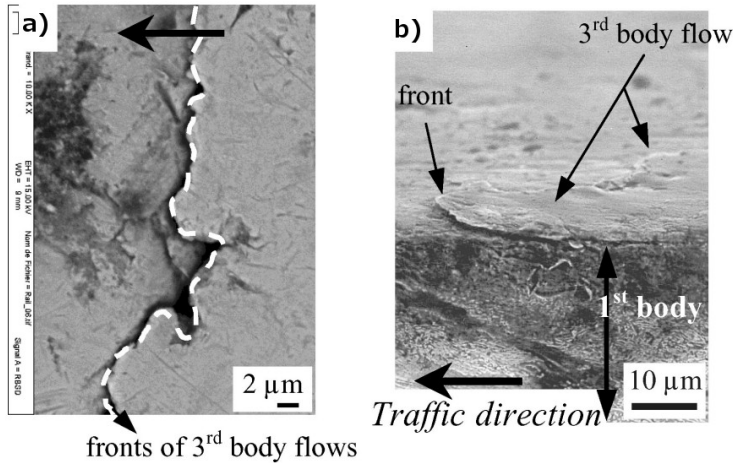


Figura 48: Flujo del "tercer cuerpo". Vista SEM perpendicular a la superficie (a) y en perspectiva (b) [107]

La forma en que esta capa de material contribuye a la adherencia ha sido estudiada mediante ensayos de laboratorio a escala [163]. La formación de esta capa parece estar muy relacionada con el valor del deslizamiento, aunque el tiempo también podría ser una variable a considerar. Para deslizamientos no muy altos se forma una capa llamada "pantalla" [163] de color amarillo que tendría que ver con cierto grado de oxidación de las asperezas superficiales. Al aumentar el deslizamiento, comienzan a aparecer diminutas partículas de desgaste que se mezclan con el óxido, y son a su vez superficialmente oxidadas. Poco a poco va aumentando el volumen de partículas hasta que, finalmente, comienzan a aparecer partículas de mayor tamaño ($\sim 200 \mu\text{m}^2$) para dar origen a lo que es realmente el "tercer cuerpo". No obstante, este proceso y su posterior evolución depende tanto de la presión, la velocidad y el deslizamiento como de las condiciones atmosféricas o los contaminantes presentes. El punto en el que comienza la transición a la formación de esta tercera capa, en relación al deslizamiento, se encuentra antes de que se alcance el valor máximo de adherencia, según puede verse en la figura 49

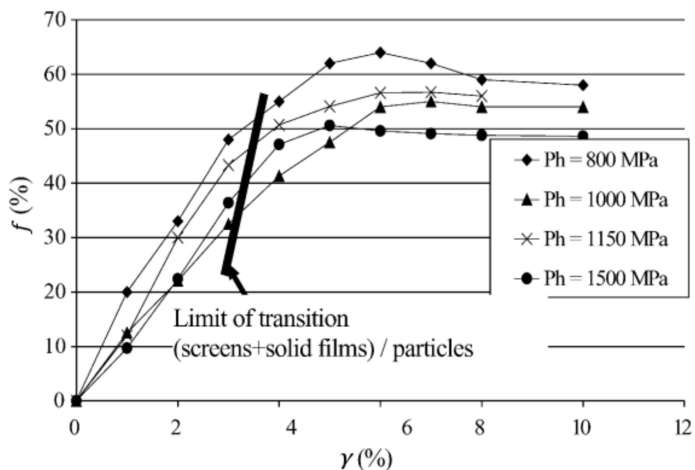


Figura 49: Curvas de adherencia en función del deslizamiento y límite para la aparición del "tercer cuerpo" [163].

2.5.3.- INFLUENCIA DE LA PRESIÓN

Además de que aumente el desgaste [164], la mayor parte de los autores coinciden en que la presión influye notablemente sobre el valor del coeficiente de adherencia pero, por desgracia, muchos autores [164][163][165][60] coinciden en que la adherencia baja cuando la presión aumenta (figura 50), lo que implica que los vehículos más cargados son los que más dificultades tendrán para mantener la velocidad.

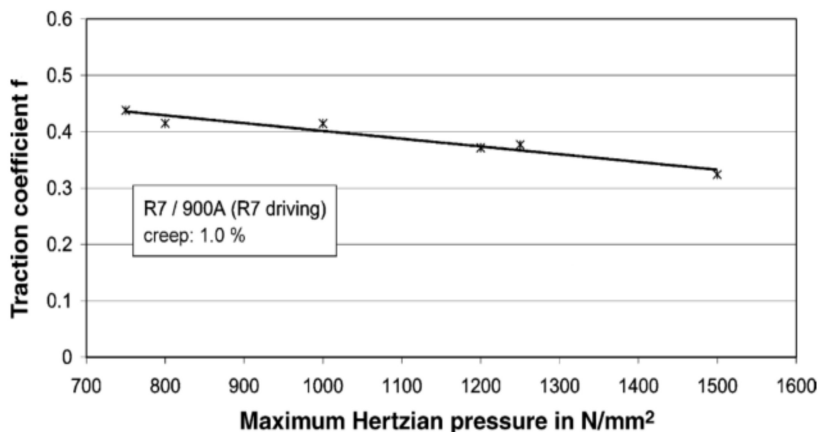


Figura 50.- Variación del coeficiente de tracción en una serie de ensayos en seco[164]

Aún así, hay autores que han descrito un incremento de la adherencia al aumentar la carga normal, como en alguno de los estudios llevados a cabo por Nakahara [156], Chen [152] o Wang [152], éste último para ensayos con aceite.

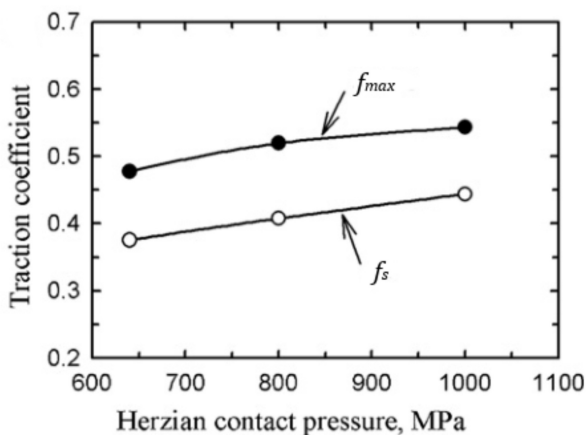


Figura 51.-Variación del coeficiente de tracción con la presión [52].

La figura 52 muestra como varía el coeficiente de tracción con la distancia deslizada en ensayos realizados con agua para distintas presiones por Nakahara [52]. Aunque el valor máximo del coeficiente de adherencia no parece verse influido por la presión de contacto, al menos de forma apreciable, si parece existir un adelanto temporal del momento en el que se alcanza ese valor, posiblemente debido a la mayor severidad de los fenómenos tribológicos que tienen lugar en el contacto y que aceleran las transformaciones superficiales de los materiales en contacto, ya sean la eliminación de contaminantes, el aplastamiento de rugosidades o la aparición de partículas oxidadas.

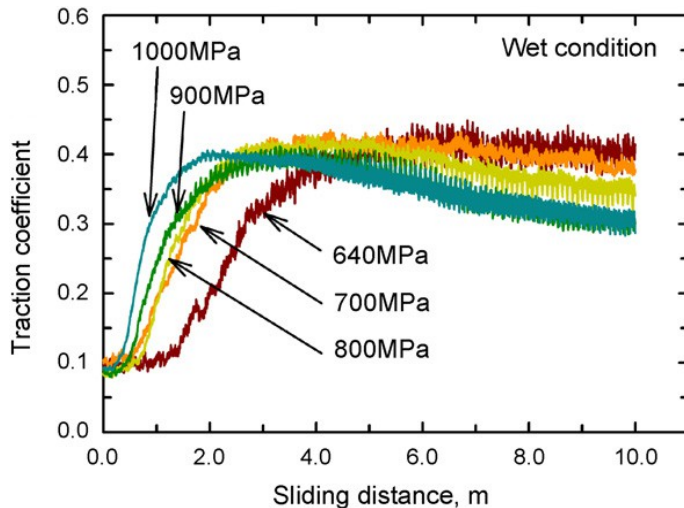


Figura 52: Influencia de la presión sobre la adherencia en unos ensayos hechos con agua en el contacto [52].

Esto también sería la causa del mayor tiempo que debe transcurrir desde que comienza el ensayo hasta que comienza a aumentar la adherencia, tal y como se explica en el apartado 2.2.3.

Un último fenómeno que se asocia con un aumento de la presión es el aumento de la pendiente con la que baja el coeficiente de adherencia una vez se ha superado su valor pico en la curva de adherencia. La razón de este fenómeno podría estar relacionada con los siguientes factores:

- Aumento del área de contacto por deformación plástica y desgaste.
- Endurecimiento superficial, que disminuye la afinidad cristalina entre los aceros en contacto, y por lo tanto la adherencia.
- Aparición de una capa de partículas de desgaste que separa las superficies.
- Aumento de temperatura en la banda de rodadura, lo que lleva a una disminución de la resistencia mecánica del material.

Respecto a la formación de grietas (y, por tanto, también al desgaste), Clayton [166] expone que el número de ciclos hasta que aparece la fatiga es inversamente proporcional a $(P_{N_{\text{máx}}})^{C_c}$, donde el coeficiente C_c

oscila alrededor de 1, siendo mayor cuanto más lubricado está el contacto. Este mismo autor propone no usar $P_{\text{máx}}$ directamente, sino su valor normalizado respecto al límite elástico del material, lo que permite comparar distintos materiales de forma mucho más precisa, como muestra la siguiente figura:

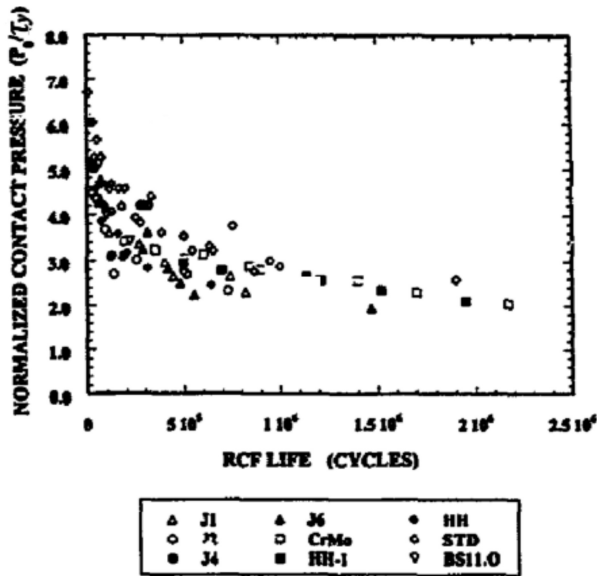


Figura 53.- Curva de fatiga para un material ferroviario usando como dato de entrada la presión normal normalizada respecto al límite elástico [166].

También refiriéndose al agrietamiento, Beynon [67] indica que presiones máximas de 1800 MPa, que llevan a una deformación en superficie profunda, tienden a generar grietas largas y aisladas, mientras que presiones menores crean una tupida red de grietas de menor tamaño. Este mismo autor indica que, de varios aceros al carbono ensayados, los más resistentes a la fatiga fueron los más endurecidos.

2.5.4.- INFLUENCIA DE LA VELOCIDAD

La influencia de la velocidad sobre la adherencia es uno de los principales parámetros a tener en cuenta en las distintas redes ferroviarias, tanto que llega a ser considerado el único valor que controla la adherencia y el principal parámetro de diseño. Como ejemplo, la UIC (figura 54) y otros organismos han elaborado una serie de gráficas en las que basar el cálculo

de la adhesión y en China [165] se usan unas curvas definidas por la siguiente ecuación:

$$f = c_0 + \frac{c_1}{c_2 + c_3 \cdot V} \quad (38)$$

Ajustándose los coeficientes c_i para cada caso particular.

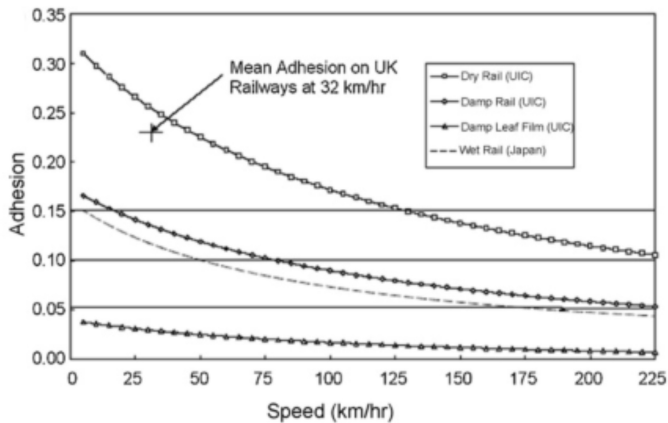


Figura 54: Influencia de la velocidad en la adherencia junto con una medida real [223].

Los resultados publicados a partir de ensayos a escala de laboratorio muestran lo mismo. De acuerdo con Nakahara [52][156], la velocidad a la que se desplaza el vehículo ferroviario tiene una notable influencia sobre el valor de la adherencia sobre todo en presencia de lluvia, llegándose a reducir hasta la mitad este parámetro para altas velocidades. En la figura 55 puede verse este efecto debido a la lubricación hidrodinámica del agua [167].

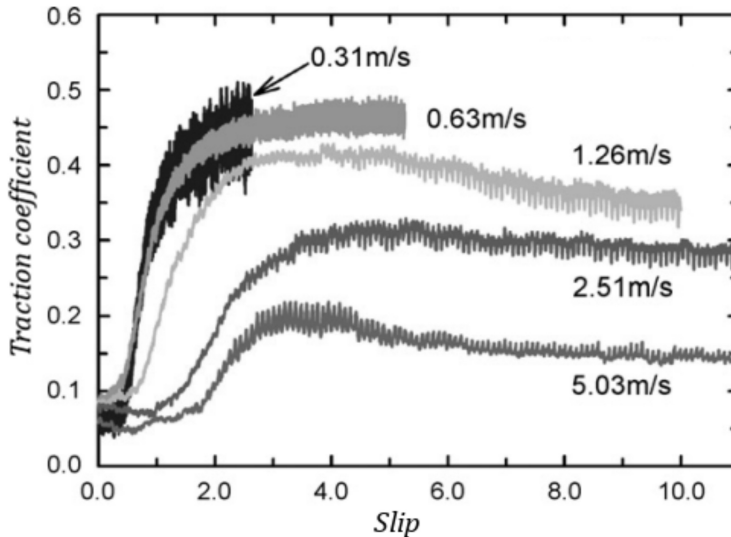


Figura 55: Variación del coeficiente de adherencia con la velocidad para ensayos con agua [52].

A velocidades más realistas y mediante ensayos a escala real y, por lo tanto, más creíbles, Zhang [165] ha realizado ensayos en seco, con aceite y con agua. Aunque en todos los caso el resultado ha sido que la adherencia disminuye con la velocidad, sólo en el caso del agua esta reducción es significativa. Este efecto se aprecia en las figuras 56 y 57 para ensayos realizados con agua y aceite.

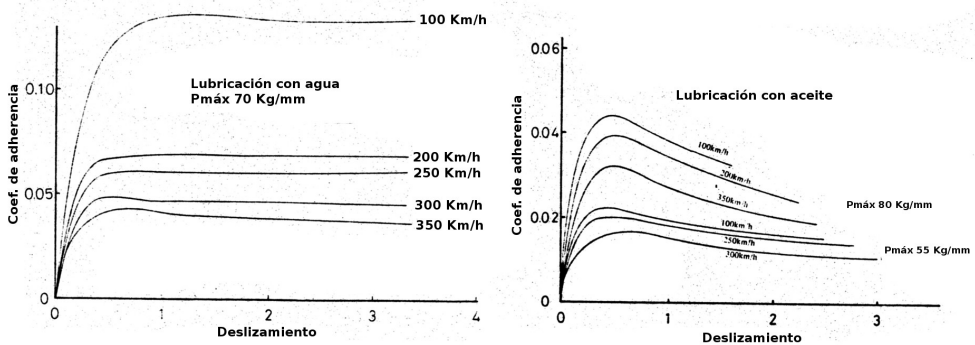


Figura 56: Influencia de la velocidad en ensayos realizados con contaminantes líquidos [151].

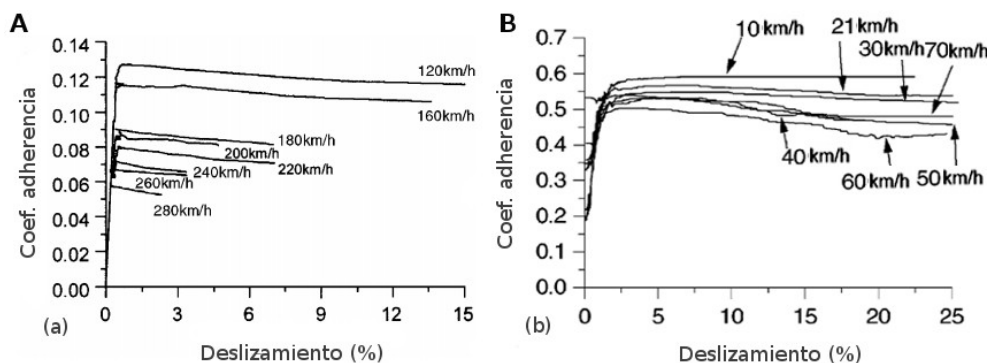


Figura 57: Influencia de la velocidad (en Km/h) en las curvas de adherencia para ensayos con agua (a) y en seco (b) [165]

Otros autores encontraron un aumento de la adherencia en presencia de aceite al aumentar la velocidad [168], quizá debido a que se facilita su expulsión del área de contacto. Junto con ésta, la otra circunstancia en la que un aumento de la velocidad aumenta la adherencia parece ser a muy bajas velocidades. Así lo muestran los ensayos realizados por Brethier en seco [163], los cuales indican que un aumento de la velocidad hace aumentar la adherencia, por lo menos para velocidades desde 0.003 m/s a 0.06 m/s, pasándose de un coeficiente de adherencia máximo de 0.45 a otro de 0.55, aunque parece dejar de aumentar a 0.045 m/s.

Otro de los efectos que puede tener la velocidad es un aumento de la temperatura en el contacto que podría ser, en última instancia, el responsable de la caída de adherencia una vez se supera el valor máximo en la curva adherencia-deslizamiento [48][150][151].

En resumen, aunque está claro que la velocidad es uno de los parámetros más influyentes en la rodadura, el conocimiento que se tiene sobre esta influencia es mucho mayor que en el caso de otros parámetros, existiendo, como ya se ha comentado, incluso ecuaciones que cuantifican esa influencia para condiciones de servicio normales.

2.5.5.- DUREZA

Al hablar del desgaste ya se ha comentado como una de las formas de evaluar la resistencia a este fenómeno es a partir de la dureza, que sigue

siendo el parámetro más usado a la hora de describir las características de un material frente al desgaste, aunque también la resistencia a la aparición de corrugación o el desconchado puede mejorar con un aumento de dureza [25]. Posiblemente esto se puede relacionar con el hecho de que si se considera el límite de fatiga de aquellas grietas que pueden dar lugar a una fractura catastrófica, éste es proporcional a la dureza del material [125].

Pese a todo, Clayton [24] [11] indica que, incluso para aceros perlíticos, la desviación estadística que aparece en los resultados es excesiva y que introducir los datos obtenidos con aceros bainíticos, más duros, no hace más que aumentar la dispersión, como puede verse en la figura 58. No obstante, sí que es posible encuadrar el comportamiento de ambos tipos de aceros dentro de unos determinados márgenes, de forma que los aceros bainíticos serían mejores para bajas durezas y los perlíticos para altas.

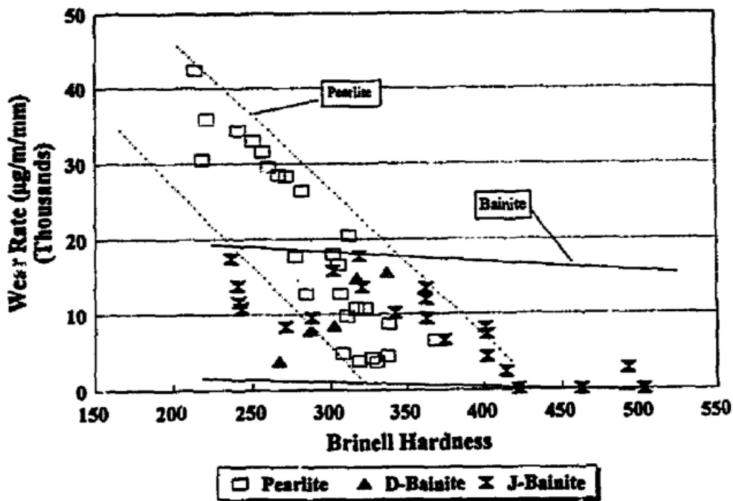


Figura 58.- Relación entre la dureza del raíl y su velocidad de desgaste [11]

Los ensayos de disco gemelo realizados por Markov [159] muestran resultados un tanto confusos. En los ensayos que realizó con deslizamiento constante encontró que si se aumenta la dureza de la rueda en 50 HV, su velocidad de desgaste disminuye y aumenta la del raíl, ambos en un factor de 3, manteniéndose el total invariable, mientras que si se aumenta esa dureza hasta 850 HV el desgaste cae hasta un 10% del original en la rueda y el del raíl permanece casi invariable.

Este mismo autor, a partir de ensayos en los que mantiene constante la fuerza de fricción y no el deslizamiento, concluyó que el desgaste de un disco es proporcional a la dureza de su contraparte y que se relaciona inversamente con la suya propia. Por otra parte, también indica que el desgaste total no depende de la dureza de ninguno de los discos, al menos de forma directa.

La conclusión más general es que el desgaste depende tanto de la dureza del raíl como de la de la rueda y que el elemento más blando soportará más desgaste [114]. No obstante, otros autores [171][172][29], por su parte, llegan a la conclusión de que, en ensayos de laboratorio, un aumento de la dureza de uno de los discos lleva a la disminución del desgaste para ambos discos (incluso para más de 400HV) o, por lo menos, no afecta al desgaste del más blando [173].

Un parámetro relacionado con la dureza es el contenido equivalente de carbono (usado en soldadura para evaluar la posibilidad de agrietamiento por aparición de microestructuras duras). Devine [174], al igual que otros autores [175], ha encontrado una relación lineal entre este valor y la velocidad de desgaste, de forma que el desgaste disminuye al aumentar el contenido equivalente de carbono.

2.5.6.- OTRAS VARIABLES

En este apartado se hace referencia a otras variables que influyen en el comportamiento del sistema rodante y en la respuesta de los materiales, pero que normalmente reciben menos atención por parte de la comunidad investigadora.

La microestructura y la composición de los aceros juegan un importantísimo papel en la resistencia al desgaste y la fatiga, no obstante, no está claro como puede mejorarse el comportamiento del par rueda-raíl más de lo que ya se ha hecho a un coste asumible por estos medios. Son muchos los aceros que se han probado a lo largo del tiempo, dando cada uno diversos resultados y sin que exista todavía una solución al dilema que se plantea entre fabricantes cuando discuten si “tu rueda es demasiado dura para mi raíl” o es al revés.

Para poder comparar aceros, se han propuesto varios criterios:

- Un índice de resistencia a la fatiga basado principalmente en el tamaño de la microestructura [176].
- La ductilidad [177]
- El tamaño de los defectos [83]

No hay que olvidar tampoco la influencia de las soldaduras en los raíles y la posibilidad de que aparezcan estructuras duras y frágiles en la zona de afección térmica o la influencia del corrugado de los raíles [178], un fenómeno todavía no bien comprendido y que crea una superficie ondulada en el raíl, alterando la dinámica del vehículo que circula sobre él y la de las cargas transmitidas entre rueda y raíl.

2.5.6.1.- CARACTERÍSTICAS MECÁNICAS DEL MATERIAL

Como en cualquier otro caso de fatiga, el aumento del límite elástico y del límite de fatiga reducirán la susceptibilidad del material frente a las cargas cíclicas inducidas por la rodadura, por ello una solución frente a la fatiga por rodadura es mejorar las propiedades mecánicas tanto de las ruedas como de los raíles.

El uso de aceros de alta calidad con el tratamiento térmico adecuado hace que tanto la vida a fatiga como el desgaste mejoren hasta en un factor de 3 [179].

Las propiedades del material también afectarán al parámetro de daño de Burstow [142]. Para un límite elástico a cortantes de 300 MPa y un área de contacto de 60 mm², por ejemplo, el cortante necesario para causar deformaciones plásticas es de 18 KN. Según Hill y Clayton (33), el mayor daño por fatiga ocurre con $\gamma = 0.3$, por lo que $T \cdot \gamma = 18000 \times 0.3 / 100 = 54$ N. Este valor está cercano a los 65 N, donde el modelo de Burstow predice el máximo daño.

Aplicando estas observaciones a los materiales de las ruedas, se espera que un aumento de su resistencia lleve a factores de carga menores y a una elevación en los límites de $T \cdot \gamma$ en los modelos energéticos.

2.5.6.2.- TAMAÑO DE LOS DEFECTOS

En la práctica, ningún material esta completamente libre de defectos. Existen poros e inclusiones, cuyo efecto dependerá de su tamaño, forma, orientación y profundidad a la que se encuentra, siendo su presencia más dañina a la profundidad correspondiente a las máximas tensiones residuales de tracción.

Basandose en los estudios de Murakami, Ekberg [13], propuso la siguiente fórmula para conocer la influencia del tamaño de los defectos existentes sobre el límite de fatiga:

$$\frac{\sigma_{F,d1}}{\sigma_{F,d2}} = \left(\frac{d_1}{d_2} \right)^{-1/6} \quad (39)$$

donde $\sigma_{F,d1}$ es el límite de fatiga de un material que contiene defectos de tamaño d_1 y $\sigma_{F,d2}$ es el límite de fatiga para un material con defectos de tamaño medio d_2 y sin defectos grandes.

Incluso [13] se han encontrado grietas subsuperficiales de fatiga en ruedas virtualmente libres de defectos. Estas grietas aparecen a 4-5 mm bajo la superficie y suelen propagarse hasta una profundidad de 20 mm, momento en el que se propagan circunferencialmente, adquiriendo longitudes entre 15 y 300 mm, para finalmente volver a la superficie. El aspecto típico de una de estas fracturas es el que se muestra en la figura 59.

Es frecuente encontrar martensita en las paredes de la grieta debido a las elevada disipación energética que aparece debido a la fricción entre las caras durante los ciclos de carga [13].

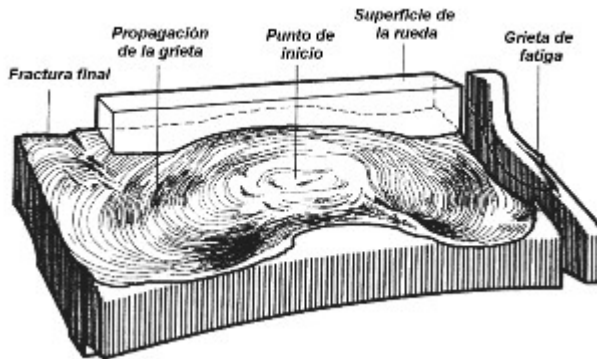


Figura 59.- Esquema de la morfología de una fractura iniciada 4 mm bajo la superficie. La extensión circunferencial es de 300 mm y la máxima profundidad de 14 mm [13].

2.5.6.3.- CARGAS TÉRMICAS

Cuando se tienen en cuenta las cargas térmicas, el modelado del mecanismo de nucleación y crecimiento se complica al tenerse que trabajar con dos contribuciones: la térmica y la mecánica, y más aún si la respuesta del material no es lineal y los efectos de ambas no pueden sumarse directamente. También deben tenerse en cuenta los cambios en las propiedades de los aceros con la temperatura, que los ablanda y facilita la deformación plástica (ratchetting). Aumentos de temperatura normales de unos 200°C pueden disminuir el límite de endurecimiento hasta un 32% y si se llegan a superar los 300°C, se puede bajar ese límite en más del 50% [180] debido, en parte, a la aparición de tensiones debidas a la dilatación del material.

Por suerte el control de las fuerzas de frenado puede evitar en parte la gran carga térmica que esta acción implica y reducir el riesgo de aparición de grietas [13].

2.5.6.4.- CAMBIOS DE DIRECCIÓN

La mayoría de los modelos estudiados y los ensayos de laboratorio referenciados asumen que la carga que actúa sobre la rueda es siempre unidireccional. No obstante, además de que en muchas vías no es así, puede aducirse que la dirección de la carga tangencial sobre la rueda cambia

durante las fases de aceleración y frenado y también cuando el vehículo entra en una curva.

Benson [181] encontró que un cambio en la dirección cada 10.000 ciclos incrementaba la velocidad de desgaste en un 300% si el contacto estaba lubricado con agua. Por el contrario, el efecto de los cambios de dirección cuando el contacto no estaba lubricado fue insignificante, en contraposición con los resultados encontrados por Tyfour. Este autor [182][183] observó que los cambios de dirección incrementaban la vida, encontrándose un máximo para la vida cuando el factor de reversión (número de ciclos entre cambios/ número de ciclos hasta el fallo) estaba alrededor de 1/3. El factor de reversión más pequeño que se estudió (1 cambio cada 2.000 ciclos sobre 37.422) produjo un aumento de la vida del 47%.

Es importante hacer notar que la grieta cambiaba de dirección a medida que crecía cuando el factor era pequeño, por lo que se sugirió que el incremento de la vida podría deberse a que se impide la propagación de la grieta en modo II cuando la dirección de la carga es contraria a la de crecimiento de la grieta.

Por su parte Ekberg [87] ha sugerido que cuando el ratchetting queda anulado por los cambios de dirección, los mecanismos dominantes para producir la aparición de una grieta son los de fatiga de bajo ciclo.

En servicio una rueda de ferrocarril puede tener un factor de reversión de $2/40.000 = 0.0005$ (cada 2 Km con una vida de 40.000 Km). Esto es mucho menos que cualquier ensayo llevado a cabo por Tyfour, pero extrapolando resultados, el efecto de los cambios puede aumentar la vida de la rueda en un 20 %. No obstante, en la práctica, cuando el vehículo circula en sentido contrario, los puntos de contacto rueda-raíl cambian, por lo que el beneficio de los cambios de dirección puede reducirse significativamente.

2.5.6.5.- CURVAS Y PICOS DE CARGA

La cantidad de curvas que exista en un recorrido y la curvatura de las mismas controlan (junto con otros factores como la rigidez de las suspensiones) donde se produce el contacto entre la rueda y el raíl y la

magnitud de las fuerzas que aparecen hasta tal punto que es uno de los principales parámetros en la selección de materiales ferroviarios [184]. La figura 60 muestra la probabilidad de aparición de fatiga por rodadura en raíles para las líneas inglesas en función de la curvatura de la línea, aunque no todos los estudios coinciden exactamente con esa distribución [118]. Como puede observarse, es un factor importantísimo por sí solo, tanto que puede reducir fácilmente la vida de un raíl en un 80% [185].

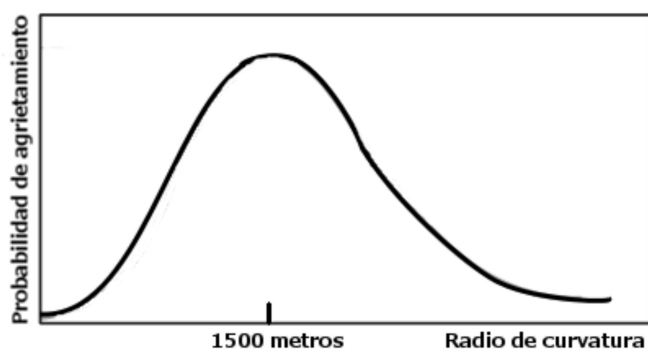


Figura 60: Probabilidad de aparición de fatiga por rodadura en función de la curvatura. Basado en datos de [241].

En la referencia multiaxial fatigue [186] se presenta un modelo que tiene en cuenta la distribución estadística de las cargas soportadas por las ruedas debida a la circulación del vehículo por unos raíles no teóricos sino reales. En este estudio se encontró que solamente una parte de los ciclos de carga -entre unos pocos por cada cien a unos pocos por cada mil- inducirán daño por fatiga. Consecuentemente, solamente las ruedas sometidas a las condiciones más extremas pueden sufrir una fractura por fatiga.

Esto también tiene otras consecuencias, ya que no son la calidad media de la vía, el comportamiento dinámico del vehículo o las características del material las que controlarán la respuesta en fatiga frente a la rodadura, sino la combinación de las mismas que dan lugar a las condiciones de circulación más severas.

2.6.- CAMBIOS EN LAS SUPERFICIES EN CONTACTO

2.6.1.- ASPECTO SUPERFICIAL

Fuertemente relacionado con el desgaste, el aspecto visual de una superficie aporta información inmediata sobre los procesos a que esta ha estado sometida.

Deters [164] (y también otros autores [71]) divide el aspecto superficial en dos zonas: Para deslizamientos menores del 0.25% la superficie se caracteriza por estar cubierta por una capa de óxido rojomarrón y brillante generado por mecanismos tribo-químicos, con muy escaso desgaste. El autor indica que partes de esta capa pueden desprenderse, de forma que nuevo material queda expuesto a la oxidación. Para deslizamientos mayores, la superficie se caracteriza por presentar una importante concentración de grietas y aparición de partículas metálicas de desgaste. El aspecto de ambos tipos de superficie puede verse en la figura 61.

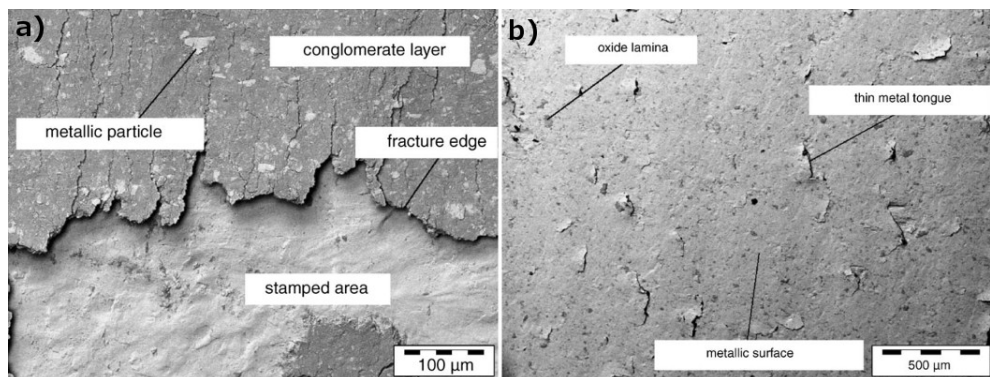


Figura 61.-Aspecto de las superficies para bajos (a) y altos (b) deslizamientos. Fotografías SEM [164].

Otras veces la presencia de grietas es mucho más abundante, como muestra la figura 62.

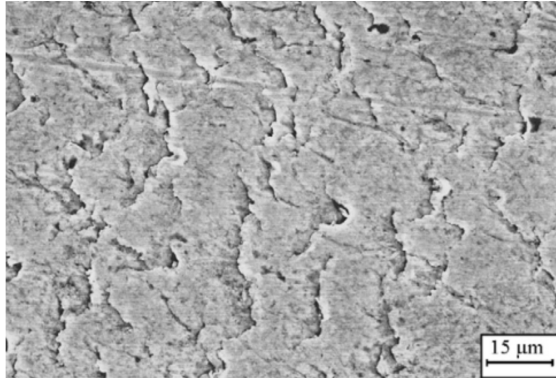


Figura 62.- Grietas en la superficie de un disco en un ensayo de pin-on-disc [49].

Vistas con un poco más de detalle en la figura 63 puede observarse como en ocasiones presentan una lengua de material doblada hacia atrás y aplastada que es arrancada con el tiempo para dar origen a una partícula de desgaste y a una “picadura” desde la que parte una grieta [187].

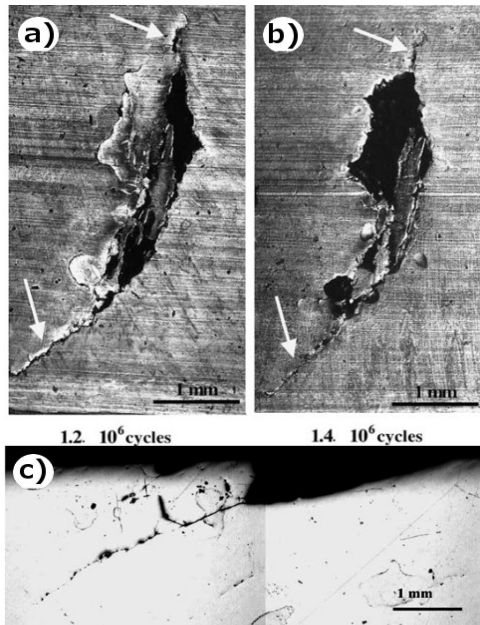


Figura 63.- Evolución temporal del aspecto de una grieta que ha generado una partículas de desgaste (a y b) y corte transversal (c) [185].

Una característica de la superficie, sobre todo de los raíles, es la presencia de unas bandas regularmente espaciadas (entre 20 y 200 mm normalmente) conocidas como corrugado. Un ejemplo puede verse en la figura 64.

Este fenómeno, al parecer relacionado con la modulación de las fuerzas que aparecen entre raíl y rueda por frecuencias de resonancia y potenciado por un aumento en las fuerzas tangenciales [188], causa una enorme cantidad de pérdidas a la industria ferroviaria debido al ruido y la inestabilidad que se genera. No obstante, la complejidad del fenómeno y la amplitud de los estudios que a él se dedican exceden el alcance de esta tesis.



Figura 64: Rail corrugado [252].

Aquí si cabe citar que Nakahara [156] encontró corrugación en, por lo menos, uno de sus ensayos de disco gemelo, aunque por el escalado impuesto por el equipo, de un tamaño mucho menor que el encontrado en la realidad. La figura 65 muestra una representación en 3D de la superficie.

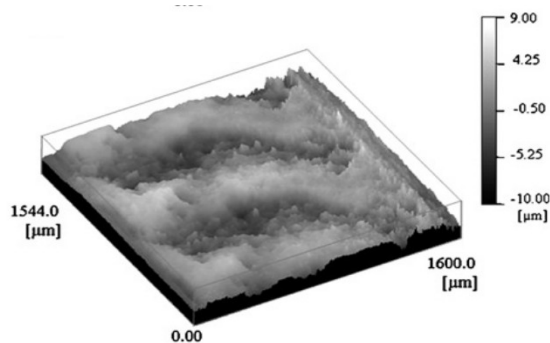


Figura 65: Corrugado aparecido en un ensayo de disco gemelo[156].

2.6.2.- **DEFORMACIÓN SUBSUPERFICIAL**

Las enormes tensiones que aparecen en el contacto superan fácilmente el límite elástico de los materiales ferroviarios, llevando a una deformación plástica de la superficie tanto del raíl como de la rueda. Recuérdese que muchos de los ensayos de laboratorio se hacen con una tensión máxima de compresión de 1200-1500 MPa, mientras que la carga de rotura a tracción uniaxial mínima de un acero para carriles R260 es de 860 MPa y la de uno para ruedas como el ER7 es de 820 MPa.

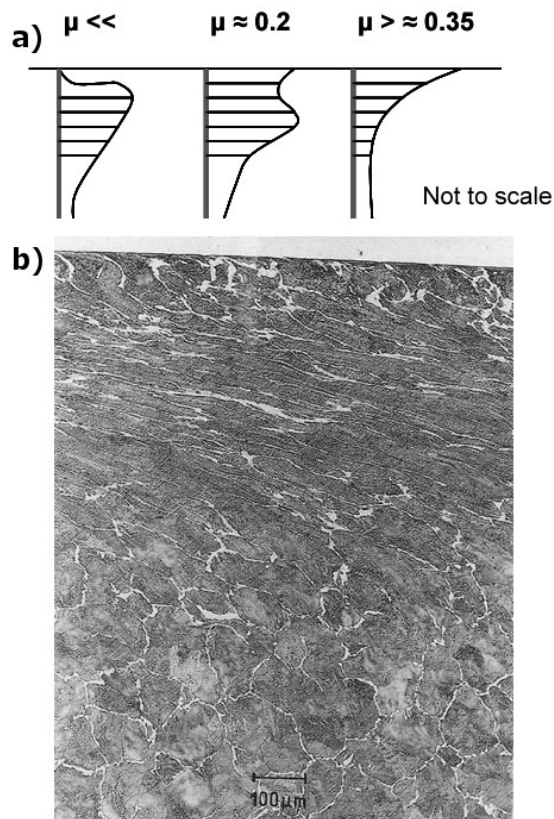


Figura 66: Forma del campo de tensiones tangenciales bajo la superficie para distintos valores del coeficiente de fricción (a) [250] y aspecto de un corte longitudinal (1800MPa con agua y un 0.31% de deslizamiento) (b) [67]

La deformación está íntimamente relacionada con el campo de

tensiones tangenciales que aparece bajo la superficie, dependiente de la carga, el coeficiente de fricción y el deslizamiento, apareciendo un máximo bajo la superficie para coeficientes de tracción bajos tal y como se muestra en la figura 66, en función del valor del coeficiente de fricción. Este mismo comportamiento ha sido corroborado en otras ocasiones [67] y se encuentra también cuando se habla del endurecimiento (apartado 2.6.4). La figura 67 muestra la correspondencia entre la deformación de la rueda y el raíl. Esta deformación se corresponde siempre con la dirección de las fuerzas resistentes al deslizamiento que aparecen en el contacto.

Una peculiaridad del campo de deformaciones que aparece en rodadura es que su forma, dependiente de las tensiones tangenciales, cambia al hacerlo el coeficiente de tracción, de forma que cuando el valor de éste es superior a 0.35, el máximo de la deformación aparece en la superficie y va disminuyendo progresivamente hacia el interior. Al ir descendiendo el coeficiente de tracción por debajo de 0.35, el máximo de la deformación se va trasladando hacia el interior, de forma que con muy bajas adherencia la deformación que aparece en la capa más externa del material es realmente baja. La figura 66 muestra como es de esperar que sean los campos de deformación plástica en función de la adherencia y muestra un ejemplo donde la máxima deformación se da claramente bajo la superficie, con un pequeño pico en ella.

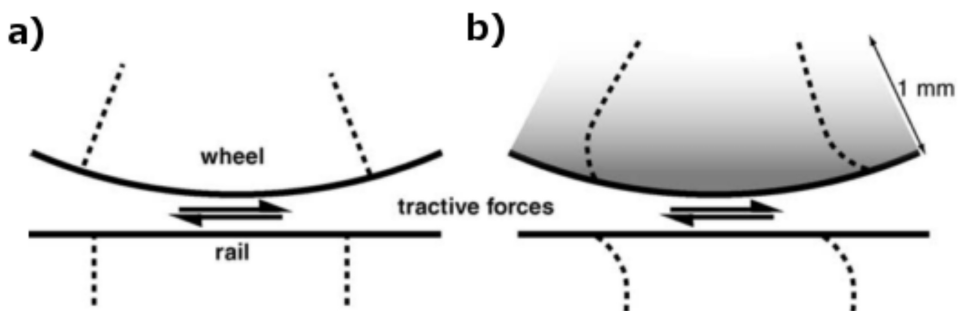


Figura 67: Dirección de la deformación en la rueda y el raíl [87]. a: estado inicial. b: estado final.

Trabajando con una presión máxima de 1200 MPa, Lewis [147] obtuvo (valores medidos a partir de microfotografías con una profundidad de 500 micras) deformaciones subsuperficiales indetectables

para un deslizamiento del 1% para el raíl (R260Mn) y superiores a las 500 micras para deslizamientos del 5 y el 10%. Para la rueda (B5T), la deformación fue superior a las 500 micras en todos los casos. Cuando usó arena para mejorar la adherencia se formó un “tercer cuerpo” y la deformación bajó a 300 micras para el raíl al 5% de deslizamiento. La deformación en la rueda fue de 25 micras al 1%, de 260 para el 5% y superior a 500 micras para el 10 % de deslizamiento. En comparación con estos bajos valores obtenidos en laboratorio, otros autores apuntan que la deformación en vía puede llegar hasta los 15 mm [82].

Las distintas distribuciones de la deformación también incidirían sobre la zona donde aparecerían las grietas por fatiga, existiendo una tendencia a que coincidan con los máximos de la distribución [1]. Por otra parte, la existencia de desgaste haría aflorar rápidamente las grietas a la superficie aunque hayan crecido bajo ella y la superficie acabará mostrando en todos los casos el mismo aspecto.

Ringsber [2] (para evaluar los resultados de una simulación por elementos finitos), Kapoor [82] o Tyfour [110] han empleado la tangente del ángulo que forman las líneas de deformación a 0.03 y 0.05 mm de la superficie con la vertical para evaluar la deformación. Este mismo sistema se ha usado, empleando las líneas de ferrita deformada, para medir la deformación a distintas profundidades [114].

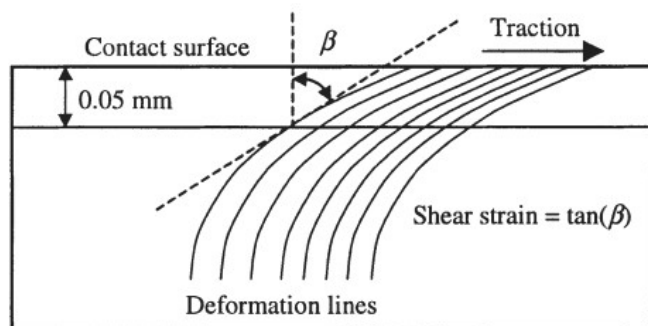


Figura 68: Evaluación del nivel de deformación mediante la medición de la inclinación de las líneas de deformación [2]

Este parámetro presenta una buena linearidad con una medida de la histéresis plástica dada por la distancia en vertical a la tensión que marca el

límite de endurecimiento multiplicada por el número de ciclos a esa carga. Los resultados pueden verse en la figura 69.

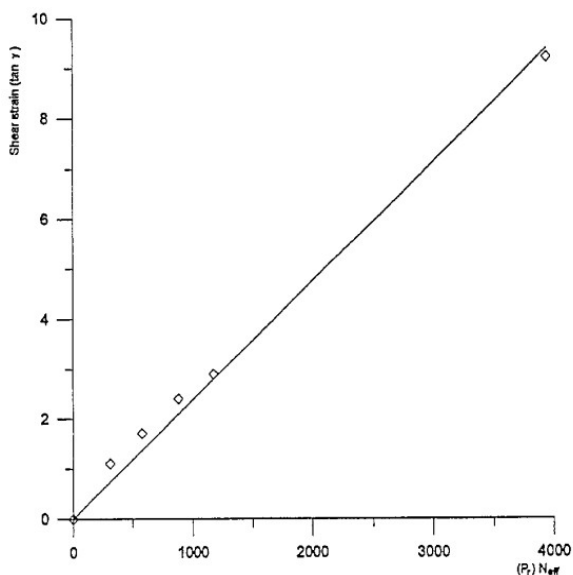


Figura 69: Relación entre la deformación superficial y la histéresis plástica [110]

Otros autores [189] discrepan con esta linealidad respecto al número de ciclos N_c y abogan más por una relación de tipo potencial evaluada a partir del valor de la máxima tensión cortante $\mu \cdot P_{N_{max}}$.

2.6.3.- RUGOSIDAD

No son muchos los autores que dan información acerca de la rugosidad resultante de la rodadura. Chen [167] presenta la figura 70, en la que se aprecia como la rugosidad puede llegar a tener una enorme influencia en el coeficiente de tracción, reduciéndolo, a medida que se va incrementando la velocidad del vehículo. Es más, incluso la orientación de la rugosidad puede afectar a los resultados [164], sobre todo en agua al crear caminos preferentes para su evacuación. Sea como sea, los fenómenos tribológicos que aparecen inmediatamente debido a esa misma rodadura (desgaste, arranque o aplastamiento de crestas, etc...) harán cambiar rápidamente el valor de rugosidad, por lo que su influencia inicial será totalmente distinta a la que haya al cabo de un corto plazo de tiempo.

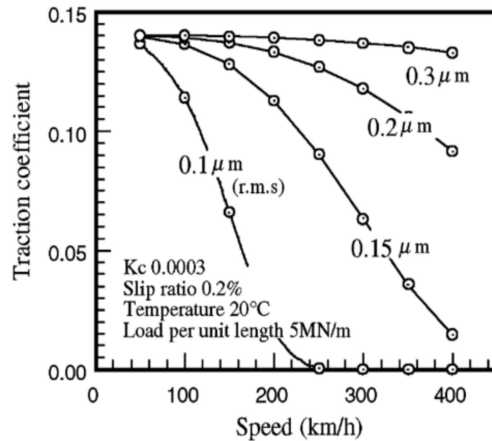


Figura 70: Influencia de la rugosidad en el coeficiente de tracción [167]

En cuanto al cambio en los valores de rugosidad debido a la rodadura, Nakahara [52] presenta las dos figuras siguientes para mostrar la variación de la rugosidad y la dureza a lo largo de un ensayo:

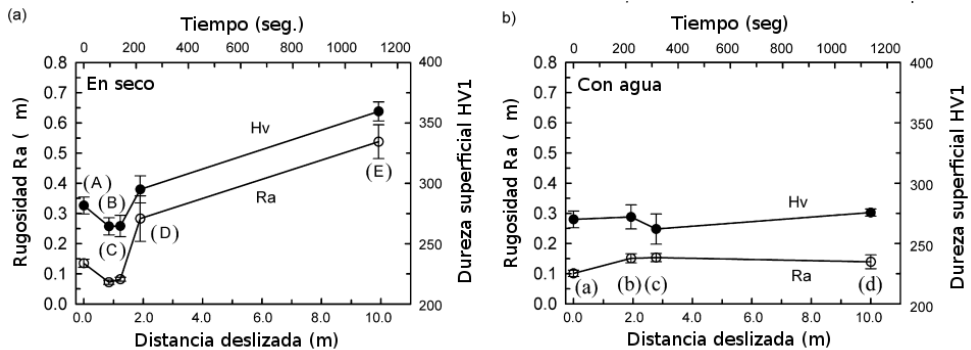


Figura 71: Evolución de la rugosidad y la dureza con un deslizamiento del 0.7% y una presión máxima de 800 MPa [52]

En ensayos en seco, al principio hay una caída de la rugosidad que el autor no explica pero que puede relacionarse con el aplastamiento de rugosidades. Una vez, al avanzar el ensayo, se ha superado el máximo del coeficiente de tracción la rugosidad vuelve a aumentar de forma continua.

La presencia de agua, por el contrario, parece mantener la rugosidad invariable al crear una capa lubricante que separa ambos materiales, siendo la variación que se aprecia estadísticamente insignificante (al menos con la

cantidad de datos presentados).

Lewis también ha estudiado la influencia de otros contaminantes en la rugosidad [148]. Con aceites la superficie presenta menor rugosidad tras el ensayo que inicialmente, por ejemplo, $0.6 \mu\text{m}$ frente a la micra inicial tras, tan sólo, 2000 ciclos. La presencia de hojas, aunque parezca extraño, parece que forma una capa lo suficientemente dura como para dañar el acero, elevando la rugosidad R_a hasta $1.3 \mu\text{m}$ para el raíl y hasta $3.9 \mu\text{m}$ para la rueda. Como es de esperar, el uso de arena para mejorar la adherencia incrementa, al clavarse los granos por su dureza en el material o arañarlo, notablemente la rugosidad de la superficie [147].

Otro aspecto de la rugosidad es que altera el campo de tensiones teórico que aparece en el contacto, alejándolo cada vez más de una distribución de tipo hertziana (o similar) para acercarlo a una distribución estadística con islas de altas tensiones en los puntos de contacto entre las asperezas, llegando a aparecer tensiones casi 3 veces superiores a las previstas [190] y alterándose espectacularmente el campo hertziano de tensiones (véase la figura 72).

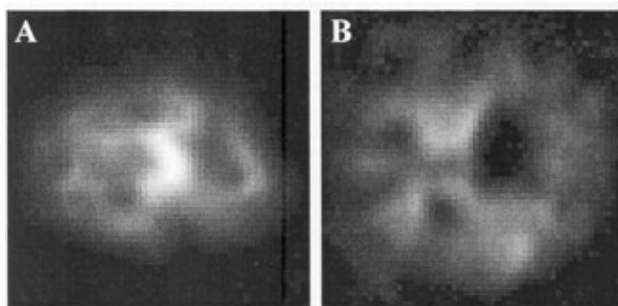


Figura 72: Distribución de tensiones obtenida por ultrasonidos del contacto en una rueda nueva (A) y otra usada (B)[190]

Las consecuencias de este hecho son importantes, ya que esas altas tensiones llevan a que en la superficie aparezca histéresis plástica (hasta una profundidad de más de 10 micras) incluso aunque la tensión máxima teórica sea inferior al límite de endurecimiento [191].

2.6.4.- ENDURECIMIENTO

Aunque ya se ha hablado de la influencia que puede tener la dureza de un acero (apartado 2.5.5), lo cierto es que ese valor dureza inicial puede cambiar con rapidez, alterando su influencia. Las deformaciones plásticas que aparecen tanto en la superficie del carril como de la rueda llevan indefectiblemente a un endurecimiento por acritud (véase el apartado 2.4.3.2), incluso aunque la superficie esté recubierta por un material ya duro [28]. Algunos autores añaden otros mecanismos de endurecimiento como la rotura de las frágiles láminas de cementita por deformación y el arranque de la ferrita [20] o la aparición de una solución sólida de carbono en una matriz de ferrita [25] [188] por descomposición de la cementita. El efecto final de este fenómeno es un aumento de la concentración de carburos en la superficie, con el consiguiente aumento de la dureza superficial.

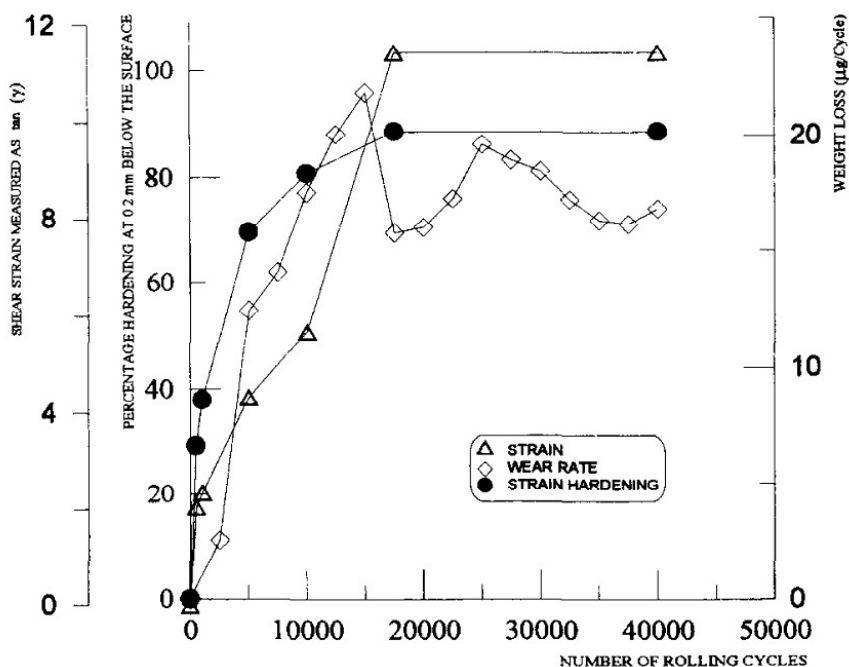


Figura 73: Evolución paralela del endurecimiento, la velocidad de desgaste y la deformación subsuperficial (1% de deslizamiento y 1500 MPa) [192]

Tyfour [192] encontró una fuerte correlación entre el número de

ciclos necesarios para alcanzar la estabilización del coeficiente de fricción y el fin del aumento de la dureza superficial y de la acumulación de deformaciones plásticas. Este endurecimiento (que alcanza los 600HV) va también paralelo a la deformación subsuperficial y a la velocidad de desgaste, algo lógico si se piensa que todos estos fenómenos están directamente relacionados con la acumulación continuada de deformaciones plásticas. Resultados muy similares han obtenido otros autores, con valores de dureza (en aceros con un alto contenido en carbono) que superan los 750HV [25].

En otros ensayos [110], este mismo autor evaluó el aumento de la dureza subsuperficial en discos de BS11 y W8A sometidos a cierta cantidad de ciclos en seco y húmedo. Sus resultados pueden verse en la figura 74.

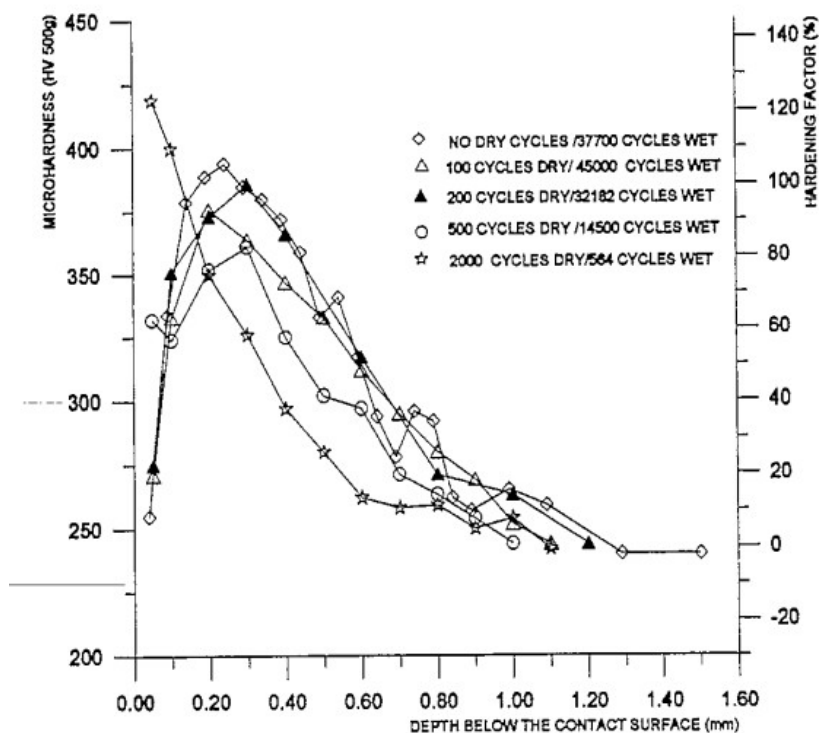


Figura 74: Endurecimiento por deformación tras distintas combinaciones de ciclos seco-mojado [110]

En todos los casos se alcanzan máximos localizados a 0.3 mm bajo

la superficie de entre 350 y 400 HV si la mayor parte del ensayo es con agua. Cuando predomina el número de ciclos en seco, la dureza que se alcanza supera los 400 HV y se da en la superficie. Esto se debe al desplazamiento bajo la superficie de la tensión máxima ortogonal cortante cuando el coeficiente de adherencia baja de 0.25.

Nakahara [52] encontró unos valores inferiores a los anteriores para ensayos en seco de unos 360 HV1 y ninguna variación de la dureza cuando se añade agua al contacto debido al efecto lubricante del agua. Estos resultados pueden verse en la figura 71 anterior.

Lo más importante que puede decirse sobre el endurecimiento superficial es que, de acuerdo con algunos autores [9], es este factor el que hace que los aceros al carbono tengan una resistencia al desgaste superior a la de los bainíticos, ya que la dureza que finalmente adquieren cada uno de ellos y la profundidad de endurecimiento que se alcanza puede llegar a ser mayor en los aceros al carbono, invirtiéndose los papeles de cada uno.

2.6.5.- TEMPERATURA SUPERFICIAL

Los fenómenos tribológicos que se dan en cualquier sistema rozante van siempre acompañados de una disipación de energía en forma de calor, la cual hace aumentar la temperatura de la superficie y disminuir las características mecánicas de los aceros en contacto. Aunque este aumento de temperatura no suele ser importante y no sobrepase por mucho los 200°C en condiciones normales [180], ya se ha comentado la importancia que puede llegar a tener en determinadas situaciones, por lo demás, no muy raras. Además, se ha relacionado el cambio en los regímenes de desgaste de severo a catastrófico con la superación de los 200 o 300 °C, momento en que se produciría una caída en la resistencia de los aceros al manganeso [193], aunque como muestra la figura 75 el cambio al régimen de desgaste catastrófico no implica un cambio en la pendiente de aumento de la temperatura, quizá debido a la mayor velocidad de pérdida de material superficial, el cual se lleva consigo parte del calor generado.

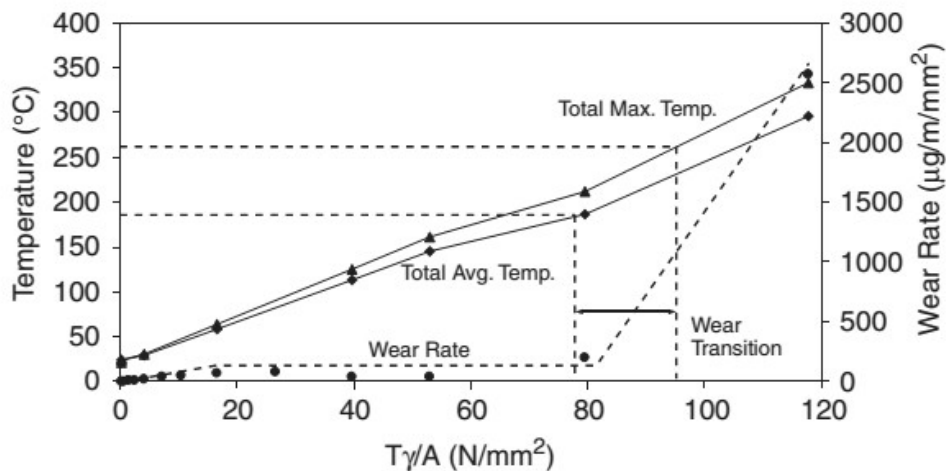


Figura 75: Evolución de la temperatura y el desgaste en un ensayo de disco gemelo [202]

El estudio de las temperaturas que aparecen en el contacto entre la rueda y el raíl dio un salto adelante con el trabajo de Blok [194] sobre el concepto de “temperatura de flash”, que es el máximo aumento instantáneo en el área de contacto entre dos superficies sobre su temperatura media. A partir de ahí se han desarrollado diversos métodos basados en la teoría de la conducción del calor con fuentes de calor móviles, de acuerdo con el trabajo inicial de Carslaw y Jaeger [195], aunque la mayoría de ellos adolecen del problema de no considerar la pérdida de calor en el raíl por conducción, algo que no importa en ensayos de disco gemelo en laboratorio, pero sí en vía. Tampoco son muchos los autores que incluyen el calor disipado por convección.

Ertz y Knothe [196], en ocasiones usando la aproximación polinómica propuesta para la distribución de la temperatura en contactos hertzianos propuesta por Tanvir [197], han propuesto distintos modelos para la distribución de temperaturas en el área de contacto, dando lugar a distribuciones como la de la figura 76.

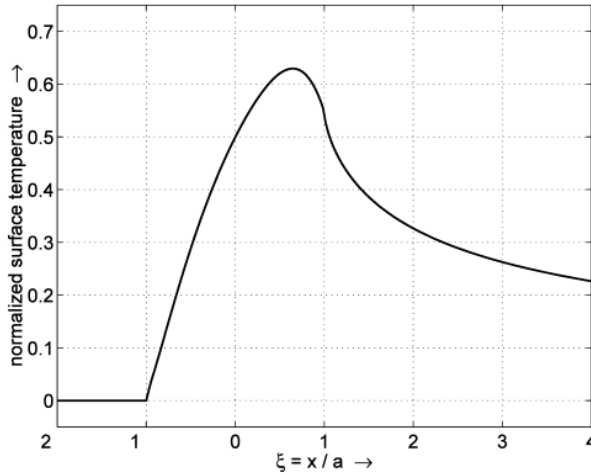


Figura 76: Distribución del aumento de temperatura normalizado en el contacto [180]. El valor 0 corresponde a la temperatura inicial del material.

Un posterior análisis de la situación, indica que para un caso real, el raíl siempre expone al contacto una superficie nueva y fría, mientras que en la rueda no es así y se alcanza un equilibrio en el que la rueda mantiene su temperatura. Estas consideraciones han llevado a estimar un límite máximo para el aumento de temperatura ($\Delta\Theta$) de [180]:

$$\Delta\Theta = \mu \cdot P_{Nmax} \cdot |v_s| \cdot \sqrt{\frac{\pi^3 \cdot a_e}{32 \cdot \lambda \cdot \rho \cdot C_E \cdot V_0}} \quad (40)$$

Sawley [96], por su parte, y coincidiendo con Liebelt [198], informa que la temperatura media en el contacto varía muy poco con la distribución de presiones y propone que el calor generado puede estimarse a partir de:

$$\dot{q} = \frac{N \cdot \mu \cdot v_s}{A} \quad (41)$$

Siendo N la fuerza normal, v_s la velocidad de deslizamiento, μ el coeficiente de fricción y A el área de contacto.

Una vez estabilizada la temperatura, su valor medio puede estimarse

a partir de la fórmula propuesta por Jaeger [199][96] :

$$\Theta = \frac{0.946 \cdot l \cdot \dot{q}}{\lambda} \quad (42)$$

Donde $2 \cdot l$ es la longitud del lado de un cuadrado al que se reduce el contacto y λ la conductividad térmica.

Savkoor [91] modificó un método desarrollado por Oosterkamp [200] para evaluar la temperatura en el contacto. El método original se basa en el cálculo del aumento de temperatura que se produce por el paso de una fuente de calor cuadrada sobre una superficie. Según el autor, el valor máximo de la temperatura estacionaria Θ que se alcanza en el contacto debido al paso de una fuente de calor cuadrada de magnitud \dot{q} y lado $2l$ viene dado por:

$$\Theta = \frac{2 \cdot \dot{q}}{\lambda} \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot \alpha' \cdot l}{\pi \cdot V_0}} \quad (43)$$
$$\alpha' = \frac{\lambda}{\rho \cdot C_E}$$

Donde λ es la conductividad térmica, ρ la densidad, C_E el calor específico y V_0 la velocidad de la fuente de calor.

Este autor encontró que las temperaturas eran mucho menores de lo esperado, con valores que apenas superan los 150°C en los peores casos. Esto coincide con las temperaturas reportadas por otros autores en ensayos de laboratorio, donde no se llegan a alcanzar los 100°C [201][106].

Lewis [202] indica que los mejores resultados se obtienen mediante un equilibrio entre el calor generado y el disipado por convección (\dot{q}_1), conducción (\dot{q}_2) y radiación (\dot{q}_3), aunque el calor perdido por conducción resulta ser entre uno y dos ordenes de magnitud superior al resto, que se podrían despreciar.

$$\begin{aligned}
\mu \cdot N \cdot v_s &= 2(\dot{q}_1 + \dot{q}_2 + \dot{q}_3) \\
\dot{q}_1 &= 0.664 \cdot b_e \cdot \lambda_a \cdot (\Theta - \Theta_a) \cdot \sqrt[3]{\frac{\eta_a \cdot C_{Ea}}{\lambda_a}} \cdot \sqrt{\frac{u_r \cdot 2 \cdot \pi \cdot R \cdot \rho_a}{\eta_a}} \\
\dot{q}_2 &= \frac{2 \cdot \pi \cdot b \cdot k_s}{\ln(r_0/r_i)} (\Theta_a - \Theta_i) \\
\dot{q}_3 &= \sigma_{SB} \cdot A_d \cdot \varepsilon_R \cdot (\Theta^4 - \Theta_a^4)
\end{aligned} \tag{44}$$

Donde las distintas variables de las ecuaciones son:

μ = Coeficiente de fricción

N =Fuerza normal

v_s =velocidad de deslizamiento

b_e =Ancho del contacto

λ_a =Conductividad térmica del aire (0.025 W/mK)

Θ =Temperatura exterior del disco

Θ_a =Temperatura del aire

η_a =Viscosidad dinámica del aire (2e-5 Kg/ms)

C_{Ea} =calor específico del aire (1 kJ/KgK)

u_r =Velocidad del aire respecto a la superficie (velocidad de la superficie)

R = Radio del disco

ρ_a =Densidad del aire (1.24 Kg/m³)

Θ_i =Temperatura en el eje del disco

σ_{SB} = Constante de Stefan-Boltzmann (5.669e-8 W/m²K)

A_d = Área de disipación de calor

ε_R = Emisividad de la superficie radiante

La figura 77 muestra los resultados obtenidos con este método comparados con los valores medidos mediante una cámara de termografía infrarroja y los otros dos métodos de cálculo, que no se detallan aquí por resultar bastante menos exactos.

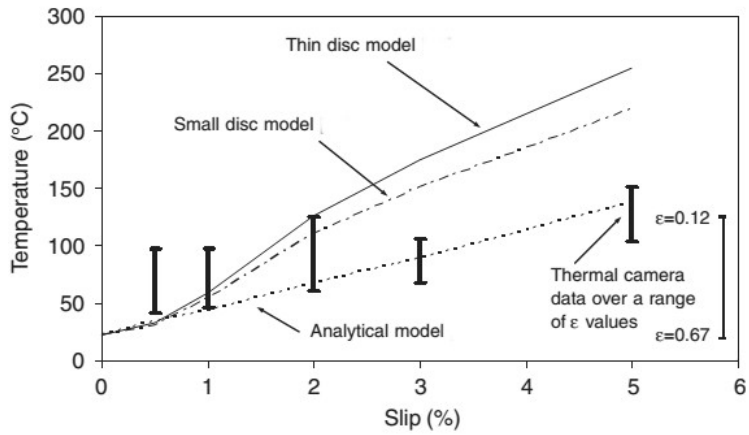


Figura 77: Comparativa entre los resultados de temperatura superficial obtenidos con el método descrito (analítico), otros dos métodos y medidas reales.[202]

2.7.- EMISIÓN ACÚSTICA Y TRIBOLOGÍA

La norma EN-13554:2002 define la emisión acústica de la siguiente manera:

“La emisión acústica es un fenómeno físico que tiene lugar en el interior de los materiales, y el término Emisión Acústica se utiliza para definir la energía espontánea, elástica, emitida dentro de un material o debida a un proceso, en forma de ondas elásticas transitorias”.

Dicho de otra manera, cualquier fenómeno que produzca un cambio brusco en la ordenación cristalina de un determinado volumen en un material generará también una o varias ondas elásticas que se propagaran por el material hasta alcanzar su superficie. Las frecuencias típicas de estas ondas se sitúan habitualmente entre los 100 y los 300 KHz, aunque en aplicaciones de control de tanques de almacenamiento es preciso bajar hasta los 25 KHz debido a la caída en frecuencia que se produce por las largas distancias que tiene que recorrer la onda. Los sensores actualmente existentes abarcan un rango de frecuencias de los 10 KHz a los 2 MHz y permiten detectar movimientos en el material de 10-12 nm.

Es obvio que solamente los cambios capaces de desprender una determinada cantidad de energía pueden generar ondas que puedan ser detectadas con la tecnología actualmente disponible. Aún así son muchos los fenómenos que generan estas ondas incluyendo el movimiento de dislocaciones, la formación de bandas de Lüders, la aparición de microfisuras, el crecimiento de una grieta por fatiga o las transformaciones de fase bruscas como la martensítica. En cualquier caso, una mayor presencia de estos fenómenos lleva asociada siempre una mayor cantidad de ondas elásticas.

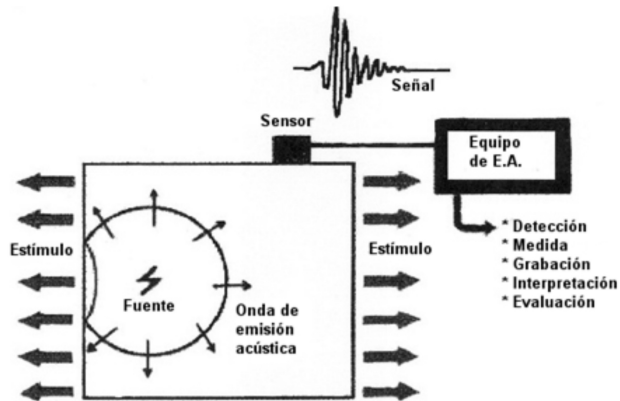


Figura 78.- Mecanismo en el que se basa la técnica de la emisión acústica.

Estas ondas elásticas que se propagan hasta la superficie pueden detectarse usando sensores piezoeléctricos que reaccionen a las imperceptibles oscilaciones de la superficie sobre la que están colocados cuando por ella pasa una onda del tipo descrito. De esta forma se pueden convertir las ondas detectadas en señales eléctricas que pueden ser amplificadas, filtradas y analizadas con un software adecuado.

Dado que los sensores de emisión acústica lo que detectan son ondas elásticas cualquier otro tipo de proceso que las produzca, siempre y cuando se sitúen dentro del rango de frecuencias y amplitudes adecuado, también puede ser estudiado con esta técnica. Este hecho es el que amplía la aplicación de la emisión acústica mucho más allá de su campo inicial [203], pudiendo servir para estudiar fenómenos de fractura y monitorización de estructuras [204][205] o tribológicos y de desgaste [206][207], pero también de descohesión en materiales compuestos poliméricos [208] o en morteros cerámicos [209], para realizar mantenimiento predictivo de elementos de máquinas [210], estudiar fenómenos de corrosión [211] o incluso predecir terremotos [212], sólo por citar algunos ejemplos que pueden encontrarse en publicaciones científicas.

2.7.1.- PROPAGACIÓN DE LA SEÑAL DE EMISIÓN ACÚSTICA

Cada vez que se genera una onda elástica esta señal se propaga en todas direcciones sin que pueda ser detenida, igual que las ondas sísmicas

desde el epicentro de un terremoto. El conocimiento de cómo se propaga la onda en el medio puede aportar gran cantidad de datos a la hora de estudiar sus características si se busca asociarla a un fenómeno generador concreto e incluso puede permitir diferenciar entre ellos.

Como la onda se propaga en todo el volumen del material puede ser detectada en distintos puntos del mismo y, usando las diferencias de tiempos de llegada a cada sensor y la posición de los mismos, localizada geoméricamente.

Esta localización es uno de las grandes ventajas de la emisión acústica, ya que permite encontrar defectos superficiales, internos o en zonas de difícil acceso sin tener que recorrer toda la superficie o volumen de una pieza, aunque la distancia a la que podrán ser detectados dependerá de las características del material y de su geometría, alcanzándose distancias de varios metros en elementos planos o cilíndricos.

Para que el proceso de localización sea lo más exacto posible es preciso conocer dos características de la propagación de la onda en el medio: su velocidad y su amortiguación con la distancia. Por suerte los fabricantes suelen disponer de este tipo de datos, que no varían sustancialmente entre materiales de la misma familia.

2.7.2.- CARACTERÍSTICAS DE UNA SEÑAL DE EMISIÓN ACÚSTICA

Aunque una representación de la cantidad de señales detectadas en función de algún parámetro asociado al ensayo que se este realizando ya basta por si misma para proporcionar una gran cantidad de información (en realidad este es el principal dato que se obtiene y, a veces, el único) los sistemas comerciales de emisión acústica proporcionan una serie de parámetros, en base a los cuales es posible caracterizar de forma global el comportamiento de un material o el fenómeno que genera la señal.

Otra opción es el estudio de cada señal individual, lo que permite una caracterización muy detallada del fenómeno que la ha originado pero se requiere de un sistema adicional de tratamiento de datos y de buenos conocimientos sobre los fenómenos generadores de ondas elásticas y la

propagación de señales de elevada frecuencia dentro del material, incluyendo la geometría del mismo.

Los parámetros típicos que proporciona el equipo de emisión acústica son:

- Impactos (hits): Es el número de señales que detectan los sensores, correspondiendo cada impacto a una onda (o señal) individual. Es preciso resaltar que varios impactos pueden superponerse parcial o totalmente en el tiempo, de forma que se detectaría un solo impacto cuyas características serían fruto de la superposición de todas las ondas.

Un impacto comienza cuando la señal supera por primera vez el valor límite de amplitud preestablecido y termina cuando lo cruza por última vez siempre que haya pasado un tiempo preestablecido por el operario sin que haya habido ningún cruce.

- Evento: Este término hace referencia a una agrupación de ondas que el sistema de tratamiento de datos identifica como originadas por un mismo suceso cuya localización temporal y geométrica ha podido ser determinada.
- Valor límite o umbral: Para separar las señales del ruido de fondo se establece un valor de amplitud en dB, el cual debe superarse para que el sistema detecte una señal.
- Amplitud: Puede medirse en decibelios o en milivoltios. Es el valor pico de amplitud que alcanza una determinada señal.
- Cuentas: Número de veces que una misma señal cruza el valor límite de amplitud.
- Duración: Es la duración de cada impacto o señal. Abarca desde el momento en que se rebasa la amplitud límite hasta que lo cruza por última vez.
- Tiempo de subida: Tiempo que pasa desde que se cruza el límite de amplitud por primera vez hasta que se alcanza el máximo de

amplitud.

- Energía: Es la energía contenida en cada impacto.
- Ruido de fondo: Es el nivel RMS de ruido detectado por los sensores y que no esta asociado a ninguna señal.
- Tiempo de llegada: Valor horario absoluto en que se detecta, para cada impacto, el primer cruce de la amplitud límite. El estudio de los distintos tiempos de llegada a cada sensor junto con la posición de los mismos permite la localización del origen de las señales.

La siguiente figura ayudará a clarificar los conceptos expuestos:

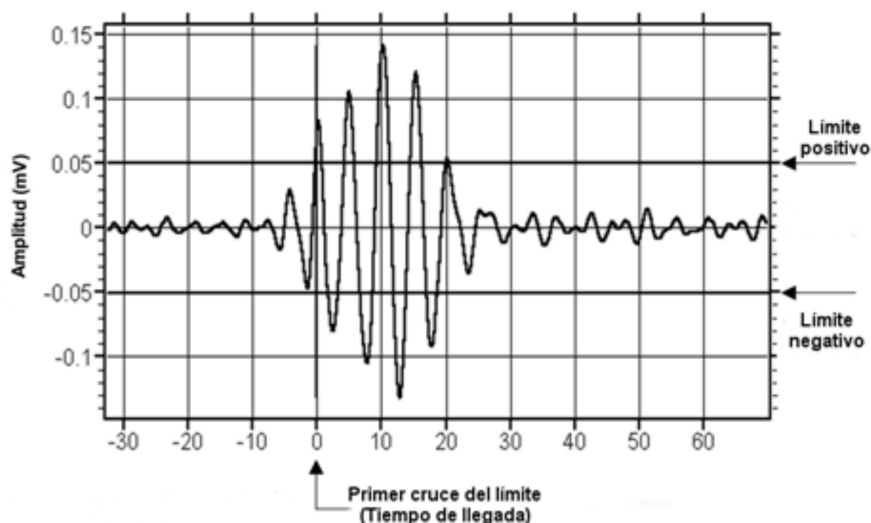


Figura 79.- Señal de emisión acústica y umbrales de detección.

Conocidos los parámetros que puede proporcionar un sistema de emisión acústica, queda por señalar que las dos principales variables que controlan la toma de datos: el valor umbral de amplitud que debe superar una señal para que sea detectadas y la distancia temporal sin señal que va a hacer que dos cruces del valor umbral citado se interpreten como dos señales distintas, van a tener un gran importancia sobre los resultados, pudiendo cambiar radicalmente sus valores y haciendo muy difícil la

comparación entre distintos ensayos si no se tiene toda la información sobre la configuración de la toma de datos [213].

2.7.3.- USO DE LA EMISIÓN ACÚSTICA EN SISTEMAS TRIBOLÓGICOS

Aunque lo más habitual es emplear los sistemas de emisión acústica para monitorizar en tiempo real estructuras constantemente sometidas a cargas a lo largo del tiempo, como depósitos, puentes o túneles, puede aplicarse a cualquier fenómeno que genere una onda elástica que pueda propagarse por el material. Dentro de estos se pueden incluir sin lugar a dudas los tribológicos, donde se generarán señales tanto debido a la rotura de las crestas de las rugosidades o de las microsoldaduras que pueden aparecer debido al contacto metal-metal en condiciones puntuales de alta presión, como debido a la abrasión provocada por el arrastre de una partícula dura sobre una superficie. También si el desgaste es de tipo delaminativo, el crecimiento de la grieta que lleva a la delaminación o el desprendimiento final de la partícula van a generar una serie de ondas elásticas que pueden detectarse y caracterizarse mediante un equipo de emisión acústica y el software de análisis que lleve asociado.

Cuando se habla específicamente de tribología, esta técnica ha demostrado su capacidad para estudiar una larga serie de fenómenos. De entre ellos se pueden destacar que se ha aplicado a varios fenómenos que aparecen en el contacto rueda-raíl, como son:

- La detección en ensayos pin-on-disc del momento en que la fricción elimina la capa de contaminantes que recubre una superficie [214] [215], momento en el que cambia totalmente el mecanismo de rozamiento y los materiales son mucho más sensibles al deterioro por desgaste.
- El estudio de sistemas afectados por fretting [216][217], en los que la magnitud de la emisión acústica permite discernir si el movimiento es de deslizamiento total y va a predominar el desgaste o es parcial y va a predominar la aparición de grietas por fatiga [218].

- El estudio de la forma de las ondas detectadas puede llegar a aportar información de difícil obtención por otros medios sobre como se produce la fricción entre dos cuerpos. Un ejemplo de ello es el estudio de los sistemas afectados por stick-slip [219][220] o del paso brusco de un estado de adherencia a otro con movimiento [221].

Más importante todavía que las aplicaciones anteriores es que la emisión acústica podría ser usada para el estudio directo del comportamiento del sistema rueda-raíl si los sensores se colocan sobre el raíl [222]. En particular se ha comprobado que la magnitud de la emisión acústica aumenta con la velocidad y la carga y que es fácil localizar geoméricamente la presencia de defectos.

2.8.- EQUIPOS PARA ENSAYOS DE RODADURA

En este capítulo se describen los distintos tipos de equipos usados en laboratorio para el estudio de la rodadura.

2.8.1.- SISTEMAS DE ENSAYO A ESCALA REAL

Aunque es evidente que los mejores resultados son los que se obtienen en vía o en instalaciones a escala real [223], el uso de las mismas supone un coste muy elevado y en ocasiones no proporciona el control que buscan los investigadores académicos. Dentro de los sistemas a escala real empleados en distintos laboratorios es preciso destacar algunos.

El Rail Technical Research Institute, fundado en 1.986 en Japón, cuenta con una impresionante serie de laboratorios que permiten estudiar el comportamiento de distintas estructuras ferroviarias como pantógrafos, ejes, túneles, etc. De entre estos, tienen importancia para la presente tesis los siguientes laboratorios:

- Laboratorio de frenada.- Es capaz de simular una frenada hasta velocidades de 500 Km/h.

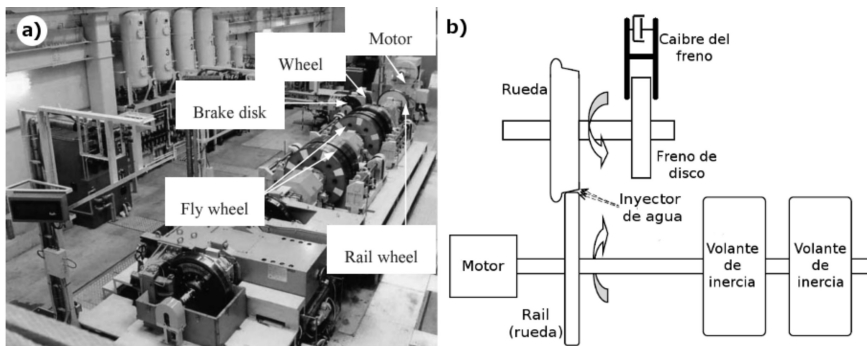


Figura 80.- Fotografía (a) y esquema (b) del equipo de ensayos de rodadura y frenada del RTRI [249]

- Laboratorio de rodadura.- Permite simular la rodadura de la rueda sobre el raíl mediante un movimiento de ida y vuelta sobre un trozo de raíl de 1 metro de longitud. La carga aplicada sobre la rueda puede llegar hasta 300 KN.

La Universidad de Jiaotong (China) dispone de un equipo que simula el comportamiento de medio coche. En la figura 81 se presentan una fotografía y un esquema del mismo.

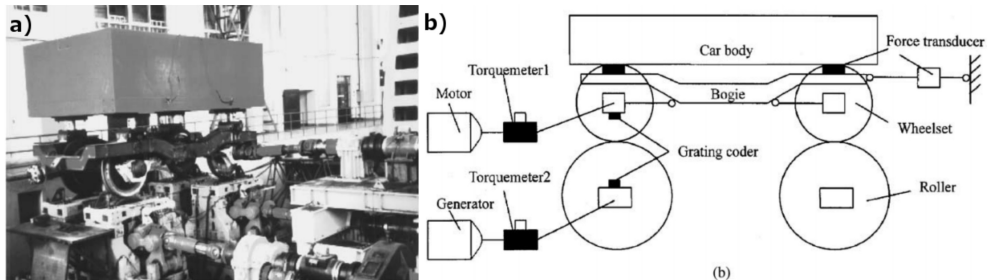


Figura 81: Fotografía (a) y esquema de funcionamiento (b) del simulador a escala real de medio coche de Jiaotong [165].

El eje está movido por un motor de 800 kW. Los discos que simulan el raíl tienen una sección UIC60 y están acoplados a un generador para ejercer un par resistente, pero lo importante es que no sólo pueden girar a distintas velocidades, sino que pueden vibrar independientemente en las direcciones vertical y lateral para simular la irregularidad de la vía.

La empresa Lucchini Sidermeccanica dispone, entre otras instalaciones, de un equipo de ensayos a escala real capaz de ensayar un eje completo, incluyendo las amortiguaciones, contra dos discos movidos por un motor con el perfil de un raíl. Este equipo ha sido usado por Braghin y Lewis [71] para estudiar el desgaste del perfil de las ruedas.

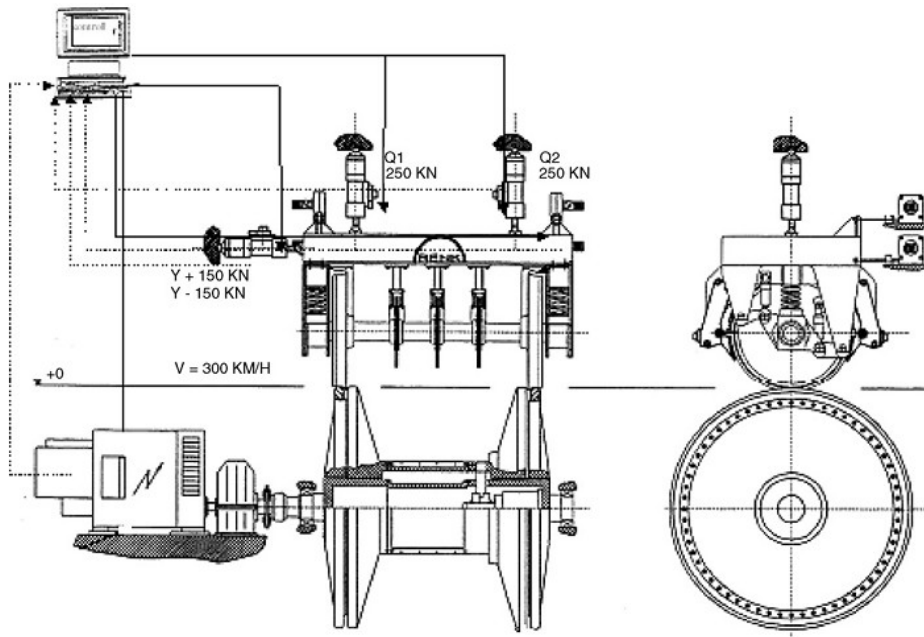


Figura 82: Esquema del sistema de ensayo a escala real de Lucchini [71].

Como puede verse en el esquema del equipo, el uso de dos actuadores permite controlar el reparto de cargas entre las dos ruedas del eje.

Este equipo es muy similar al de la Southwest Jiaotong University de China [152], al del Deutsche Bahn [224] alemán y al que dispone el NTSFEL de Tokyo [225], aunque este último con una escala 1:5. Se trata, por lo tanto, de un modelo bastante seguido.

Un equipo totalmente diferente a los anteriores es el Triborailer [22], desarrollado por la Association of American Railroads (AAR). Este tribómetro está basado en un diseño de la British Rail Research (BR) [226]. Ambos sistemas consisten en equipos portátiles que se hacen rodar sobre el carril para medir directamente en la vía (figura 83).



Figura 83: Uso de la primera versión del Triborailer, empujado a mano [50].

El diseño de BR utiliza un peso muerto para colocar una determinada carga sobre una rueda. La rueda va conectada a un embrague magnético cuya resistencia puede variarse. A medida que esta resistencia aumenta, también lo hace la resistencia a la rodadura de la rueda. La adhesión máxima se obtiene a partir del momento en que la rueda comienza a deslizar.

Las mejoras introducidas con el triborailer en su primera versión incluyen, entre otras, la sustitución del peso muerto por un sistema de muelles que permite mantener la carga constante y medir en todas las partes del raíl y no sólo en su parte superior. La versión definitiva de este sistema esta pensada para ser instalada en un vehículo (hasta 45 Km/h) y tomar 4 medidas simultáneamente. Además, mientras los anteriores saturan la curva de deslizamiento aumentando la resistencia a la rodadura, la última versión del triborailer lo hace induciendo un deslizamiento lateral (creep).

2.8.2.- EQUIPOS DE ENSAYO DE LABORATORIO

La mayor parte de los equipos diseñados para estudiar las propiedades del sistema rueda-raíl en laboratorio se basan en máquinas de

disco gemelo, que son las que mejores resultados parecen proporcionar [148] [164]. Estas máquinas constan de dos discos en contacto, los cuales se hacen girar a distinta velocidad con el fin de que entre ellos aparezca un deslizamiento controlado.

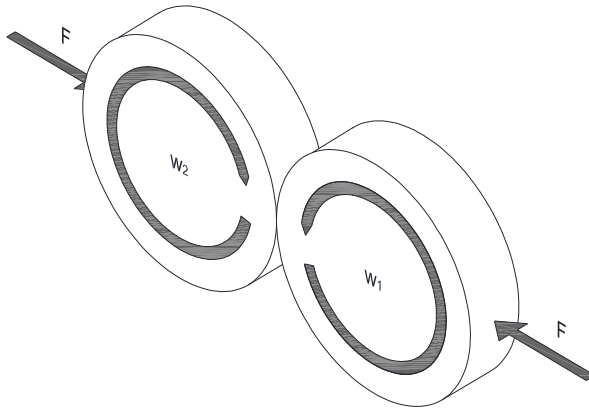


Figura 84: Esquema del funcionamiento de una máquina de discos gemelos.

El uso de un transductor de par intercalado en alguno de los ejes de transmisión de esfuerzos junto con una célula de carga en el sistema de aplicación de fuerzas permitirá recoger tanto los datos referentes a las fuerzas normales aplicadas como los correspondientes a las fuerzas tangenciales que aparecen en el contacto.

Una de las versiones más conocidas de estos equipos fueron las máquinas Amsler [227], llamadas así en honor a su inventor y ahora ya desfasadas (todavía hay alguna en funcionamiento), que usaban un sistema de engranajes para mover los discos. La variación del deslizamiento se lograba usando discos de distinto tamaño y la de la presión cambiando su anchura.

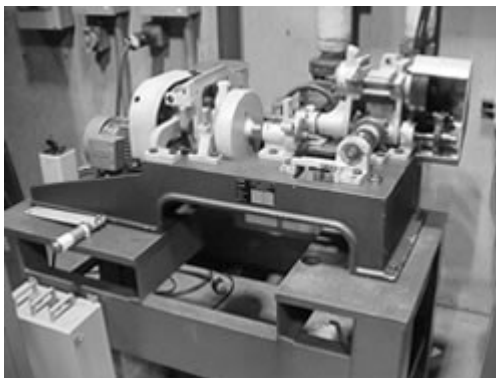


Figura 85: Máquina Amsler

Se trata de máquinas muy sencillas pero que permiten realizar gran cantidad de ensayos que, tras ir mejorando con el avance de la tecnología, dieron origen a muchas de las que se describen en los párrafos siguientes, llegando incluso a realizar ensayos con nitrógeno líquido [228]

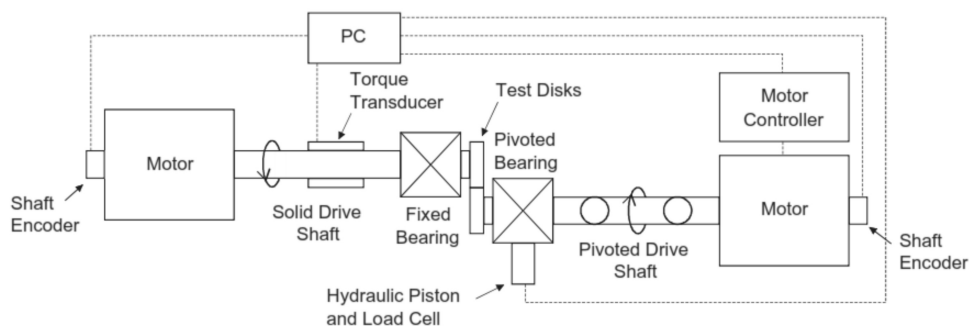


Figura 86: Esquema de la máquina "SUROS" de la universidad de Sheffield [147].

Una de las primeras implementaciones de este tipo de máquinas para el estudio del contacto rueda-raíl fue la de la máquina llamada "LEROS", fabricada por el Leonardo Centre for Tribology de la Universidad de Sheffield. La máquina "LEROS" fué posteriormente modificada para dar origen a la "SUROS" [36], cuyo esquema constructivo, pueden verse en la figura 86.

Esta máquina se basa en el aprovechamiento de un torno Colchester Mascot 1600 con un motor de 7.5 KW, el cual proporciona el mecanismo de

giro para el disco superior y una sólida base sobre la que colocar el resto de elementos de la máquina. El otro disco va unido mediante un eje pivotado con una unión cardan doble a un motor ventilado de 2 polos y 7,7 KW controlado por un variador de frecuencia ABB ACS 600, de forma que es posible variar la velocidad de rotación de ese disco de 0 a 1600 rpm.

Para mantener la potencia y el par que se transmiten al eje lo más constante posible independientemente de la velocidad de giro se disponen de dos reductores intercambiables que proporcionan 160 N·m a 400 rpm, lo que excede cualquier requisito de los ensayos que se pueden llevar a cabo en esta máquina. Para aplicar la carga normal al contacto entre los cilindros se dispone de un cilindro hidráulico de 29 KN de capacidad, que actúa sobre el rodamiento pivotado que soporta el eje del disco inferior.

Naturalmente, existe un sistema de adquisición de datos informatizado que permite recoger las distintas variables medidas y actuar en consecuencia, el cual consiste en:

- Un equipo de corrientes inducidas, cuya sonda se coloca a 0.2 mm de distancia del canto de uno de los discos con el fin de detectar la aparición de grietas durante un ensayo. Este transductor se calibra previamente con un disco con una longitud de grieta conocida, lo que permite generar una señal cuando ese tamaño de grieta se alcanza en los discos ensayados.
- Un transductor de par colocado en el eje del lado del torno para poder calcular las fuerzas tangenciales que actúan en el contacto entre los discos.
- Una célula de carga en serie con el cilindro hidráulico para medir la fuerza normal aplicada al contacto.
- Filtros pasivos paso-bajo para evitar interferencias electromagnéticas.
- Encoders para medir la velocidad de rotación real de cada disco. Cada uno tiene una resolución de 2500 pulsos por revolución.
- Las calibraciones realizadas sobre la “SUROS” indican que la carga aplicada se mantiene durante un ensayo con una precisión del $\pm 2\%$, la medida del par tiene una precisión del $\pm 1.25\%$ y de $\pm 0.05\%$ para

la velocidad de rotación de cada uno de los discos.

Los discos empleados en la mayor parte de los ensayos llevados a cabo con esta máquina son los mostrados en la figura 87. Como puede verse, se trata de un contacto de tipo lineal entre dos cilindros.

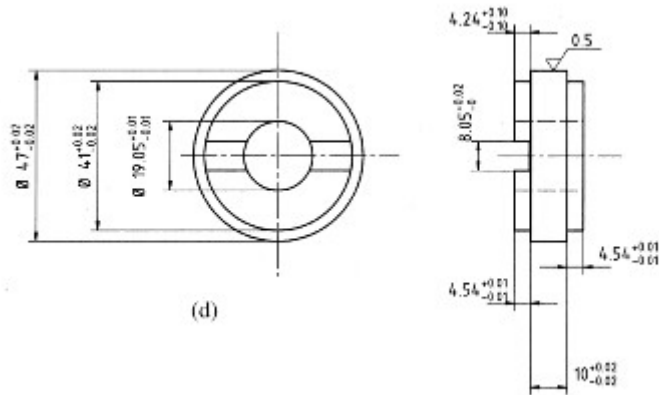


Figura 87: Discos usados en la máquina “SUROS” y, previamente, en la “LROS”

En modificaciones posteriores [229] se le añadió un sistema de inyección de arena entre los discos mediante aire comprimido.

Bastante más avanzado que el de la universidad de Sheffield, es el equipo del Tokyo Institute of Technology (figura 88). Cuenta con 2 servomotores de 2.5 kw, los cuales pueden ser controlados independientemente. Uno de estos motores puede desplazarse sobre unas guías tanto en el eje X como en el Y con el fin de poder medir la presión aplicada mediante una célula de carga. Esta carga se aplica mediante un sistema de palanca y muelles, aunque el valor máximo alcanzable es de 0.2 KN.

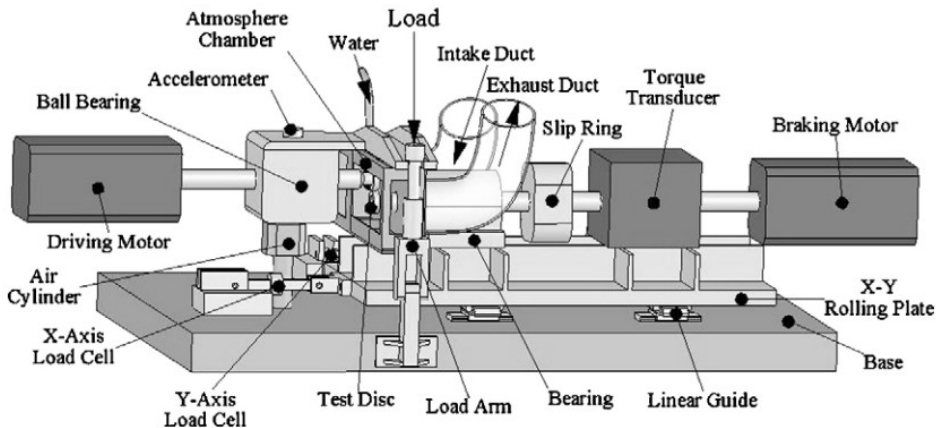


Figura 88: Esquema de la máquina de disco gemelo del Tokyo Institute of Technology [156].

Este equipo dispone de un acelerómetro para detectar las vibraciones producidas por los cambios en la superficie y de un termopar en la sección central de uno de los discos para medir su temperatura. Los discos a ensayar se encuentran dentro de una cámara sellada y conectada mediante conducciones a una cámara atmosférica, de forma que es posible controlar tanto la humedad como la temperatura. Un inyector completa la instalación con la posibilidad de aportar, por ejemplo, agua al área de contacto.

Dada la magnitud de la carga, en este equipo se emplean discos de 8 mm de ancho y 30 mm de diámetro, dándole un radio de 40 mm al canto de uno de ellos.

El equipo que posee el INSA de Lyon es diferente a otros en el sentido de que no está pensado para la realización de ensayos de disco gemelo. No obstante, permite tener una geometría de contacto mucho más real. Un esquema del mismo puede verse en la figura 89.

Este equipo usa un disco de 40 mm de diámetro que gira movido por un motor. En este caso es el raíl (sustituido por un perfil metálico) el que se desplaza siempre en la misma dirección. Una vez ha terminado su recorrido, baja y vuelve a la posición inicial para repetir el movimiento tantas veces como se desee. Este sistema, aunque más cercano a la realidad requiere de un sistema de control del movimiento más complejo (servomotores,

cojinetes hidráulicos, ...) y preciso que otros.

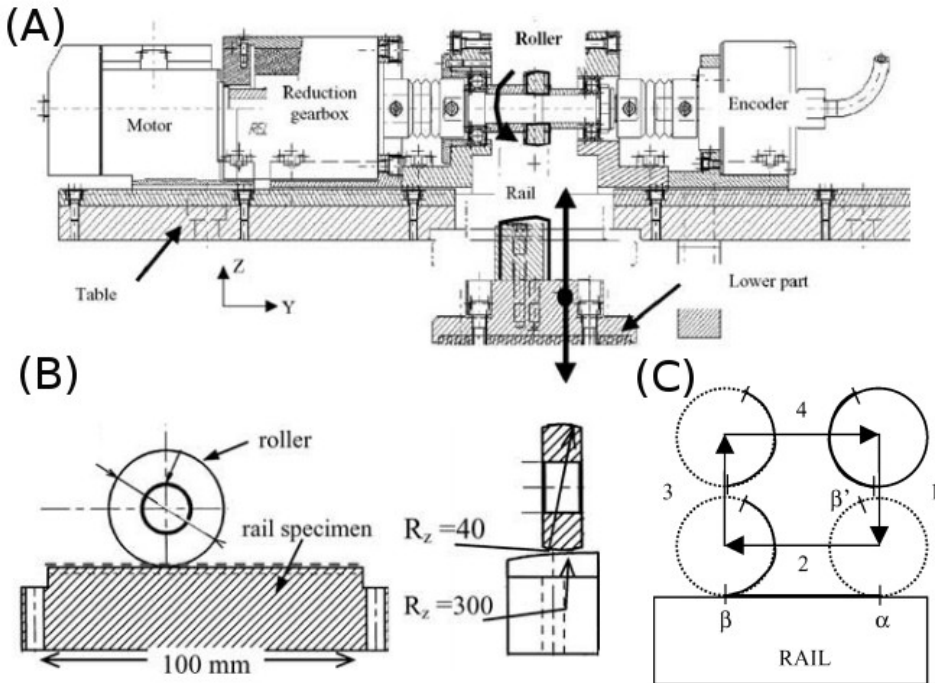


Figura 89: Equipo usado por Niccolini y Berthier en sus ensayos [163]. A) Descripción de la parate superior del dispositivo. B) Geometría de los especímenes ensayados. C) Esquema del movimiento (en realidad es el rail el que se mueve).

El equipo de la figura 89 es capaz de ejercer una presión máxima de 1500 MPa para la geometría mostrada en la figura 89B, y puede alcanzar un deslizamiento del 30%.

Por último, un equipo con otra forma de trabajo es la máquina desarrollada en la universidad de Delft por Savkoor [230], con un diseño diferente a los anteriores basado en el esquema de la figura 90.

Este equipo consiste en un disco montado horizontalmente de 1.5 metros de diámetro que simula el raíl y tiene el perfil de uno. Sobre él se coloca, perpendicularmente otro disco de 100 a 200 mm de diámetro que simula la rueda y gira en el plano vertical. El pequeño deslizamiento lateral que aparece se compensa dando al disco que simula la rueda una pequeña

inclinación respecto a la vertical.

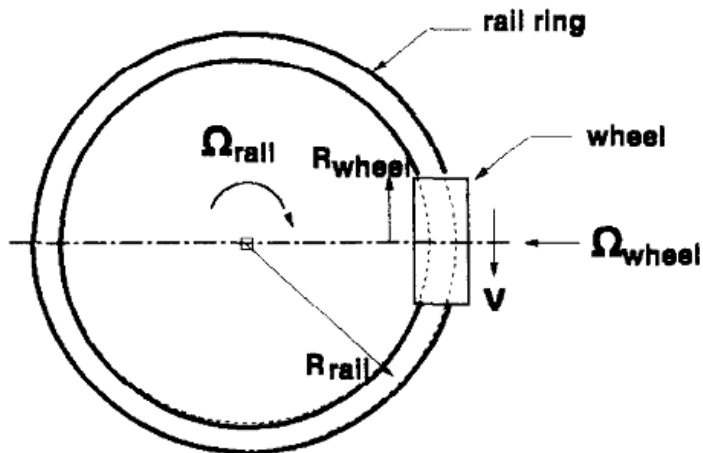


Figura 90: Esquema de funcionamiento de la máquina Oerlikon [91]

Ambos discos se controlan independientemente con servomotores de corriente continua, pudiéndose obtener velocidades de hasta 120 Km/h y deslizamientos del 80%. La carga normal en el contacto se controla mediante el uso de pesos muertos.

Muy similar a este es también una máquina diseñada por Oloffson [231], en la que se sustituye el disco más pequeño por una esfera .

La ventaja que pueden presentar este tipo de máquinas es que, si se emplean varios discos a la vez, colocados a distintas distancias del centro de rotación, pueden simularse varios niveles de deslizamiento a la vez.

3:

PLANIFICACIÓN DEL TRABAJO A REALIZAR

3.- PLANIFICACIÓN DEL TRABAJO A REALIZAR

En este capítulo se describen los parámetros de los ensayos, la forma en la que se realizarán y el orden en el que se llevarán a cabo.

3.1.- VARIABLES DE CONTROL

Aunque ya se ha visto que son muchos los factores que influyen en la rodadura, se ha elegido estudiar la influencia de los siguientes, por considerarse que son los más importantes de todos ellos:

- Materiales en contacto.
- Presión normal de contacto.
- Deslizamiento.
- Presencia de contaminantes en la vía.

Las razones por las que se han seleccionado estos parámetros y los valores concretos elegidos para cada uno de ellos se describen en los apartados siguientes.

En cuanto a los que se han descartado, también por limitar la cantidad de ensayos a realizar, cabe destacar la velocidad de rotación. Aunque éste es un parámetro con muchísima importancia, es también uno de los que su influencia es más conocida, tal y como se comenta en el apartado 2.5.4, por lo que se decidió no incluirlo. También la temperatura y la humedad se descartaron, puesto que disponer de un sistema de control de ambos que pudiese variar su valor en un amplio rango y de forma controlada no era económicamente viable y el sistema de climatización de la sala donde iba a estar montado el equipo ya mantendría esos valores bajo cierto control.

3.1.1.- MATERIALES EN CONTACTO

Dentro de los materiales ferroviarios disponibles, se habían elegido como punto de partida el ER7 para las ruedas y el R260 para los raíles, por ser estos algunos de los de uso más común.

Por desgracia, aunque lo ideal es fabricar las probetas de ensayo a

partir de ruedas y raíles, el alto coste que supone el mecanizado a partir de esos elementos ha hecho que se opte por usar un acero comercial que esté disponible en forma de barra y que tenga unas características lo más cercanas posibles a los aceros ferroviarios. Aunque no es lo habitual, también algunos autores han optado por esta solución [189][231][74].

Por desgracia no se ha encontrado ningún material cuyo rango de composiciones se cruce con el deseado, e incluso los más parecidos, y que aparecen en catálogos comerciales, no se distribuyen de forma habitual en las pequeñas cantidades que se precisan para la investigación. Por todo ello se ha optado por elegir dos aceros al carbono: C45 y C55. Las distintas proporciones de carbono de cada uno de ellos pueden simular, al menos parcialmente, las diferencias existentes entre los aceros ER7 y R260.

Se podría alegar que las diferencias metalúrgicas entre los materiales usados y los ferroviarios son excesivas. Walther [20], por ejemplo, indica que no es posible comparar directamente el comportamiento de un acero de tipo, por ejemplo, R7, directamente con otro de composición química similar, como el SAE 1045, debido a que los tratamientos térmicos que se aplican a una rueda cambian notablemente su respuesta mecánica frente a las sollicitaciones externas, básicamente debido a los cambios microestructurales producidos por el tratamiento térmico que se le da a la rueda. No obstante, en la mayor parte de los artículos que se publican no se hace referencia a que se de a las probetas ensayadas ningún tratamiento térmico, y esto es muy importante, puesto que, incluso cuando las mismas se obtienen a partir de material ferroviario, normalmente no se extraen de la superficie de la rueda o el raíl, como sería deseable, por lo que, de acuerdo con lo que se expone en el apartado 2.1.1.3, las características de la probeta serán distintas de las de la rueda en sí misma, anulando en parte las ventajas de obtener las probetas mecanizando una rueda o un raíl.

Además, y más importante aún, la dispersión de resultados en la bibliografía es tan grande que se ha estimado que incluso usando aceros al carbono comerciales los resultados entrarán dentro del rango de dispersión bibliográfico. Sirva como ejemplo, la figura 91, en la que se ve como los valores de desgaste obtenidos para un acero al carbono “estandar” caen entre los hallados para dos aceros ferroviarios.

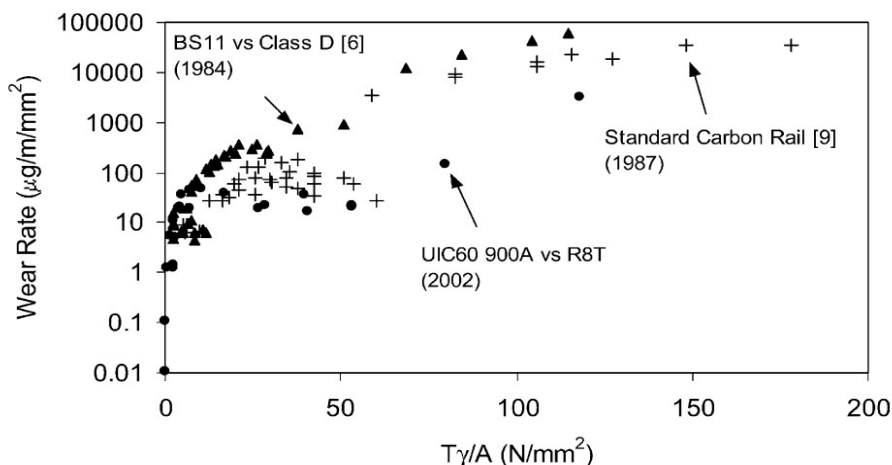


Figura 91: Velocidades de desgaste para 3 combinaciones de aceros distintas. Obsérvese como el acero al carbono no se diferencia de forma importante de los otros [193].

Las características de estos dos aceros son, de acuerdo con el certificado de calidad facilitado por el suministrador, las siguientes:

| Composición | | | | | | | | | |
|-------------|------------------|-------|------------------|-------|------------------|-------|-------|-------------|-------|
| | C | Mn | Si | P | S | Al | Cr | Ni | Mo |
| C45 | 0.450 | 0.680 | 0.210 | 0.018 | 0.024 | 0.010 | 0.110 | 0.060 | 0.010 |
| C55 | 0.550 | 0.740 | 0.370 | 0.006 | 0.028 | - | 0.110 | 0.020 | 0.003 |
| | V | Ti | Cu | Sn | Fe | | | | |
| C45 | 0.001 | 0.005 | 0.22 | 0.008 | Resto | | | | |
| C55 | - | 0.003 | 0.023 | - | Resto | | | | |
| | σ_Y (MPa) | | σ_R (MPa) | | Alargamiento (%) | | | Dureza (HV) | |
| C45 | 403.2 | | 662.2 | | 23.9 | | | 275* | |
| C55 | 752.4 | | 885.8 | | 17.2 | | | 297* | |

Tabla 11.- Características de los aceros C45 y C55 usados según los datos proporcionados por el proveedor (* Valor medido).

Estas características son las proporcionadas por el proveedor de los aceros, excepto las de dureza, que corresponden a las medidas mediante un durómetro Vickers. En realidad el proveedor da unos datos de dureza

inferiores para el acero C45 a los medidos, pero en los cálculos se ha preferido usar estos últimos. Esta diferencia puede justificarse porque en la ficha de características de los aceros se haya usado un valor medio para una amplia partida de material y no se corresponda con el particular de la barra usada para la fabricación de los discos. En cualquier caso, no puede deberse a que los materiales usados no sean los correctos, puesto que los porcentajes de ferrita y perlita calculados a partir de la figura 92, donde se muestra la microestructura de estos aceros, son del 22.38% para el C45 y del 9.19% para el C55, valores compatibles con la composición de estos aceros y el efecto reductor del porcentaje de carbono del punto eutectoide que tienen los elementos aleantes. Una posible explicación puede encontrarse en el menor tamaño de grano que presenta la aleación C45 y en un cierto endurecimiento superficial debido al mecanizado de las probetas.

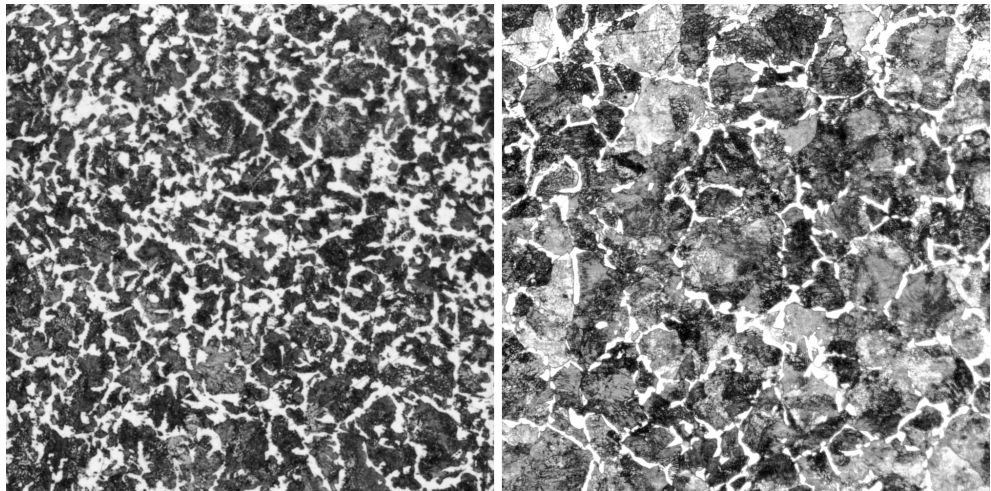


Figura 92.-Microestructura de los aceros C45 (izquierda) y C55 (derecha) x100. Puede verse el mayor tamaño de grano que tiene el acero C55 frente al C45 y su mayor cantidad de perlita.

La selección de un acero bainítico implica una problemática similar a la de los aceros al carbono: su disponibilidad comercial en pequeñas cantidades y el coste del mecanizado si no se parte de barra. En principio estos aceros tienen un bajo contenido en carbono, pero su comportamiento frecuentemente poco satisfactorio frente al desgaste se ha achacado exactamente a esa circunstancia [5]. Es por ello que, quizás, un acero al que

se le pueda dar este tipo de tratamiento térmico pero tenga un contenido en carbono superior quizá podría superar la desventaja señalada, como algunos resultados parecen indicar [10].

Para estudiar el efecto del tratamiento bainítico sobre la rodadura se ha preferido no buscar una fundición bainítica y se ha elegido el acero C55 al que se le aplicarán dos temple isoterms en sales, a 400 °C y a 350°C, para obtener durezas en el rango de los 430 HV y los 530 HV respectivamente. Disponer de dos niveles de endurecimiento tan distanciados permitirá discernir si el nivel de endurecimiento del acero bainítico es un factor determinante o no.

Las microestructuras que se obtienen de estos temple son las que muestra la figura 93.

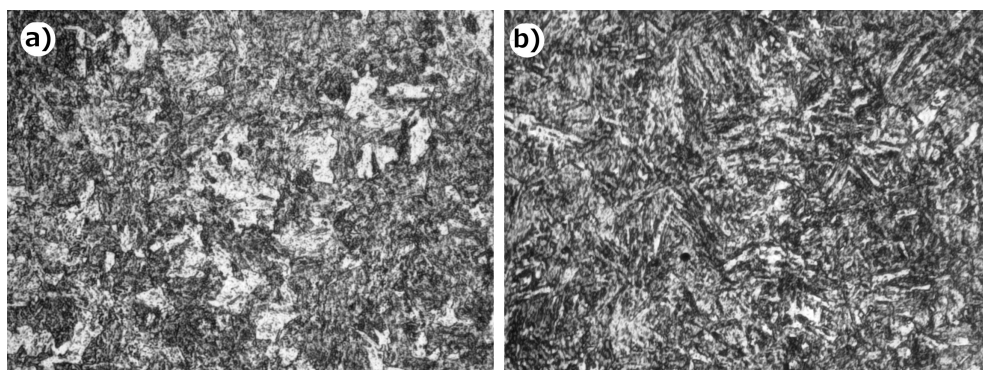


Figura 93: Microestructura del acero C55 con tratamiento isoterms a 400°C (a) y a 350°C (b) x400.

Para caracterizar bien el efecto del uso de aceros bainíticos se decidió no solamente cambiar uno de los discos por este acero, sino que se llevarán a cabo ensayos con las siguientes combinaciones:

1. Acero C55 con acero bainítico de 430HV.
2. Acero C55 con acero bainítico de 530HV.
3. Acero bainítico de 430HV con acero bainítico de 430HV.
4. Acero bainítico de 530HV con acero bainítico de 530HV.

5. Acero bainítico de 530HV con acero bainítico de 430HV.

Junto a la combinación inicial de los aceros al carbono C45-C55, esto da lugar a 6 niveles de ensayo.

3.1.2.- PRESIÓN DE CONTACTO

Se realizarán ensayos en 4 niveles de presión, de forma que se cubra una amplia gama de los valores reportados en la bibliografía. Los valores elegidos para la presión máxima de contacto son 900, 1200, 1500 y 1800 MPa.

Surge aquí un problema importante debido a que esas presiones (P'_{Nmax}) aparecen en la práctica en materiales ferroviarios y no en los elegidos para llevar a cabo los ensayos, cuyas propiedades resistentes son menores. Para superar este escollo se ha optado por disminuir la presión máxima de contacto para mantener la relación entre dicha presión y la carga de rotura del material menos resistente (el C45). De esta forma, las presiones de ensayo (P_{Nmax}) se calculan a partir de la ecuación:

$$\frac{P'_{Nmax}}{880} = \frac{P_{Nmax}}{675} \quad (45)$$

Quedando:

$$P'_{Nmax} = 900 \text{ MPa} \rightarrow P_{Nmax} = 688.5 \text{ MPa}$$

$$P'_{Nmax} = 1200 \text{ MPa} \rightarrow P_{Nmax} = 918.0 \text{ MPa}$$

$$P'_{Nmax} = 1500 \text{ MPa} \rightarrow P_{Nmax} = 1147,5 \text{ MPa}$$

$$P'_{Nmax} = 1800 \text{ MPa} \rightarrow P_{Nmax} = 1383.7 \text{ MPa}$$

Cuando se emplean los aceros bainíticos esta reducción de presiones puede resultar innecesaria, pero se mantiene con el fin de que los resultados que se obtengan sean directamente comparables.

Aunque no se indique explícitamente, todos los resultados obtenidos se han relacionado con las presiones equivalentes, por ser estas las realmente usadas en los ensayos. Téngase esto en cuenta a la hora de

trasladar los resultados al estudio de aceros ferroviarios, con mejores características mecánicas.

3.1.3.- CONTAMINANTES

Aunque son muchos los contaminantes que pueden aparecer en la vía, se ha preferido usar sólo aquellos que aparecerán casi invariablemente en cualquier vía y cuya importancia es de primer grado: el aceite y el agua, que se sumarán a los ensayos realizados en ausencia de contaminantes.

Hay otros contaminantes que aparecen con frecuencia en las vías y que son estudiados también por algunos investigadores, como pueden ser la arena o las hojas, pero sus características introducirían una serie de variables que exceden el alcance del presente trabajo: tamaño de grano y composición en un caso y humedad de las hojas en el otro, por sólo citar las más importantes [147][160].

El agua empleada será agua destilada y el aceite será del tipo usado para lubricación de engranajes, con una viscosidad SAE 80W. En ambos casos el líquido se añadirá al contacto mediante una botella dotada de grifo de goteo que irá colocada sobre el punto de contacto entre los discos. El grifo se regulará de modo que caiga una gota de líquido cada 6 segundos. Con aceite esto lleva a una situación en la que se va a obtener una lubricación hidrodinámica, pero se ha preferido a lubricar sólo inicialmente o cada mucho más tiempo con el fin de tener las mismas condiciones de goteo que en los ensayos con agua.

Esto supone añadir 3 niveles de ensayo.

3.1.4.- DESLIZAMIENTO

El valor de los deslizamientos se ha escogido de forma que se pueda reproducir la curva de adherencia de una forma precisa. Para ello se ha elegido usar 7 niveles de deslizamiento: 0.1, 0.25, 0.5, 0.75, 1, 2 y 5%. De acuerdo la forma habitualmente encontrada para las curvas de adherencia, valores más altos dejan de tener mucho sentido, puesto que se esperan sólo cambios mínimos en el coeficiente de tracción.

Esta cantidad permitirá detectar con una precisión adecuada el valor máximo del coeficiente de tracción y ver como evoluciona la curva de adherencia y el daño que reciben las probetas a bajos deslizamientos, que es cuando más rápidamente aumenta el coeficiente de tracción.

Es cierto que pueden encontrarse valores más altos de deslizamiento en la vía (hasta el 10% es un valor típico cuando el contacto es con el ala de la rueda [232]), pero no se espera que ello introduzca cambios en los resultados respecto a los que se encontrarán con deslizamientos del 5%.

3.2.- RESULTADOS A ESTUDIAR

Caracterizar bien los ensayos a realizar requiere del estudio del mayor número posible de parámetros. Dados los medios disponibles y la lógica necesidad de poner límites al trabajo a realizar se han seleccionado como resultados a evaluar en este estudio los siguientes:

- Coeficiente de adherencia.
- Velocidad de desgaste.
- Cambios que sufre la superficie de los discos (aspecto visual y microscópico).
- Rugosidad tras el ensayo.
- Endurecimiento superficial.
- Deformación superficial.
- Aparición de grietas.
- Aumento de temperatura en las superficies en contacto.
- Emisión acústica asociada al ensayo.

Esta selección incluye tanto los resultados más habitualmente estudiados por la comunidad investigadora, como el coeficiente de adherencia, el desgaste o la aparición de grietas, junto con otros para los que la información disponible es más escasa, como el endurecimiento o la magnitud de la deformación plástica que aparece como resultado de las fuerzas actuantes en la rodadura (apartado 2.6).

Cada uno de los resultados se estudiará por separado, relacionando su valor con los parámetros de control y con otros resultados

3.3.- PROCEDIMIENTO DE ENSAYO

El primer paso del ensayo consiste en asegurar la limpieza de las superficies en contacto. Aunque los discos a ensayar se han limpiado previamente en un baño de ultrasonidos, durante el montaje de los mismos en los ejes pueden volver a ensuciarse, por lo que una vez montadas en sus respectivos ejes y con los ejes girando se vuelven a limpiar con un papel empapado en alcohol, método que parece dar buenos resultados según las pruebas realizadas por Markov [159].

Una vez conseguida la limpieza necesaria es preciso decidir si los ensayos se van a hacer de forma continua o parando cada cierto tiempo para tomar datos. Parar el ensayo permite trazar una evolución temporal o con la distancia deslizada de la dureza superficial u otros de los parámetros estudiados; pero hacerlo también introduce una nueva variabilidad debido, sobre todo a que se desmonta el disco y el apoyo puede ser diferente y a que para obtener algunos datos sería necesario limpiar la superficie. El efecto de estas paradas puede verse en la figura 94, donde se aprecian las claras diferencias entre hacer un ensayo con o sin paradas [192]

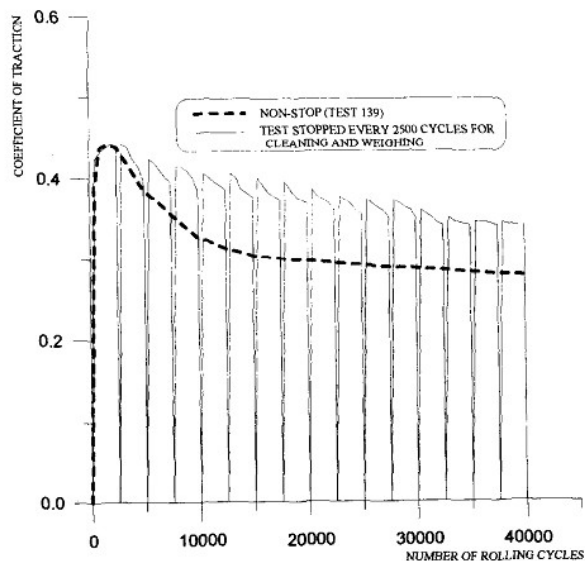


Figura 94: Variación en la curva de tracción entre un ensayo con paradas y sin ellas [192]

Por ello, junto a las dificultades que podrían aparecer a la hora de volver a tener exactamente las mismas condiciones de contacto si se desmontan los discos, se decide no interrumpir en ningún momento los ensayos para tomar medidas de la evolución de la dureza superficial u otros parámetros.

También es preciso comentar que hay autores [159] que recomiendan comenzar el ensayo solamente tras una serie de ciclos (menos de mil) que hayan permitido eliminar cualquier contaminación remanente y estabilizar el sistema. Aunque esto tiene su razón de ser se ha preferido no eliminar los ciclos iniciales del ensayo, ya que también es difícil decidir en que momento se ha alcanzado la estabilidad buscada.

En lo que respecta a la duración de los ensayos, éstos se alargarán hasta completar 25000 ciclos, tiempo que, de acuerdo con la bibliografía, se considera bastante como para que el desgaste sufrido por los discos sea suficiente para que la incertidumbre de la medida no sea algo relevante, y todos los cambios que sufra el sistema (deformación, etc) se hayan estabilizado [60][233].

La velocidad de rotación nominal será la de salida de los motoredutores: 416 rpm, igual o similar a la usada por otros autores. Sobre esa velocidad se variará la del disco más estrecho para conseguir el deslizamiento deseado.

Con este planteamiento para los ensayos es evidente que se pueden obtener buenos datos para el desgaste, un valor del coeficiente de adherencia estabilizado en el tiempo o para cualquier otro resultado que requiera de un tiempo elevado, relativamente hablando, de ensayo. No obstante, esto implica que cada ensayo se hará en distintos días, con distintas probetas que cada vez tendrán un apoyo inicial entre ellas diferente y con una multitud de variables de influencia que no se controlarán totalmente, aunque algunas si se medirán o se sabe que se mantendrán dentro de un determinado rango, como la temperatura ambiental o la del agua que se añade al contacto. En cualquier caso esto puede ser suficiente para aumentar la dispersión de resultados y dificultar el análisis de los mismos, sobre todo en aquellos que sean muy sensibles, como el aumento de temperatura en los discos.

Para minimizar este problema se ha optado por realizar otra serie de ensayos en los que, para cada combinación de materiales, presión y contaminante en el contacto se irá aumentando de forma escalonada el deslizamiento cada vez que se considere que el coeficiente de tracción se ha estabilizado. Esto no permite evaluar los cambios que se producen en los discos o la velocidad de desgaste, pero va a posibilitar obtener una buena secuencia de datos en lo referente a la variación de la temperatura superficial o del coeficiente de tracción con el deslizamiento. Además, una de las formas más habituales de obtener una curva de adherencia es ir aumentando paulatinamente el deslizamiento manteniendo constantes el resto de variables.

Naturalmente, hacer esto implica añadir un nuevo ensayo por cada 7 de los individuales, con una duración, además, bastante superior.

3.3.1.- REDUCCIÓN DEL NÚMERO DE ENSAYOS

Puede ocurrir que algunas condiciones de ensayo sean tan similares que no haya variación en cuanto a los resultados obtenidos. Si tal cosa ocurre y se tiene seguridad de ello puede ser posible eliminar cierta cantidad de ensayos, puesto que no aportarán datos adicionales al estudio.

Para asegurar que puede detectarse esta circunstancia los ensayos se harán alternando las condiciones más dispares. Es decir, un ensayo a bajo deslizamiento será seguido por otro a alto deslizamiento y uno a baja presión por otro a alta presión. Si en algún caso resulta que las diferencias en los resultados para los distintos casos son despreciables no se harán los ensayos intermedios. En caso contrario, el resto de ensayos se llevarán a cabo de forma aleatoria con el fin de minimizar o, quizá mejor expresado, diluir la influencia de las variables externas no controladas.

Otra reducción en el número de ensayos es la que se hará a la hora de comprobar la influencia del uso de aceros bainíticos. Este parámetro de control supone 6 niveles de ensayo y, si bien es interesante y se precisa tener una amplia matriz de condiciones de ensayo para los ensayos entre aceros al carbono, no se considera que disponer de tan gran cantidad de ensayos también para los aceros bainíticos aporte demasiado al desarrollo de la técnica. Teniendo además en cuenta que si se hacen primero los ensayos

entre aceros al carbono se podrán seleccionar adecuadamente las condiciones de ensayo más interesantes, no se cree tampoco que se vaya a perder realmente información importante. Naturalmente, los resultados que se vayan obteniendo indicarán si existe la necesidad de ampliar el número de ensayos.

3.4.- PRIMERA TANDA DE ENSAYOS

La primera tanda de ensayos corresponde al estudio del contacto entre dos aceros al carbono sin tratamiento térmico.

Los ensayos se llevarán a cabo de acuerdo con la variación de parámetros de la siguiente tabla:

| | | | | | | |
|---|------|----------|------|--------|------------|--------|
| Material – 1 nivel (otros 5 en la segunda tanda) | | | | | | |
| Acero al carbono – Acero al carbono | | | | | | |
| Estado superficial – 3 niveles | | | | | | |
| En seco | | Con agua | | | Con aceite | |
| Deslizamiento (%) – 7 niveles | | | | | | |
| 0.10 | 0.25 | 0.50 | 0.75 | 1.00 | 2.00 | 3.00 |
| Presión máxima de contacto (MPa) – 4 niveles | | | | | | |
| 688.5 | | 918.0 | | 1147.5 | | 1383.7 |

Tabla 12.-Niveles y valores de cada parámetro de control usados en la primera tanda de ensayos.

Se llevarán a cabo dos tipos de ensayo, el primero de ellos tendrá una duración de 25000 ciclos (aproximadamente 1 hora) y se realizará uno por cada combinación de los parámetros estudiados. Esto permitirá evaluar la influencia de los mismos de forma clara. El segundo tipo de ensayos se hará, tal y como ya se ha comentado, variando el deslizamiento (pero no la probeta) de forma escalonada, de forma que se cubran los distintos valores de deslizamiento y presión. El cambio en el escalón se hará cuando se estime que se ha alcanzado una cierta estabilización del coeficiente de tracción. La razón de hacer estos ensayos es que muchas de las curvas de adherencia que se presentan en la bibliografía se generan de esta manera.

La combinación de estos parámetros lleva a un total de 84 ensayos individuales de aproximadamente una hora de duración y otros 12 escalonados de duración indeterminada. Además, se repetirán, de forma aleatoria, unos pocos de ellos con el fin de valorar su repetibilidad.

3.5.- **SEGUNDA TANDA DE ENSAYOS**

La segunda tanda de ensayos corresponde al estudio de la influencia del uso de aceros baibíticos endurecidos en la rodadura. Al igual que en la primera tanda, se hará una serie de ensayos de 25000 ciclos para cada combinación de parámetros y otra tanda variando el deslizamiento.

El análisis de los distintos resultados obtenidos en la tanda 1 en función de los parámetros de control y de las relaciones y antagonismos que puedan existir entre ellos llevó a elegir los siguientes niveles para esta fase de los ensayos y dejar el número de ensayos en una cantidad manejable:

| Material - 5 niveles (+1 de la 1ª tanda) | | | | |
|---|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|
| Acero al carbono - Bainítico 430 HV | Acero al carbono - Bainítico 530 HV | Bainítico 430 HV - Bainítico 430 HV | Bainítico 530 HV - Bainítico 530 HV | Bainítico 430 HV - Bainítico 530 HV |
| Estado superficial – 3 niveles | | | | |
| En seco | | Con agua | | Con aceite |
| Deslizamiento (%) - 3 niveles | | | | |
| 0.25 | | 0.75 | | 01/02/00 |
| Presión máxima de contacto (MPa) – 2 niveles | | | | |
| 688.5 | | | 1147.5 | |

Tabla 13.- Niveles y valores de cada parámetro de control usados en la segunda tanda de ensayos.

Las presiones se han reducido a 2 y los deslizamientos a 3, uno antes del máximo de la curva de adherencia, otro en el máximo y el tercero en la zona estable. Las presiones se han escogido para tener unos ensayos en los que las tensiones tangenciales alcanzaron, durante la primera fase, un valor de saturación (1147.5 MPa) y otro en el que no se alcanzó (688.5 MPa). La descripción de esta saturación se encuentra en el apartado 5.1.1 de esta tesis.

La tabla 13 se usará para los ensayos individuales. Los escalonados,

dado que su número es mucho menor, se harán igual que en la fase 1, recorriendo en el mismo ensayo los 7 niveles de deslizamiento establecidos en la tabla 12.

En base a la insignificante diferencia en cuanto a los resultados obtenidos cuando se lubrica el contacto con aceite se ha decidido eliminar gran parte de estos ensayos y realizar solamente los que se hacen de forma escalonada y los más distantes en cuanto a sus características.

4:

DISEÑO DEL EQUIPO DE ENSAYOS

4.- DISEÑO DEL EQUIPO DE ENSAYOS

En este capítulo se describen las características del equipo diseñado para realizar los ensayos correspondientes a la presente investigación.

Los planos del equipo pueden verse en el Anexo 1 de esta tesis. A continuación se hace un resumen de sus características.

4.1.- DISEÑO Y CARACTERÍSTICAS

El equipo diseñado ha sido de disco gemelo, con un tamaño que permite su uso en laboratorio, no tanto para estudiar el contacto en vía entre un raíl y una rueda como para estudiar el fenómeno de rodadura en sí mismo. Es por ello que, al igual que hacen los distintos autores que usan equipos de estas dimensiones, habrá un alejamiento inevitable de las condiciones reales de contacto en vía (fuerzas, área de contacto, materiales, geometría, ...). Por el contrario se obtiene un mayor control sobre las características del contacto y sobre los parámetros de influencia.

La figura 95 muestra el equipo diseñado. En su construcción se han empleado 2 motores de 2905 rpm y 3 kW cada uno. Estos motores llevan acoplados sendos reductores de velocidad, con lo que la velocidad nominal a la que se hacen los ensayos es de 416 rpm, muy similar a la usada por algunos autores [49][36]. Por otra parte, esto eleva el par de salida de los motores hasta los 65 N·m, lo que implica que, con las dimensiones de las probetas que se usarán y en el caso extremo de que el coeficiente de tracción fuese 1, la fuerza máxima normal que se podría aplicar al contacto sería de 3700 N.

Estos motores están controlados por dos variadores de frecuencia de ABB, modelo ACS355, lo que permite controlar de forma exacta la velocidad de ambos y, por ende, el deslizamiento que aparecerá entre los dos discos ensayados. Naturalmente, hay un cierto límite a la velocidad a la que se pueden hacer girar los discos sin que el calentamiento de los motores sea excesivo. Este inconveniente puede superarse eliminando los reductores de velocidad acoplados a los motores, con lo que el control de velocidad se haría alrededor de la velocidad nominal de 2905 rpm. Como contrapartida,

el par nominal se ve reducido a 10 N·m.

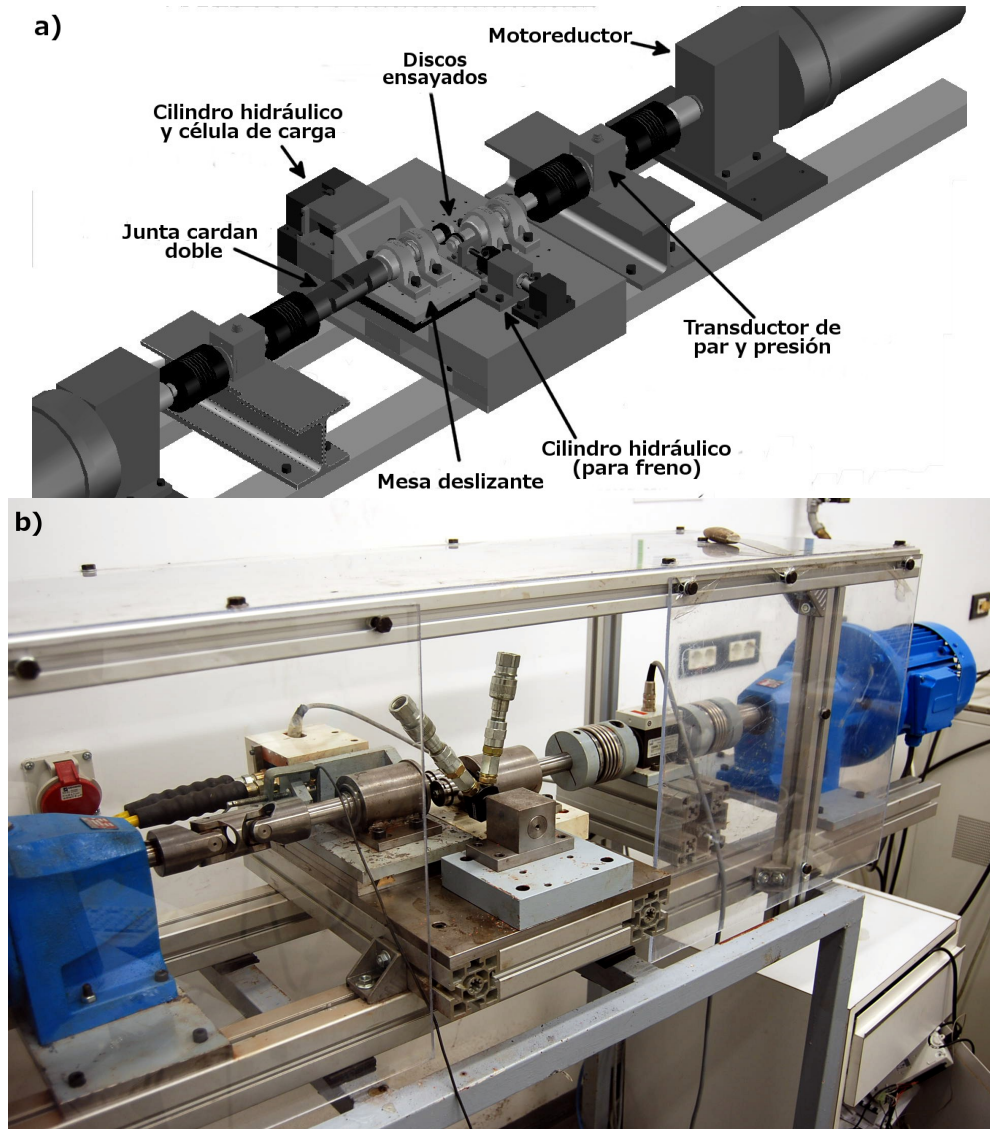


Figura 95.- Esquema de diseño inicial (a) y fotografía (b) del equipo construido.

Estos motoredutores están unidos con los ejes que soportan los discos a ensayar a través unas uniones flexibles que permiten transmitir el

movimiento de rotación sin que pequeños desalineamientos introduzcan modificaciones en el par medido. En uno de los casos, el del disco sobre el que no se aplica carga normal directamente, estas uniones son de tipo flexible. Hay dos y entre ellas se encuentra colocado un transductor de par y presión. En el otro caso, el del disco sobre el que actúan las fuerzas normales se ha usado una unión cardan doble. Las razones se explican en los siguientes párrafos.

Para la aplicación de las fuerzas normales al contacto se decidió emplear un pequeño actuador hidráulico de doble efecto Enerpac BD18202 con una capacidad de 17 kN, del que ya se disponía. Este valor es muy superior a lo que se va a necesitar en los ensayos, pero permitirá usar el equipo para otro tipo de ensayos (frenada, por ejemplo). El actuador va colocado en un alojamiento que le permite deslizarse en su interior. La fuerza aplicada por este cilindro reacciona, en su parte trasera, contra una célula de carga normal que es la encargada de medir la fuerza aplicada.

Para permitir que un disco apoye correctamente contra el otro cuando se le empuje, incluso cuando aparece desgaste o deformación y cambian sus dimensiones, y también para permitir el desmontaje de los mismos, lo que requiere separarlos, los rodamientos que soportan uno de los ejes van montados sobre una mesa deslizante. Esta mesa lleva dos carriles en forma de cola de milano fabricados en bronce para asegurar un bajo coeficiente de fricción y es la razón por la cual en este eje se usa una unión cardan para enlazar con el motor en lugar de una unión flexible.

Aunque no se ha usado en estos ensayos, el equipo tiene la posibilidad de usar un pequeño cilindro hidráulico (Enerpac PTSD-22) de 5.3 kN para, actuando sobre el otro disco, realizar ensayos de frenada. Asimismo, en la zona de la bancada donde van emplazados los discos a ensayar hay una serie de agujeros roscados para permitir la colocación de distintos accesorios que pudiesen añadirse al sistema con posterioridad. Estos mismos agujeros son los que se han empleado para colocar unas varillas de soporte para los botes de goteo regulable con los que se aportó el agua y el aceite durante los ensayos lubricados.

La presión hidráulica se aplica a los cilindros mediante un grupo hidráulico dotado de 6 tomas de presión. Se trata de un equipo que ya existía

y que suele emplearse en otro tipo de ensayos. Las salidas de presión de este equipo llevan electroválvulas que permiten la regulación de la presión y van equipadas con transductores, de forma que es posible conocer en todo momento la presión aplicada.

Antes de seguir conviene hacer una descripción del sistema de anclaje de las probetas a los ejes. Para ello se ha optado por usar una chaveta cilíndrica. Ello impide que los discos queden fuertemente trabados contra el eje tras el ensayo, lo que sucedería si los discos fuesen roscados, y además abarata los costes ya que no es preciso llevar los discos a una mortajadora, como habría que hacer con una chaveta rectangular, y se puede hacer directamente en un torno si éste lleva cambio automático de herramienta. Para evitar que el disco pueda salirse del eje se coloca una arandela de retención en el extremo del eje. Dado que la zona habilitada en el eje para la colocación de los discos es más ancha que ellos, su posición se mantiene mediante el uso de otros discos de menor diámetro que rellenan los huecos existentes.

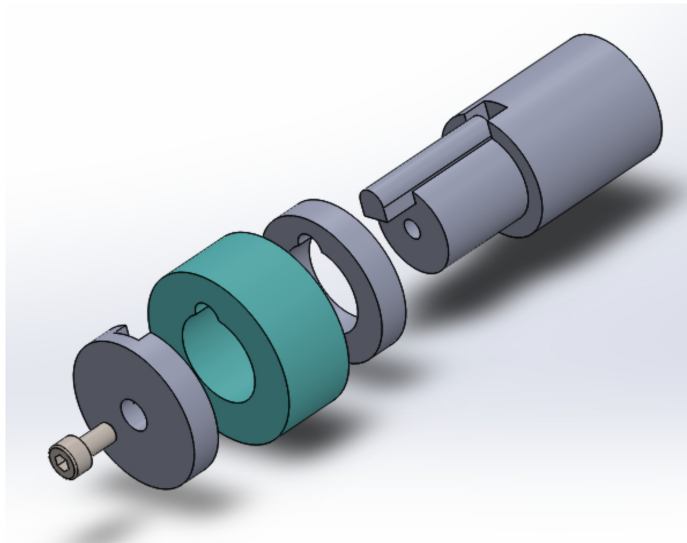


Figura 96.- Esquema de montaje de los discos de ensayo (en azul) en los ejes. Los otros discos que se ven, de posicionamiento y cierre tienen menor diámetro.

4.2.- SENSORES Y SISTEMA DE TOMA DE DATOS

El equipo de ensayos está dotado de una serie de transductores y sensores que permiten controlar el ensayo y la toma de datos, tanto para analizarlos y obtener lo que después serán los resultados como para verificar a posteriori que el ensayo se llevó a cabo correctamente. Todas las señales producidas por estos sensores son llevadas hasta un equipo de adquisición de datos modelo USB-NI 6210 fabricado por National Instruments, el cual dispone de 16 entradas analógicas y es capaz de trabajar con una frecuencia de muestreo de 250 kHz (a repartir entre el número de entradas activas). Este equipo va conectado a un ordenador portátil ya que no es capaz de funcionar de forma autónoma.

Para medir la fuerza normal aplicada a los discos se ha usado una célula de carga normal fabricada por HBM del tipo RTN 2.2, con una capacidad de carga de 22 kN y una sensibilidad de 2.85mV/V. Esta célula se encuentra unida a un amplificador de señal del mismo fabricante y modelo 1-AE101. El amplificador permite la regulación del fondo de escala, de forma que el sistema de medida se configuró para dar una señal de salida de 5 voltios con una carga de 5 kN.

La medición del par que aparece entre los dos discos y de la velocidad del eje se hace mediante un mismo transductor, del modelo T20WN-100NM del fabricante HBM. Este transductor es capaz de generar 360 pulsos por cada revolución, con lo que la precisión de la señal que va a generar para la medida de la velocidad de rotación va a ser excelente. Su capacidad para medir par llega hasta los 100 Nm, más que suficiente para el par que son capaces de ejercer los motores con el reductor acoplado.

El par se mide directamente ya que la salida que proporciona el acondicionador de señal al que va conectado el transductor es en voltios con un fondo de escala de 10 V. No obstante, la salida de velocidad es en forma de pulsos. Para convertir esta señal en una tensión se optó por fabricar un circuito conversor basado en el integrado LM331. En particular, se usó el circuito de la figura 97, que aparece en las hojas de características del LM331 fabricado por Texas Instruments.

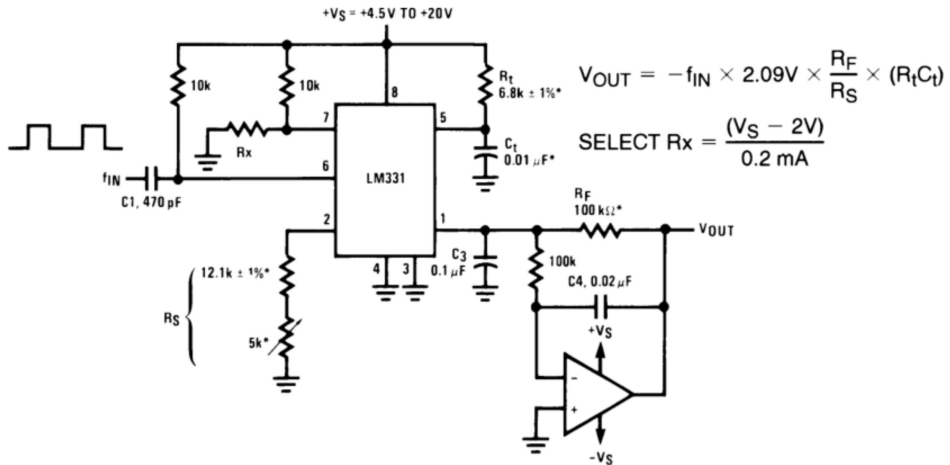


Figura 97.- Circuito basado en el LM331 usado para convertir la salida en forma de pulsos del transductor de velocidad rotacional a voltaje.

Los componentes del circuito se seleccionaron para tener una salida de 10 voltios cuando la entrada sea de 10 kHz. Tras su fabricación se comprobó que tenía la precisión suficiente para los ensayos que había que realizar. En la figura siguiente puede verse como la señal de salida es lo bastante precisa como para detectar sin problemas el cambio desde un deslizamiento del 0.10 a otro del 0.25%, lo que se traduce en una diferencia de tan sólo 0.624 rpm.

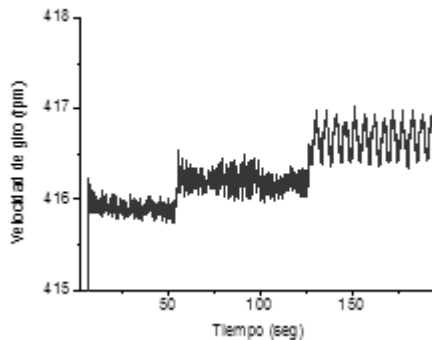


Figura 98.- Precisión de la medida de velocidades de rotación del eje tras una regulación de cero y la conversión de pulsos a voltaje sin filtro de ruido. Valores de velocidad medidos con el 0%, 0.1% y 0.25% de deslizamiento.

Ya que el grupo compresor de aceite que se usó en los ensayos

disponía de sensores de presión con salida de voltaje hasta 5 voltios, éstas también se llevaron al sistema de toma de datos y se usaron para verificar la aplicación de cargas.

El sensor empleado en la medición de la temperatura de los discos fue un termómetro de infrarrojos, enfocado sobre una banda pintada de color negro sobre la superficie de uno de los discos ensayados (véase el apartado 4.3). El equipo usado corresponde al modelo RAYMMLTSSCF1 fabricado por Raytek, seleccionado por tener una apertura de foco de 1.1 mm a una distancia de 76 mm, valores muy apropiados tanto por la distancia a la que en la práctica puede colocarse el termómetro del disco como por esa apertura tan pequeña que asegura que el punto de medición va a estar dentro de la banda pintada, que tiene tan solo unos 3 mm. Después de unos cuantos ensayos iniciales se estimó que la máxima temperatura que podría alcanzarse en los ensayos no superaría los 100°C, por lo que el fondo de escala del termómetro se reguló entre -40 y 100°C.

Con este tipo de termómetro es preciso conocer el valor del coeficiente de emisividad de la superficie. Como se mide en una franja de pintura negra, este coeficiente se ha estimado en 0.95, valor bastante acertado como se comprobó midiendo a la vez con el termómetro de infrarrojos sobre un termopar pintado de negro y comparando ambas medidas. La salida que proporciona este termómetro es una señal de 4-20 mA, por lo que, igual que en el caso de la velocidad de rotación ha sido necesario fabricar un convertidor mA-voltaje. Para ello se ha optado por el circuito de la figura 99, basado en el uso de dos amplificadores operacionales. El error de la conversión, de acuerdo con el valor de temperatura proporcionado por el termómetro en su propia pantalla y el visualizado en el ordenador, es de menos de 1 °C, lo que se estima más que suficiente para este estudio.

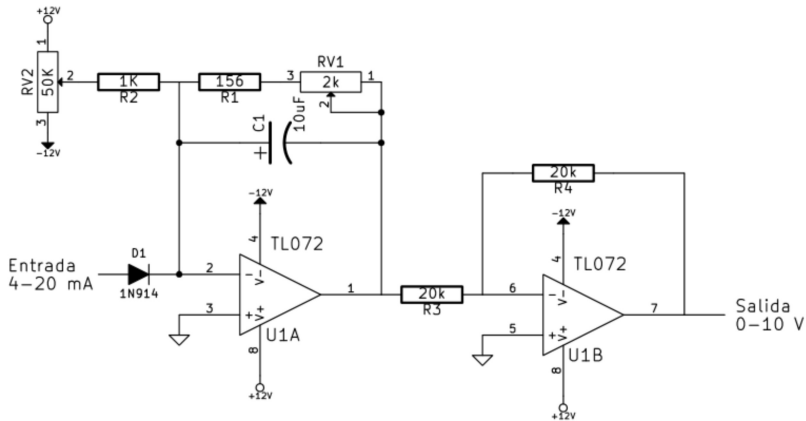


Figura 99.- Circuito empleado para convertir la señal de temperatura desde mA a voltaje.

Se podría haber usado una cámara de infrarrojos, pero Lewis[202] ya reconoció los problemas que aparecen al tratar de medir la temperatura en la banda de rodadura en unos ensayos de discos gemelos con una cámara termográfica. En la figura 100 puede verse el efecto de la orientación de la superficie respecto al sensor.

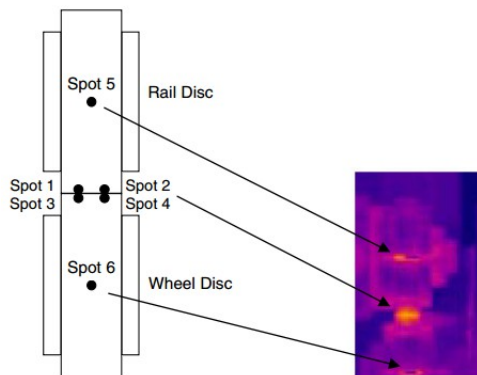


Figura 100: Efecto de la orientación de la superficie en una medición termográfica [202].

Además hay una importante variabilidad de la emisividad de la superficie, tanto por la inherente dispersión que tienen las superficies de acero como por los cambios que se producen en ella debido a los fenómenos tribológicos a que está sometida (oxidación, cambios de rugosidad,

partículas adheridas,...). La única salida viable que adoptó el autor fue realizar los cálculos para todo el rango de emisividades medidas, desde 0.12 a 0.9, cosa que limita bastante el uso de los resultados obtenidos.

Esta misma variación de la emisividad, que no puede dejarse de lado al avanzar el ensayo es lo que ha llevado a elegir no medir sobre la banda de rodadura y hacerlo sobre la franja pintada, que se mantiene inalterada durante todo el ensayo.

El equipo de emisión acústica usado fue el modelo AMSY-5 de Vallen Acoustic Group. Se empleó un sensor VS-150M resonante a 150 kHz. La configuración del sistema de toma de datos fue la siguiente:

| | |
|--------------------------|--------|
| Umbral de detección | 34 dB |
| Tiempo de rearme | 3.2 ms |
| Tiempo de discriminación | 0.4 ms |

Tabla 14.- Parámetros del sistema de adquisición de datos de E.A.

Aunque estos sensores ya han sido usados con anterioridad para estudiar el contacto rueda-raíl [222], se ha hecho sobre una superficie que permanecía fija y simulaba el raíl. Que la superficie sea fija es un requisito para poder usar sensores normales sin que los cables que los unen al equipo de toma de datos se enrollen por el movimiento de rotación y acaben rompiéndose. Para ello se precisa que el equipo de ensayos esté basado en uno de los diseños que se presentan en las figuras 89 y 90. En este último caso sería necesario impedir que el anillo más grande girase, como se hizo en la referencia citada, lo que impidió la existencia de deslizamiento en el contacto y limitó el ensayo a rodadura pura.

Otra posibilidad es usar sensores inalámbricos. Tales sensores existen pero incluyen tanto el propio sensor como el amplificador de señal y el sistema de transmisión de datos, por lo que su tamaño aumenta considerablemente. Esta circunstancia hace imposible su uso en la máquina de discos gemelos que se ha diseñado, que usa unas probetas de tan solo 35 mm de diámetro, aunque podría usarse en ensayos en vía o a escala real.

Aunque no sea posible la monitorización directa de los discos, la

emisión acústica, colocando los sensores en alguna pieza cercana a la zona a vigilar, ha demostrado ser adecuada para evaluar el buen estado de funcionamiento de un sistema mecánico [210] e incluso para aportar información en ensayos de disco gemelo [231]. Es evidente que, si se emplea de esta forma, no se va a obtener ninguna información que permita estudiar el fenómeno de rodadura en sí mismo, pero como todo el equipo de ensayos va a verse afectado por lo que ocurra en el contacto entre los discos, las ondas elásticas que se detecten en cualquier punto de él van a cambiar en cantidad y características al mismo tiempo que lo hacen las propiedades de los discos en contacto y su dinámica, por lo que es posible encontrar una relación entre la emisión acústica que se detecte y el estado de la rodadura.

Teniendo en cuenta esta posibilidad, un sensor se ancló a la mesa deslizante mediante un pequeño sargento y para mejorar el contacto se aplicó una capa de grasa de silicona a la superficie del sensor. La elección de este punto para el anclaje del sensor tiene su razón de ser. Dado que tampoco es posible colocar el sensor en los ejes que sustentan los discos a ensayar y que cualquier otra zona del equipo está separada de los discos por rodamientos, el mejor punto será aquel más sensible a la severidad del contacto, y ese quizá es la mesa deslizante, cuya posibilidad de oscilar sobre las guías a las que va sujeta es elevada. De esta forma se espera obtener la máxima cantidad de señales posible.

Como no se puede establecer ninguna relación entre lo que ocurre en los discos durante la rodadura y las características de las señales detectadas se decidió no grabar la forma de las ondas detectadas, con lo que el volumen de los archivos generados también se reduce notablemente.

4.3.- PROBETAS

El tamaño del equipo de ensayos diseñado impone un determinado tamaño a las probetas a ensayar, encontrándose el valor más adecuado alrededor de los 35 mm de diámetro, que será el usado en esta tesis. En cualquier caso, las probetas obtenibles a partir de un raíl (en caso de que se use material ferroviario) están limitadas a un diámetro de unos 47 mm .

Respecto al resto de la geometría, se ha optado por usar dos discos diferentes, cada uno con un ancho, de forma que aunque aparezcan desviaciones en la colocación entre uno y otro disco el contacto se mantenga igual. Queda por elegir entre las dos opciones de contacto que se presentan en la figura 101:

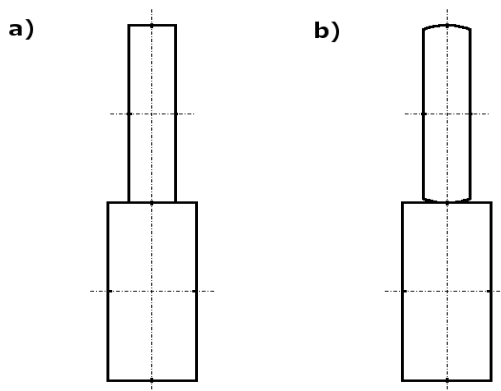


Figura 101: Vista frontal de las dos opciones de contacto propuestas. a: Banda. b: Elipse

Ambas opciones tienen sus ventajas e inconvenientes. La opción del contacto en elipse que produce la figura 101-derecha asegura que se tiene el mismo contacto pese a que existan pequeñas diferencias angulares entre los ejes que soportan ambos discos pero el área de contacto inicial se reduce muchísimo (eso influye en las fuerzas a usar en el ensayo) y los cambios de tamaño de esa área pueden ser de varios órdenes de magnitud por culpa del desgaste a medida que avanza el ensayo. Además, el coste del mecanizado de estas probetas aumenta considerablemente si se desea un buen acabado superficial.

Por su parte, la opción clásica del contacto cilindro-cilindro

introduce un efecto de borde y es muy sensible a las desalineaciones entre ejes.

Dado que la pequeña área de contacto de la primera opción obliga al uso de fuerzas demasiado pequeñas y a que un cambio en el área de contacto demasiado grande podría invalidar los resultados, se ha optado por usar discos sin curvatura en el canto, teniendo siempre especial precaución para que el apoyo entre los dos discos sea lo mejor posible.

Respecto al ancho de los discos se ha optado por fabricar uno de 8 mm (el que hace las funciones de raíl) y otro de 15 mm (que hará de rueda). Que exista esta diferencia de anchos asegura que no van a haber diferencias en los efectos de borde entre distintos ensayos y posibilita que se pinte una franja longitudinal de color negro en el canto del disco al lado de lo que será el camino de rodadura para medir la temperatura con el termómetro de infrarrojos.

5:

RESULTADOS

5.- RESULTADOS

En este capítulo se presentan los resultados obtenidos a partir de los ensayos de disco gemelo que permiten caracterizar tanto la dinámica de la rodadura como los cambios sufridos por los discos ensayados.

En todos los casos se presentarán en primer lugar los resultados obtenidos para los ensayos entre los dos acero al carbono (C45 y C55) para, a continuación, estudiar el efecto de cambiar uno de los discos por un acero bainítico o cambiar ambos.

Todos los resultados se presentarán en forma gráfica frente al deslizamiento (en el eje X) y construyendo una curva para cada presión normal, por ser estas las variables de control continuas de los ensayos que permiten una representación más acertada. Ésta es la forma habitual de hacerlo por parte de la comunidad investigadora y, aunque exista una forma de representación más adecuada, se va a mantener para facilitar la comparación con otros estudios y la rápida comprensión de la información que se presente. Atendiendo a este criterio, la mayor parte de los resultados se han representado en función de la tensión tangencial media o un parámetro muy similar que se ha definido como “parámetro de daño”. El efecto de la adición de agua o aceite al contacto y el uso de distintos materiales se trata en apartados separados.

En este punto es preciso hacer referencia a los ensayos en los que se usó aceite como lubricante. Los primeros resultados que se obtuvieron mostraban que no existían prácticamente diferencias en cuanto a los cambios superficiales que sufrían las superficies de los discos, las cuales pueden reducirse a un simple aplastamiento de la rugosidad, con ausencia de grietas o de un desgaste cuantificable.

En esas circunstancias no era posible obtener más resultados que el coeficiente de tracción y una cuantificación de la disminución de la rugosidad superficial, careciendo de sentido realizar toda la tanda programada de ensayos, más si cabe dado que las pequeñas variaciones en el bajo valor del coeficiente de tracción que se producen no van a tener una importancia práctica relevante para el funcionamiento del vehículo ferroviario. Por todo ello se optó por no realizar más ensayos que los

Resultados

necesarios para comprobar que la situación sigue siendo similar cuando se cambia el tipo de material de los discos.

Es por esta razón que, si bien en la primera fase de los ensayos se han elaborado las curvas completas del coeficiente de tracción, durante la segunda fase solamente se han ensayado solamente unos cuantos puntos.

5.1.- CURVAS DE ADHERENCIA

Las curvas de adherencia son quizás el resultado más importante que puede obtenerse de estos ensayos pues, como ya se comentó, es el valor de la adherencia el que va a controlar la transmisión de esfuerzos entre la rueda y el raíl y, por lo tanto, la circulación del vehículo ferroviario sobre la vía.

5.1.1.- ENSAYOS CON ACEROS AL CARBONO EN SECO

Las figura 102 muestra la evolución del coeficiente de tracción con el número de metros rodados, calculados a partir de la velocidad de rotación nominal de 416 rpm y del diámetro de los discos, para los ensayos realizados con los aceros al carbono C45 y C55 en seco y con las distintas presiones seleccionadas. En la figura 102-D, el ensayo correspondiente al deslizamiento del 0.75% se hizo en 3 fases para poder estimar la evolución de la dureza superficial a medida que va avanzando el ensayo.

En primer lugar es indispensable comentar que los valores del coeficiente de tracción observados una vez las curvas se estabilizan oscilan entre 0.7 y 0.2, dependiendo del deslizamiento y de la presión normal de contacto. Estos valores se encuentran dentro del rango visto en la revisión bibliográfica para ensayos de este tipo en seco (ver apartado 2.2.3), por lo que puede darse por confirmada la posibilidad de usar aceros al carbono como sustitutos de los ferroviarios para estudiar los fenómenos de rodadura sin que la pérdida de representabilidad de los resultados sea importante.

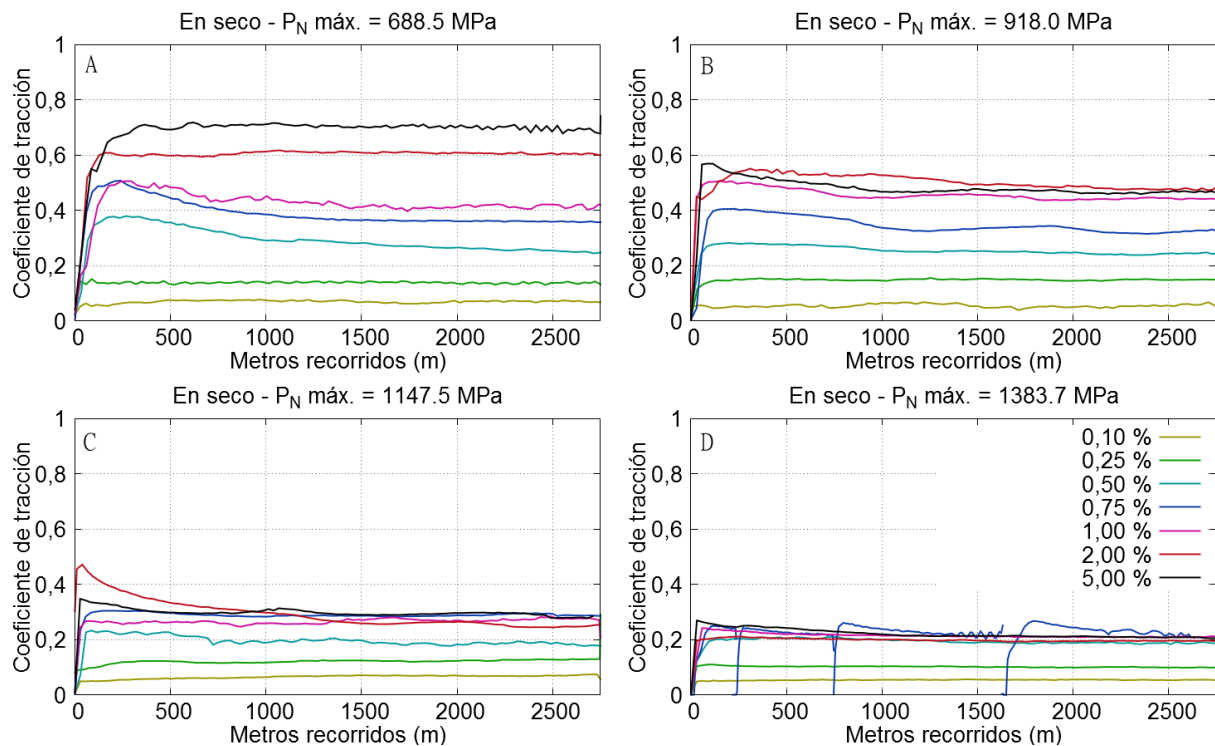


Figura 102.- Evolución del coeficiente de tracción con la distancia para los ensayos realizados en seco entre los aceros C45 y C55 para las distintas presiones y deslizamientos ensayados.

Como puede apreciarse, todas las curvas siguen una evolución similar que, en general, y dejando a un lado los primeros segundos correspondientes al arranque de los motores, puede dividirse en 2 o 3 fases, según el ensayo.

La primera parte de la curva abarca desde el comienzo del ensayo hasta que se alcanza un máximo. Esta fase correspondería con una eliminación de los contaminantes que hayan podido quedar en la superficie tras la limpieza de los discos y con el aplastamiento de las crestas de las rugosidades presentes en las superficies ya que cuando se alcanza el máximo de la curva las superficies empiezan a presentar un aspecto brillante, señal de que la luz se refleja en una superficie mucho menos rugosa.

Una vez se ha alcanzado ese valor máximo el coeficiente de tracción puede experimentar un descenso en su valor (fase 2) hasta alcanzar una cierta estabilización (fase 3) o directamente pasar a la fase 3 de estabilidad, momento en el que una prolongación en el tiempo del ensayo no traerá consigo más que ligeras modificaciones, normalmente a la baja, del coeficiente de tracción.

La existencia de un pico seguido de la fase de estabilización se encuentra asociada normalmente a valores medios y altos de deslizamiento, mientras que las curvas obtenidas para deslizamientos del 0.25% y 0.1% no muestran nunca ese comportamiento, alcanzándose en estos casos una rápida estabilidad tras una suave transición desde el punto de partida.

A partir de los resultados que se presentan en el apartado 5.2 en lo referente al aspecto de las superficies, se puede concluir que la existencia del pico esta relacionada con la presencia de un fenómeno ausente a bajos deslizamiento: el crecimiento de grietas superficiales por ratchetting y su consecuencia inmediata: la aparición de partículas de desgaste por procesos delaminativos. La transformación superficial que supone la aparición de grietas implica dos cosas. Por una parte, requiere tiempo, y este tiempo es el que durará la fase 2. Por otra parte, tales cambios superficiales deben reflejarse de alguna manera en el comportamiento del sistema rodante, y lo hacen provocando un descenso del coeficiente de tracción desde el valor

máximo alcanzado. Una vez las grietas y el desgaste han aparecido se alcanza un equilibrio que hace que el coeficiente de tracción se estabilice.

Esta explicación supondría que la duración de la fase 2 de estabilización coincidiría con el tiempo necesario para que el crecimiento de grietas haga aparecer partículas de desgaste y que la transición será más rápida a medida que más severas sean las condiciones en el contacto.

De las observaciones visuales realizadas durante los ensayos se desprende que la primera afirmación puede ser válida, aunque el hecho de que no se parasen los ensayos para observar con detenimiento el aspecto de las superficies cada cierto tiempo y la escasez de partículas de desgaste que aparecen inicialmente hace difícil identificar con seguridad cuando empiezan a aparecer. La segunda afirmación se manifiesta en la tendencia perceptible en la figura 102 de que a medida que la presión normal y el deslizamiento aumentan, los picos se hacen más agudos y se desplazan más hacia el principio de la gráfica, indicación de una aparición mucho más rápida del desgaste motivada por las mayores presiones normales.

Queda por comentar un hecho que parece contradecir esta explicación. En la figura 102-D (deslizamiento del 0.75%) puede verse como una parada y reinicio del ensayo va acompañada de un pico al inicio, incluso aunque la superficie ya esté deformada, agrietada y haya presencia de partículas de desgaste. Esta misma circunstancia se aprecia en la figura 94, con la salvedad de que los picos desaparecen en la última parte de esta figura, cuando se alcanza la estabilidad en el coeficiente de tracción, como es de esperar según la teoría descrita. La razón de esta discrepancia hay que buscarla en el hecho de que en el ensayo con un deslizamiento del 0.75%, representado en la figura 102-D, los discos se desmontaron de la máquina y se limpiaron cada vez que hubo una parada para medir la dureza superficial. Al recolocarlos fue inevitable que el apoyo y la alineación de los discos variasen ligeramente. Estos pequeños cambios podrían ser suficientes para que aparezca un pico en el coeficiente de tracción hasta que el sistema vuelve a estabilizarse.

Queda ahora por decidir cual es el valor del coeficiente de tracción que deberá escogerse de cada curva para evaluar el coeficiente de tracción en función del deslizamiento y así generar la llamada curva de adherencia.

Algunos autores [153] toman como valor del coeficiente de tracción el correspondiente al pico o, mejor dicho, a la pequeña zona de estabilidad que aparece asociada a ese pico. Por ejemplo, si el ensayo correspondiente al 5% de deslizamiento de la figura 102-B, que presenta un claro pico, se hubiese terminado mucho antes, el resultado habría sido el que muestra la figura 103, con una aparente estabilidad una vez se han alcanzado las 400 revoluciones (casi un minuto de ensayo y 44 metros recorridos). Naturalmente, esto es sólo una apariencia, ya que en poco tiempo más el valor del coeficiente de tracción comienza a descender.

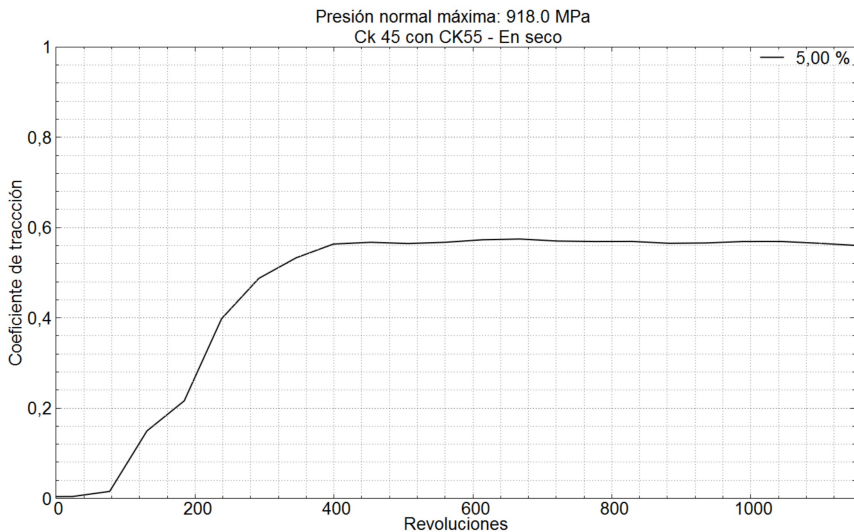


Figura 103.- Estabilidad aparente del coeficiente de tracción durante la parte inicial de un ensayo. El descenso posterior es su valor no es nada despreciable.

Si se desea usar un parámetro que sirva para realizar algún tipo de analogía con el funcionamiento real de un sistema rueda raíl, es preferible no usar un valor tan efímero en el tiempo y que no volverá a darse dado que los cambios tribológicos que suceden en las superficies lo impedirán. La figura 94 es otro buen ejemplo de ello, ya que tras una parada, la curva nunca vuelve a alcanzar el pico inicial.

Además, en los ensayos realizados para esta tesis no siempre se ha obtenido una transición con un pico suave. Es más, en algunos casos los valores pico de las curvas se alejan mucho más de lo teóricamente esperado

que los valores estabilizados posteriores. Esto se explica si se tiene en cuenta que la primera parte del ensayo está muy influenciada por las curvas y tiempos de arranque de los motores que mueven los discos y la precisión con la que se lleva a cabo su alineación. Aunque se han repetido aquellos ensayos en los que los discos no llegaron a apoyar en todo su ancho, en algunos casos el apoyo inicial no fue perfecto, reflejándose en una parte de la banda de rodadura que, a los pocos segundos de comenzar el ensayo, quedaba más cambiada de color que el resto. Esta circunstancia desaparecía en breve tiempo debido al desgaste y a la deformación plástica que tenía lugar y no se considera que tenga una influencia importante en los resultados más allá del pico inicial.

Un caso especial es la curva del 2% de deslizamiento de la figura 102-C, que presenta un pico inicial muy superior al obtenido con otros deslizamientos. Esta discrepancia es inesperada y seguramente se deba a que uno de los motores arrancó algún segundo antes que el otro.

Una vez se ha descartado el valor pico como el punto en el que evaluar el coeficiente de tracción, se ha optado por usar el correspondiente a 10000 revoluciones nominales (1100 metros). Este valor asegura que se ha alcanzado la fase de estabilización y no es lo bastante grande como para que el desgaste, muy elevado en algunos casos, y la deformación plástica cambien demasiado el diámetro de los discos. Con este valor seleccionado se ha confeccionado la figura 104, en la que también se han incluido los coeficientes de tracción obtenidos de los ensayos escalonados. Obsérvese la gran coincidencia entre las curvas obtenidas independientemente de la forma en que se ha llevado a cabo el ensayo. Es de destacar también que en ningún caso, tampoco en los realizados entre aceros bainíticos que se verán después, se ha detectado una caída en el coeficiente de tracción para los deslizamientos probados, lo que ya adelanta que las temperaturas que se alcanzan en el contacto son insuficientes para debilitar los aceros probados.

Estas curvas siguen la forma típica de una curva de adherencia, con un aumento más o menos lineal del valor del coeficiente de tracción hasta que se alcanza una relativa estabilidad. Si se usan las ecuaciones (8) a (10) para ajustar las curvas de adherencia obtenidas, el mejor resultado se obtiene con la ecuación propuesta por Ferrer [40]. En realidad todas se ajustan bien a las curvas experimentales, pero la (9) es capaz de seguir con mucha más

precisión el cambio desde la fase de crecimiento a la de estabilidad.

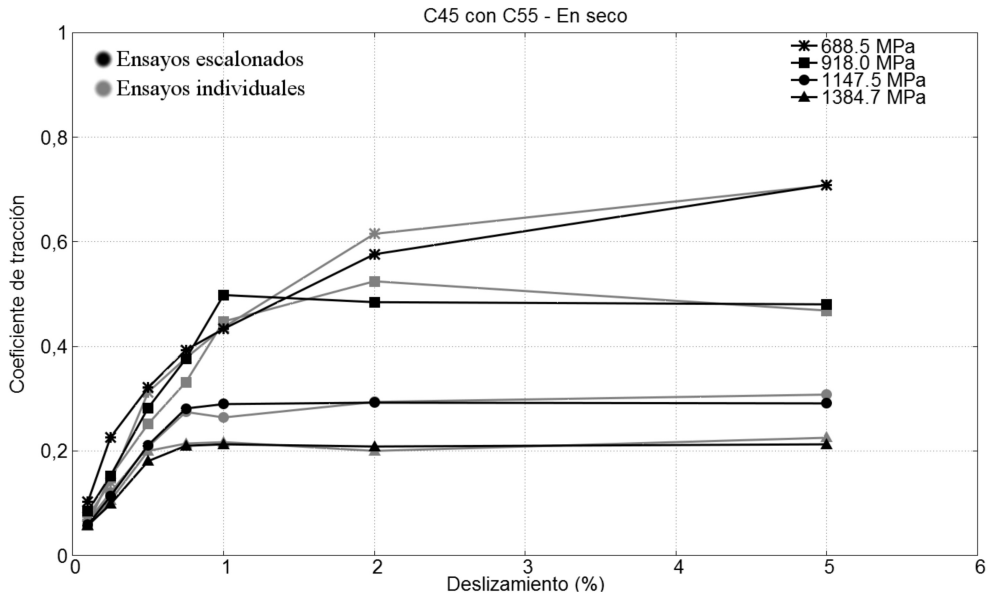


Figura 104.- Curvas de adherencia para los ensayos en seco entre aceros al carbono C55 y C45 para las 4 presiones ensayadas.

Los coeficiente de ajuste para las curvas son:

| P_{Nmax} | f_{∞} | f_0 | C_f | S |
|-------------------|--------------|--------|--------|--------|
| 688.5 MPa | 0.7188 | 0.0000 | 1.0322 | 0.8656 |
| 918.0 MPa | 0.4966 | 0.0000 | 2.0419 | 1.2000 |
| 1147.5 MPa | 0.2978 | 0.0000 | 2.8082 | 1.1845 |
| 1383.7 MPa | 0.2150 | 0.0000 | 4.7741 | 1.3193 |

Tabla 15.- Coeficientes de ajuste para las curvas de adherencia obtenidas para ensayos en seco entre los aceros C45 y C55.

Como puede verse en la tabla, se ha elegido forzar f_0 a 0 para hacer nulo el coeficiente de adherencia en rodadura pura, tal y como sucedería en la teoría. Las curvas ajustadas a estas funciones exponenciales pueden verse en la figura 105.

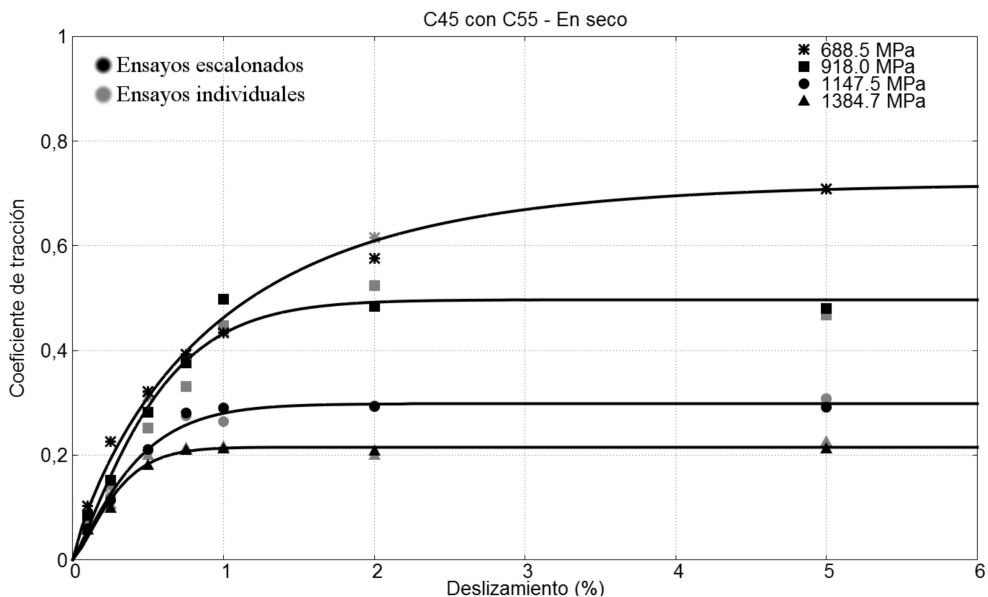


Figura 105.- Ajuste de las curvas de adherencia a la ecuación 9 haciendo pasar las curvas por el punto (0,0) para los ensayos en seco entre los aceros C45 y C55.

Si se analiza la función (9), f_{∞} es el coeficiente de tracción estabilizado, mientras que C_f y S controlan en que valor de deslizamiento se estabiliza la curva.

Dos cosas son las que llaman la atención respecto a la influencia que tiene la presión normal sobre la curva de adherencia. La primera de ellas es que un aumento de la presión va acompañado de un claro descenso en el valor del coeficiente de tracción y la segunda que ese mismo aumento lleva a que el valor del coeficiente de tracción se estabilice a menores deslizamientos.

Esta reducción del coeficiente de fricción con la presión es la que puede justificar el fenómeno siguiente: en la figura 106-A, donde se representa el valor de la fuerza tangencial medida en el contacto a las 10000 revoluciones, puede verse como la fuerza tangencial medida a deslizamientos superiores al 0.75% deja de aumentar con la presión una vez se alcanzan los 918 MPa, para pasar a permanecer constante. Es decir, parece existir un límite para la cantidad de fuerza resistente que las superficies en contacto son capaces de oponer al deslizamiento.

La pregunta importante ahora es ¿cual es ese valor umbral? ¿con qué parámetros se relaciona?. Para las condiciones de los ensayos realizados, ese valor está alrededor de los 800 N. Si se desea estudiar el fenómeno en base a valores de tensión y se traduce ese valor de fuerza a tensiones se obtiene la figura 106-B, donde puede verse como esa aparente estabilidad mencionada desaparece y las tensiones medias en el contacto lo que siguen realmente es una tendencia decreciente al aumentar la presión normal.

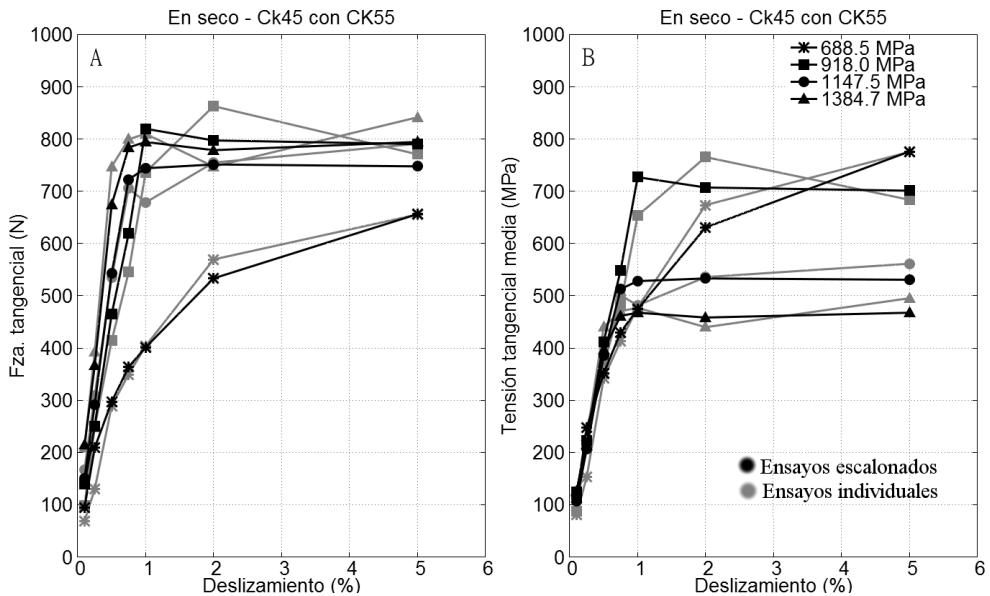


Figura 106.- Esfuerzos y tensiones tangenciales que aparecen en el contacto para los ensayos en seco entre los aceros C45 y C55

No obstante, en estos cálculos y en otros a lo largo de esta tesis se está usando para el área de contacto el valor teórico en campo elástico obtenido a partir de la geometría inicial de los discos, cuando en realidad la deformación plástica y el desgaste que sufren los discos hace imposible conocer el tamaño real del área de contacto, que, muy posiblemente, sea mucho más parecido entre distintos ensayos de lo que se esperaría. Por otra parte la ley usualmente empleada para estudiar los fenómenos de rozamiento entre dos superficies ($T=N \cdot \mu$) hace uso de los valores de fuerza y no de tensión, por lo que es lógico pensar en que sean estos valores los importantes. De todas formas, a falta de una mayor cantidad de resultados,

la existencia de un umbral para la fuerza que se puede transmitir entre los discos en rodadura quedará como una incógnita o, incluso, como una casualidad.

Otro fenómeno que se aprecia en las curvas de adherencia es la disminución de la pendiente de la parte inicial de la curva de adherencia al aumentar la carga normal de contacto. Dicho así esto parece oponerse al hecho de que la estabilidad se alcanza antes con presiones más altas pero debe recordarse que esa temprana estabilidad esta asociada a valores de adherencia más bajos.

Antes de pasar al siguiente apartado es necesario comentar que en posteriores capítulos se ha recurrido a la realización de una serie de simulaciones por elementos finitos con el fin de estudiar algunos resultados. Estas simulaciones no han pretendido responder a la complejidad de un sistema rodante como el que se estudia en esta tesis, por lo que se ha buscado un modelo sencillo que pueda responder a las necesidades básicas que han aparecido. Estas simulaciones tampoco se han extendido a todas las series de datos, sino que solamente se han realizado para los ensayos en seco y con agua entre aceros al carbono. Las razones son dos: por un lado no se ha necesitado cubrir todos los ensayos, ya que el objetivo buscado se alcanza con las que se han hecho y los resultados de éstas se pueden extrapolar al resto; y por otro lado, el modelo empleado no tiene capacidad para establecer diferencias de comportamiento entre un acero al carbono y otro bainítico.

El software usado para las simulaciones ha sido el “Contact v12.2” desarrollado en la universidad de Delft [235]. Este software implementa la teoría de contacto desarrollada por el profesor J.J. Kalker y tiene las siguientes capacidades:

- Se puede trabajar con deslizamientos en X, Y y Z y con distintas geometrías de contacto.
- Posibilidad de trabajar tanto con materiales elásticos como viscoelásticos.
- Cálculo de los campos de tensiones superficiales y subsuperficiales en 3D.

- Acepta coeficientes de fricción dependientes de la velocidad.
- Posibilidad de cambiar la pendiente inicial de la curva de adherencia.

Esta última parte es la que se ha empleado para ajustar las simulaciones a los datos obtenidos con el fin de que la estabilidad de la curva de adherencia se alcance en el valor de deslizamiento correcto. El programa logra este efecto mediante la introducción en la simulación de una tercera capa, cuyas características controlan el punto de estabilización. Estas son el módulo elástico a cortadura de la capa y su espesor. Para el primer parámetro se ha usado un valor de 100000 MPa en todos los casos y para el espesor los mejores ajustes se han obtenido usando los valores de la tabla 16, donde también se han incluido los correspondientes a los ensayos con agua. Las curvas de ajuste obtenidas de esta forma se comparan con los datos obtenidos anteriormente en la figura 107.

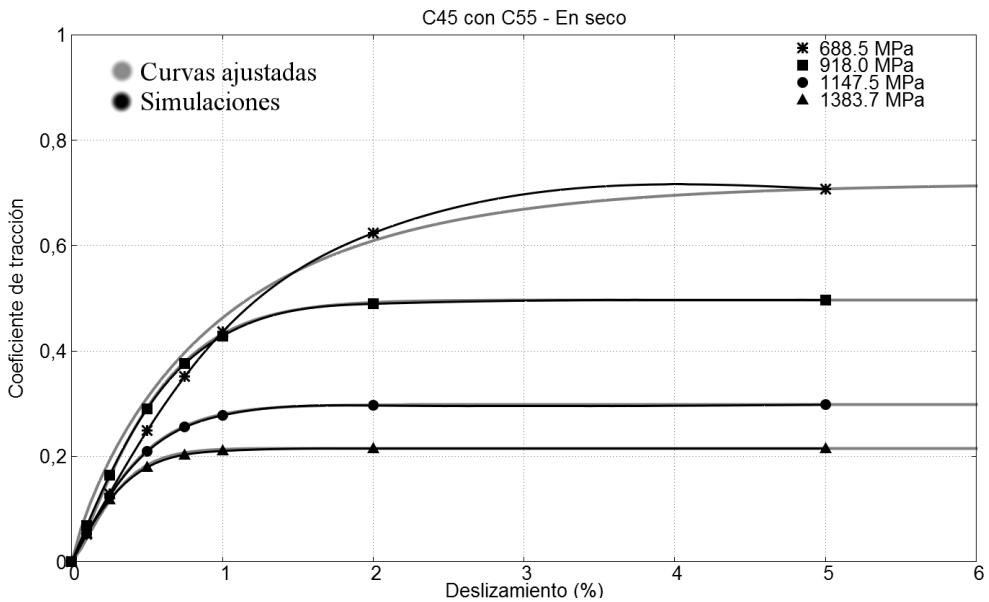


Figura 107.- Curvas de adherencia obtenidas mediante simulación con el software "Contact" ajustadas a las presentadas en la figura 105.

Como puede verse el ajuste es muy bueno cuando la estabilización de la curva se alcanza al 2% de deslizamiento o antes, pero empeora cuando la estabilización es tardía. Aún así se puede considerar que el error es lo bastante contenido como para poder usar los resultados obtenidos.

| | 688.5 MPa | 918.0 MPa | 1147.5 MPa | 1383.7 MPa |
|----------|-----------|-----------|------------|------------|
| En seco | 0.55 | 0.34 | 0.43 | 0.35 |
| Con agua | 0.26 | 0.36 | 0.42 | 0.56 |

Tabla 16.- Valores del espesor de la tercera capa en mm usados para simular, usando el programa "Contact", las condiciones de adherencia encontradas en los ensayos.

Un ejemplo de los campos de tensiones tangenciales superficiales que se obtienen se puede ver en la figura 108.

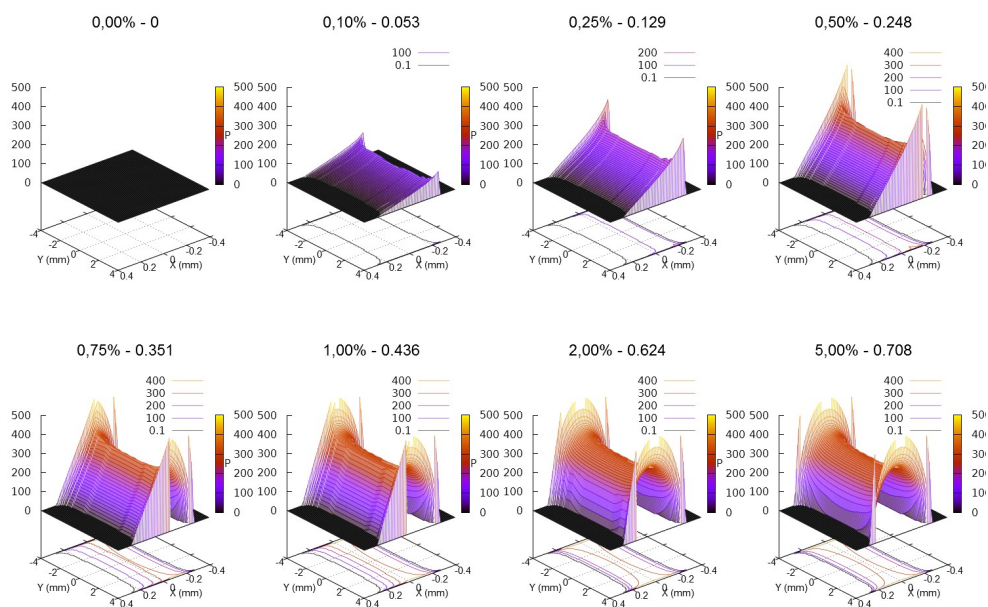


Figura 108.- Campos de tensiones tangenciales superficiales para distintos valores de deslizamiento (se indica también el coeficiente de tracción correspondiente) para los ensayos en seco entre aceros al carbono y una presión normal máxima de 918 MPa.

Los campos de tensiones en esta figura muestran la forma y evolución esperadas junto con unos máximos en los laterales del contacto que, como se verá posteriormente, se traducen en un mayor desgaste de los bordes de la banda de rodadura que se forma.

5.1.2.- INFLUENCIA DE LA PRESENCIA DE AGUA

Los resultados obtenidos cuando se ha usado agua para mantener una capa de lubricación en el contacto pueden verse en la figura 109.

Se observa como las curvas muestran un comportamiento similar, aunque mucho más caótico, al obtenido con los ensayos en seco: una pendiente acusada al principio, un pico inicial sólo para deslizamientos superiores al 0.5% y altas presiones una estabilización posterior. Si cabe aquí destacar que los picos que aparecen en los ensayos con agua son mucho más agudos que los observados en seco, signo de que los cambios tribológicos asociados a los picos son mucho más rápidos en este caso.

Una excepción son algunos ensayos realizados a la presión máxima de 688.5 MPa, la más baja de las ensayadas. En ese caso existe, para deslizamientos del 0.75% y superiores una transición retardada al valor estable del coeficiente de tracción. Este retardo en la transición debe relacionarse con el tiempo necesario para que tengan lugar determinados procesos triboquímicos en la superficie de los discos. Presiones máximas superiores a los 688.5 MPa son capaces de transformar la superficie durante los primeros segundos del ensayo, con lo que esos retardos no son observables. Por ejemplo, a los 80 segundos ya se apreciaban bandas longitudinales marrones en el ensayo para un 0.75% de deslizamiento y una presión máxima de 1383.7 MPa y lo mismo sucede a los 100 segundos para el mismo deslizamiento y 1147.5 MPa. Naturalmente, estos tiempos no son exactos, ya que no se estuvieron observando los ensayos de forma continua ni se grabaron en vídeo para su posterior visionado y, además, la oxidación superficial puede afectar al coeficiente de fricción antes de que sea observable a simple vista.

La posterior eliminación de esa capa de óxido rojizo inicial tiene lugar de una manera muy peculiar que será descrita en el apartado 5.2 y que no tiene nada que ver con lo que ocurre en los ensayos en seco.

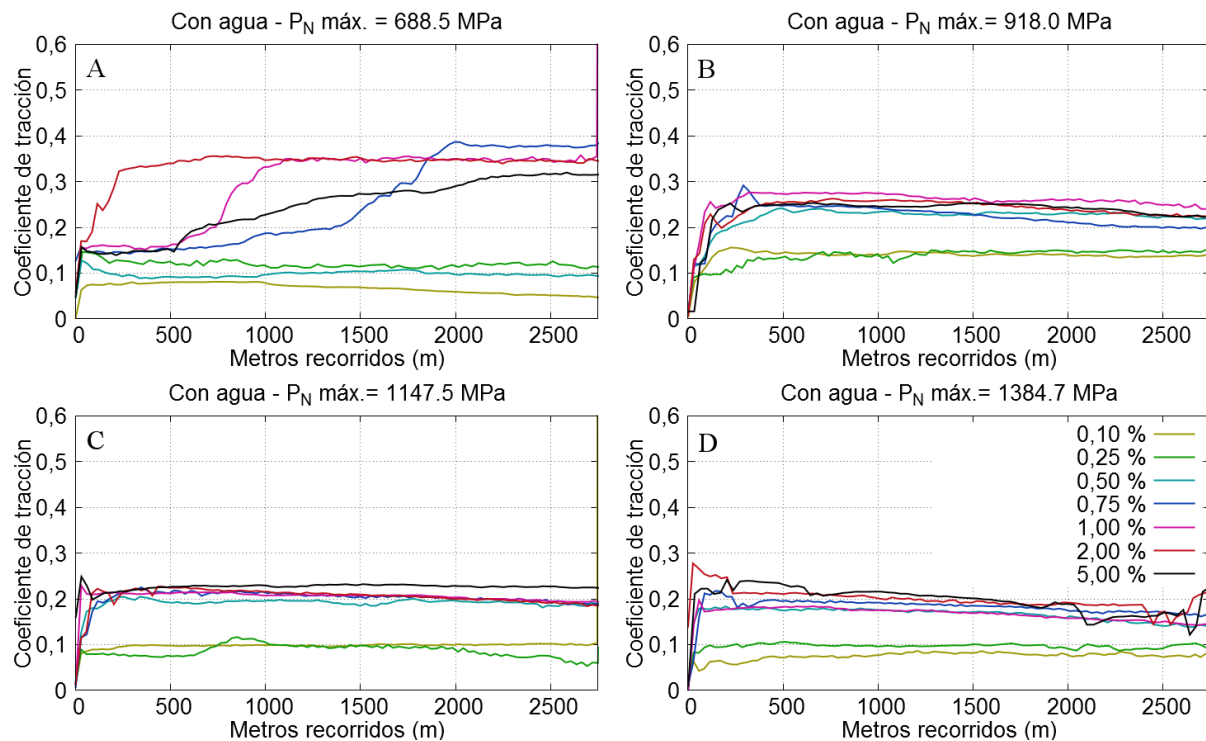


Figura 109.- Evolución del coeficiente de tracción con la distancia para los ensayos realizados con agua entre los aceros C45 y C55 para las distintas presiones y deslizamientos ensayados

Si se representa el valor del coeficiente de tracción a las 10000 revoluciones se obtiene la figura 110.

En este caso, el coeficiente de tracción en la parte horizontal de la curva de adherencia oscila entre 0.4 y algo menos de 0.2, lo que supone una reducción en su valor respecto a los ensayos en seco que varía entre el 46% para las presiones más bajas y el 15% para las más altas.

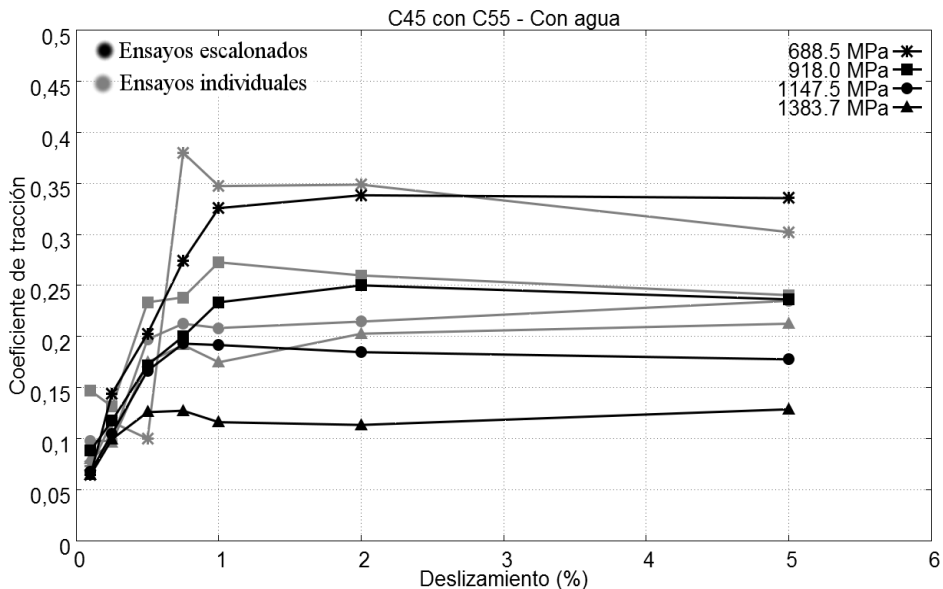


Figura 110.- Curvas de adherencia para los ensayos con agua y aceros C45-C55 para los ensayos individuales y los escalonados. Algunos valores para la curva de 688.5 MPa se han tomado tras la estabilización y no a 10.000 revoluciones.

La dispersión de los resultados es mucho más elevada que en ausencia de lubricación, señal de que el proceso de rodadura en presencia de agua es más caótico que en seco. Las principales diferencias entre los resultados obtenidos a partir de los ensayos individuales y de los escalonados están en los mayores valores de adherencia encontrados para los ensayos a una presión máxima de 1383.7 MPa si los distintos deslizamientos se ensayan de forma individual. El resto de diferencias puede atribuirse a la dispersión estadística propia de estos ensayos.

Un ajuste matemático de las curvas de adherencia usando la ecuación (9) da como resultado los coeficientes de la tabla 17 y la figura 111.

| P_{Nmax} | f_{∞} | f_0 | C_f | S |
|-------------------|--------------|--------|-------|-------|
| 688.5 MPa | 0.342 | 0.0000 | 2.229 | 1.072 |
| 918.0 MPa | 0.253 | 0.0000 | 2.960 | 0.908 |
| 1147.5 MPa | 0.205 | 0.0000 | 4.478 | 1.094 |
| 1383.7 MPa | 0.161 | 0.0000 | 5.717 | 1.000 |

Tabla 17.- Coeficientes de ajuste para las curvas de adherencia obtenidas para ensayos con agua entre los aceros C45 y C55.

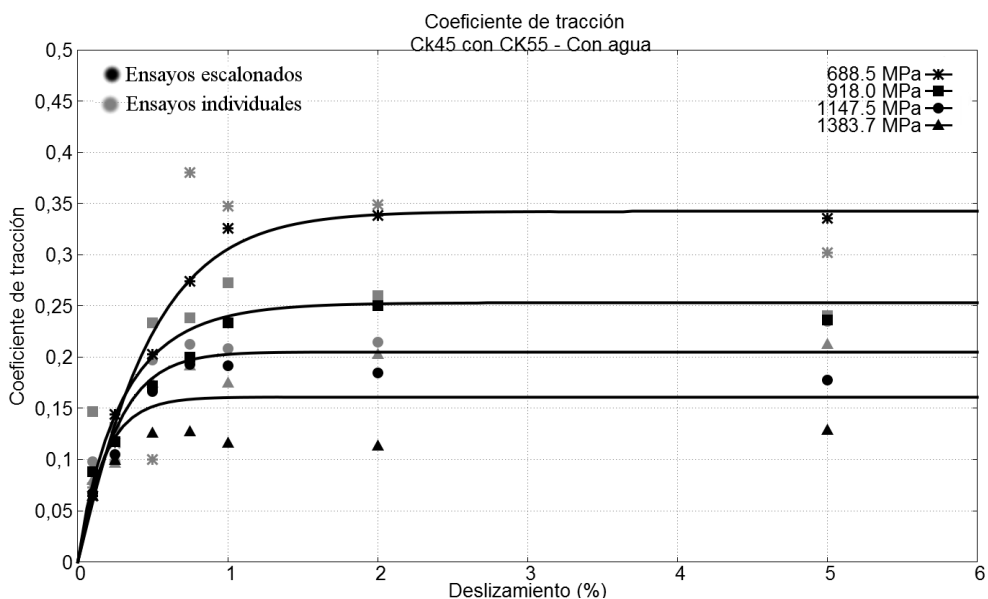


Figura 111.-Ajuste de las curvas de adherencia a la ecuación (9) haciendo pasar las curvas por el punto (0,0) para los ensayos con agua entre los aceros C45 y C55.

En estos ensayos la estabilidad se alcanza mucho antes que en seco, debido posiblemente a que la capa de agua que separa las dos superficies en contacto reduce la influencia que tienen los cambios superficiales que se producen en los discos (grietas, desgaste, oxidación,...) sobre el coeficiente

de tracción. Esta circunstancia se manifiesta claramente en los valores del coeficiente C_f , más altos en este caso.

Como en los ensayos en seco, un aumento de la presión va acompañado de una caída en el coeficiente de tracción, aunque en este caso no se llega a una saturación en las fuerzas tangenciales, que siguen creciendo a medida que aumenta la carga normal. Evidentemente, la reducción en el valor del coeficiente de tracción indica que ese crecimiento es cada vez más lento.

5.1.3.- INFLUENCIA DE LA PRESENCIA DE ACEITE

La figura 112 recoge tanto los coeficientes de tracción obtenidos en los ensayos escalonados como las curvas ajustadas a la expresión (9).

En esa figura puede verse como la reducción en el valor del coeficiente de tracción es enorme, no llegando a superarse en ningún caso estudiado el 0.1, con valores similares a los presentados en el estudio del estado del arte, lo que implica que prácticamente se pierde toda capacidad de transmisión de esfuerzos entre las superficies.

Estas curvas presentan unas cuantas características que las diferencian de las anteriores. La primera de ellas es que no llegan a estabilizarse, por lo menos no a deslizamientos del 5%, sino que el valor del coeficiente de tracción sigue creciendo a medida que aumenta el deslizamiento, aunque es cierto que sea de forma amortiguada. También es de destacar la transición tan gradual y suave que presentan y el hecho de que todas las curvas muestren prácticamente la misma forma, pero desplazadas en el eje Y por el efecto que el aumento de la presión de contacto tiene, como en los ensayos en seco o con agua, sobre el coeficiente de tracción.

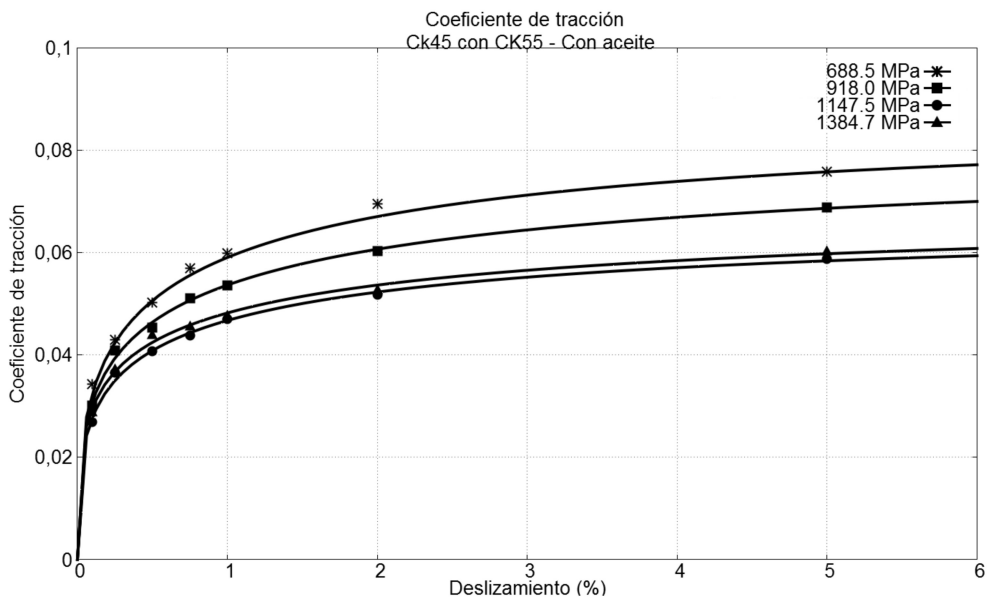


Figura 112.- Curvas de adherencia para los ensayos realizados escalonadamente con aceite y el par de aceros C45-C55

El ajuste de las curvas a la función presentada en la función (9) da los siguientes coeficientes:

| P_{Nmax} | f_{∞} | f_0 | C_f | S |
|-------------------|--------------|--------|--------|--------|
| 688.5 MPa | 0.0849 | 0.0000 | 1.1877 | 0.3910 |
| 918.0 MPa | 0.0790 | 0.0000 | 1.1357 | 0.3611 |
| 1147.5 MPa | 0.0680 | 0.0000 | 1.2322 | 0.3341 |
| 1383.7 MPa | 0.0656 | 0.0000 | 1.2444 | 0.3552 |

Tabla 18.-Coeficientes de ajuste para las curvas de adherencia obtenidas para ensayos con aceite entre los aceros C45 y C55.

El hecho de que el coeficiente de tracción sea prácticamente el mismo para las dos mayores presiones parece indicar que se está alcanzando un punto de saturación para el efecto de la presión al ir ésta aumentando, aunque no como pasaba en los ensayos en seco, donde eran las fuerzas tangenciales las que dejaban de crecer.

5.1.4.- INFLUENCIA DE LOS MATERIALES EN CONTACTO

Las figuras 113 y 114 muestran la evolución del coeficiente de tracción con la distancia recorrida para los ensayos llevados a cabo entre un acero C55 y dos aceros con temple bainítico y durezas respectivas de 430 y 530 HV.

Como puede verse, la forma de las curvas sigue al comportamiento esperado y ya visto con anterioridad, pero con una mayor variabilidad a lo largo de los ensayos, de forma que algunas de las curvas obtenidas muestran un comportamiento bastante errático sobretodo, como es de esperar y también sucede con otras ensayos, cuando se usa agua como lubricante. Esto se traduce en cambios en el coeficiente de tracción inesperados tanto al principio como a lo largo del ensayo.

Lo que se aprecia en las imágenes con mucha claridad es la diferencia existente en los máximos que aparecen en los ensayos en seco para las dos presiones ensayadas. En los ensayos realizados con una presión máxima de 688.5 MPa, ese máximo adopta la forma de una loma de suave pendiente que ocupa una parte importante de la gráfica, mientras que para las presiones de 1147.5 MPa, el máximo se convierte en un pico agudo muy pegado a la parte derecha del gráfico.

Esta diferencia tan marcada respecto a los otros ensayos se entiende como una manifestación de la mayor velocidad con que se producen los cambios en la superficie de los discos al ir aumentando la presión de contacto, lentos y progresivos a bajas presiones y muy rápidos a altas presiones. Por lo demás, poco se puede decir al respecto que no se haya comentado con anterioridad.

También es de resaltar la gran semejanza entre las curvas obtenidas para los dos aceros bainíticos, lo que ya indica que, si bien la introducción de un acero bainítico notablemente endurecido puede suponer un cambio importante en el comportamiento del sistema rodante, el nivel de endurecimiento que se le da a ese acero no va a tener tanta importancia como sería de esperar.

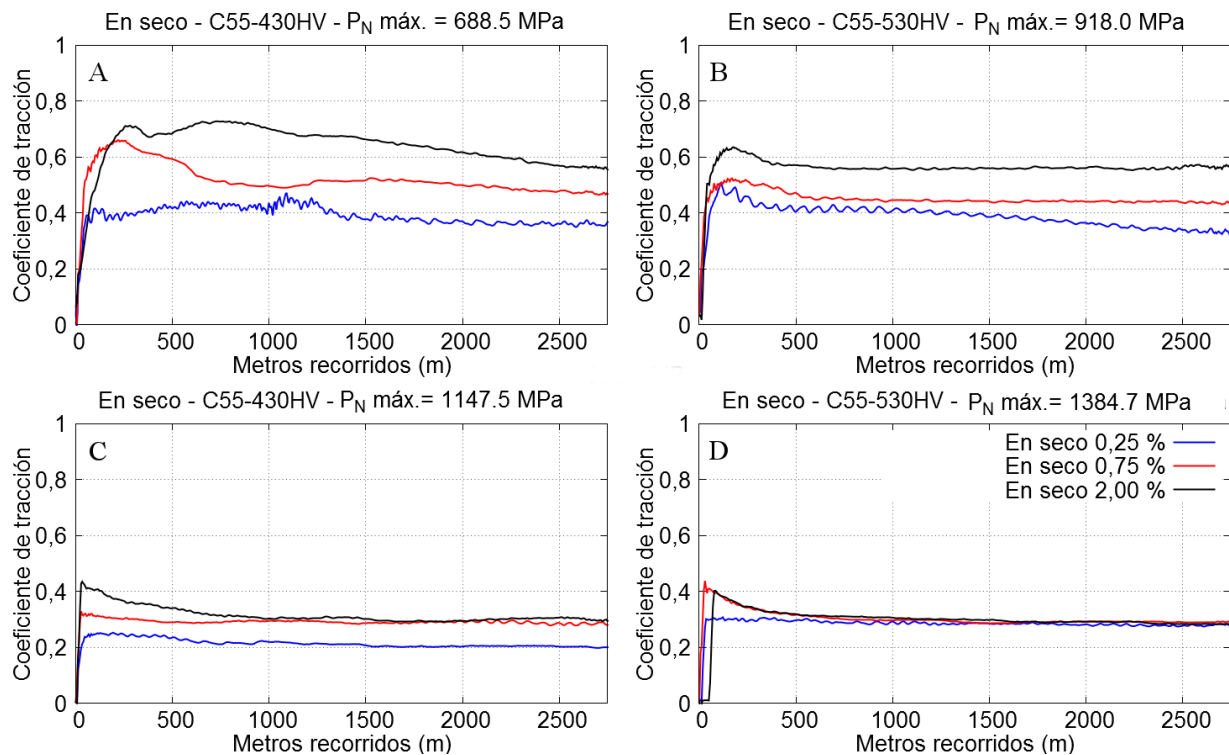


Figura 113.-Evolución del coeficiente de tracción con la distancia para los ensayos en seco entre los aceros C45 y bainítico y las distintas presiones y deslizamientos ensayados.

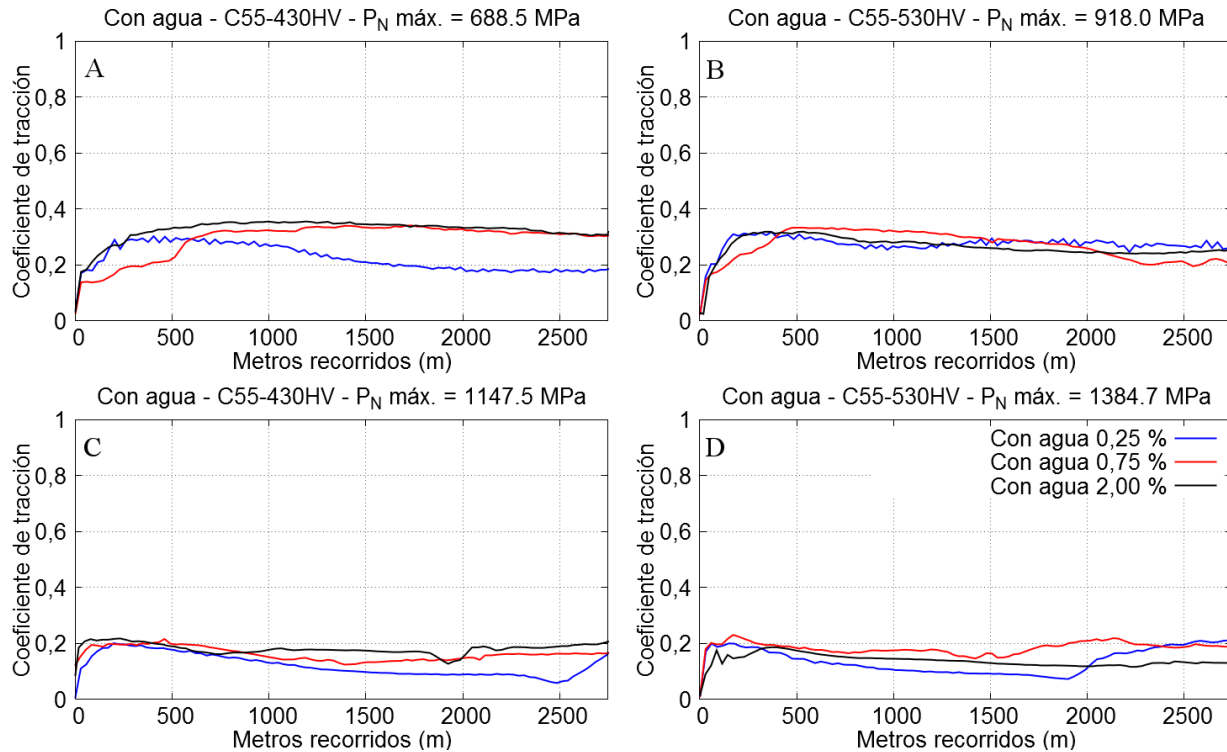


Figura 114.-Evolución del coeficiente de tracción con la distancia para los ensayos con agua entre los aceros C45 y bainítico y las distintas presiones y deslizamientos ensayados..

Para estos ensayos, y dado que el número de ensayos es menor, todas las curvas de adherencia se han representado en la misma figura tanto para los ensayos en seco como para aquellos realizados con agua, y se han incluido los ensayos realizados de forma escalonada. En la figura 115 puede verse el comportamiento obtenido con las dos combinaciones de aceros bainítico-C55 seleccionadas.

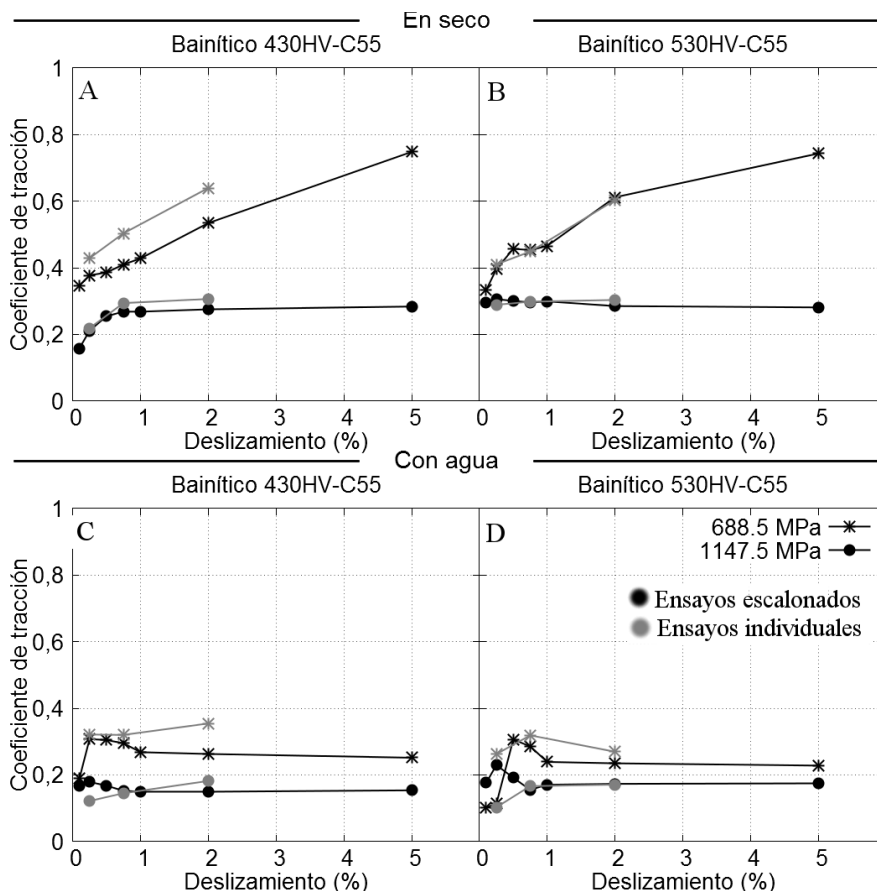


Figura 115.- Curvas de adherencia para todos los ensayos realizados en seco y con agua entre un acero bainítico y el acero al carbono C55

Como ya se ha comentado, las curvas de adherencia que se han obtenido para las dos combinaciones de materiales probadas son muy similares entre si, siendo muy difícil asegurar a simple vista cuales son las

diferencias, si es que estadísticamente hay alguna significativa, con la cantidad de ensayos de que se dispone.

Por lo demás, el uso de un acero bainítico no parece introducir cambios notables en los valores del coeficiente de tracción para deslizamientos altos, aunque si lo hace cuando los deslizamientos son bajos. Si se vuelve a la gráfica 104 y se compara con la 115 puede verse como en la primera los valores iniciales de las curvas de adherencia son mucho más bajos, partiendo, por ejemplo, de menos de 0.1 para ensayos en seco (deslizamiento del 0.1%), mientras que en las nuevas se parte, como mínimo, de 0.2 e incluso más de 0.35.

Esta notable diferencia en el valor del coeficiente de tracción cuando se introduce un acero mucho más duro en el ensayo hay que justificarla atendiendo al efecto que produce sobre la superficie del disco más blando. Adelantando aquí algún resultado de los que se presentarán en el capítulo 5.2, los discos presentan ya para bajos deslizamientos una superficie desgastada y agrietada, síntoma de que los fenómenos tribológicos que han tenido lugar han sido mucho más severos que en otros ensayos para esos mismos deslizamientos. Aunque la diferencia en la estructura cristalina entre un acero con tratamiento bainítico y un acero al carbono es lo bastante importante como para reducir la afinidad cristalina y con ella el coeficiente de fricción, lo que se traduciría también en una bajada del coeficiente de tracción, parece que prima el daño por fatiga y deformación plástica que sufre el disco de C55, con la aparición muy temprana de grietas y partículas de desgaste, que dañan inmediatamente la superficie y hacen subir la adherencia.

Esta circunstancia podría confirmarse por el hecho de que en algunos casos los ensayos realizados con aceros de 530 HV muestran, para bajos deslizamientos, unos valores del coeficiente de tracción superiores a los obtenidos con el bainítico de 430 HV, indicación de que su mayor dureza acelera el proceso de deterioro. Cuando no es así, las diferencias no son realmente significativas.

Para deslizamientos altos las superficies ya se encuentran muy deterioradas, por lo que no hay mucha variación en cuanto al coeficiente de tracción entre los ensayos usando un acero bainítico y otro C55 o usando

dos aceros al carbono.

Respecto a los ensayos con agua, los coeficientes de tracción vuelven a ser similares a los encontrados para los ensayos entre aceros al carbono, aunque aparecen dos diferencias importantes. Por un lado los bajísimos deslizamientos a los que se alcanza el máximo de la curva de adherencia y por otro la presencia de un pico muy marcado en la parte inicial de la curva. Este pico se ve claramente en los ensayos con agua cuando se usa el acero bainítico más endurecido, pero se percibe también en las curvas correspondientes al bainítico de 430HV. La presencia de este pico, que aparece aproximadamente a deslizamientos del 0.25 o el 0.50% hay que buscarla en la diferencia de durezas entre los aceros, puesto que este es el único parámetro que cambia respecto a otros ensayos con agua y esta forma de la curva se repite en los ensayos entre los dos aceros bainíticos de distinta dureza.

Al igual que en los ensayos entre aceros al carbono puede hacerse un ajuste matemático de las curvas de adherencia, obteniéndose los resultados de la tabla 19 para los ensayos sin lubricación. Los que se hacen con agua, debido a ese pico inicial, que presentan no responden bien a la misma ecuación, por lo que es preciso sustituirla por otra capaz de simularla adecuadamente. Para compensar esta deficiencia se ha usado, cuando ha sido necesario, la función siguiente:

$$f = f_{\infty} \cdot (1 - e^{-C_{\beta} \cdot x}) + f_p \cdot e^{-C_{\mu} \cdot x} \cdot x \quad (46)$$

Esta función pasa por el punto (0, 0) y permite reproducir el pico de la curva mediante la exponencial añadida. Además, permite estimar el valor del deslizamiento de estabilización de la adherencia, punto en el que el uso de la función (9) no da buenos resultados si el pico es elevado. La aplicación de esta función a las curvas sin pico más simples tampoco da buenos resultados debido a que el mayor número de coeficientes a ajustar hace que la curva adopte formas extrañas tratando de seguir la posición de los puntos. Además, la cantidad de coeficientes de la función (46) hace que un ajuste automático no sea posible, teniendo que hacerse a mano por prueba y error.

| Ensayos en seco | | | | |
|--------------------------------------|--------------------------------|-------------------------|-------------------------------|--------------------------------|
| P_{Nmax} y materiales | f_{∞} | f_0 | C_f | S |
| 688.5 MPa C55-430HV | 1.0000 | 0 | 0.6975 | 0.3184 |
| 688.5 MPa C55-530HV | 1.0000 | 0 | 0.7599 | 0.3304 |
| 1147.5 MPa C55-430HV | 0.2837 | 0 | 15.4189 | 1.2748 |
| 1147.5 MPa C55-530HV | 0.2950 | 0 | 16.5370 | 1.2000 |
| Ensayos con agua | | | | |
| | f_{∞} | f_p | C_{β} | $C_{f\beta}$ |
| 688.5 MPa C55-430HV* | 0.230 | 3.0 | 1.9 | 4.0 |
| 688.5 MPa C55-530HV* | 0.273 | 20.0 | 1.2 | 6.5 |
| 1147.5 MPa C55-430HV* | 0.256 | 10.0 | 0.8 | 4.0 |
| 1147.5 MPa C55-530HV* | 0.148 | 60.0 | 0.4 | 5.0 |

Tabla 19.-Coeficientes de ajuste para las curvas de adherencia obtenidas para ensayos con aceite entre los aceros bainíticos y el C55. *:Ajuste mediante la función (46).

Es notable la diferencia que existe entre las dos presiones en cuanto a los resultados obtenidos en seco, hasta tal punto que si para los ensayos a una presión máxima equivalente de 1147.5 MPa el coeficiente de tracción se queda alrededor de 0.29, para 688.5 MPa, el ajuste lleva el valor de f_{∞} hasta 1, valor máximo que se ha permitido para ese parámetro en el ajuste. Es de suponer que el valor real será inferior, pero la precisión del resultado del ajuste está limitada por la cantidad de datos disponibles. Aún así, ese valor es indicativo del elevado rozamiento que pueden llegar a alcanzar las superficies debido al daño que sufren.

Los valores de C_f y S también son muy similares para 688.5 MPa, lo que nuevamente pone de manifiesto la escasa diferencia entre usar un acero bainítico de 430 HV o uno de 530 HV. Aún así, el mayor valor de C_f cuando se usa el más endurecido indica una mayor severidad en el contacto y que se alcanzará antes la estabilidad. Exactamente lo mismo puede afirmarse para los ensayos correspondientes a 1147.5 MPa.

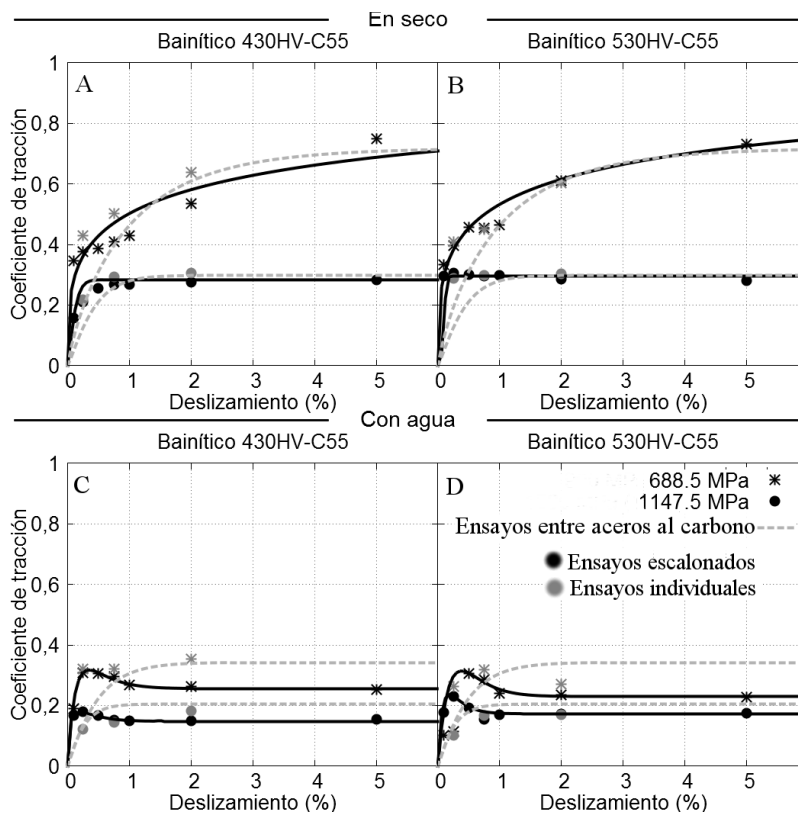


Figura 116.- Ajuste de las curvas de adherencia a la ecuación (9) (o a la (46)) haciendo par las curvas por el punto (0,0) para los ensayos con agua entre los aceros C45 y bainítico. En gris a trazos: ensayos entre los aceros C45 y C55.

Si ambos materiales están endurecidos, las curvas que se obtienen para la evolución a lo largo del tiempo del coeficiente de tracción son las que pueden verse en las figuras 117 y 118.

Respecto a la forma de estas curvas sólo se puede añadir respecto a lo ya descrito en párrafos anteriores que con agua y a las presiones más bajas puede volver a aparecer una transición retardada en el tiempo al valor estable del coeficiente de tracción y que, en comparación con los ensayos realizados entre un acero bainítico y el C55, éstas presentan una evolución, en la mayor parte de los casos, mucho más estable. Posiblemente se deba a que no existe la abrumadora diferencia en cuanto a características que hay entre la pareja de materiales ensayada.

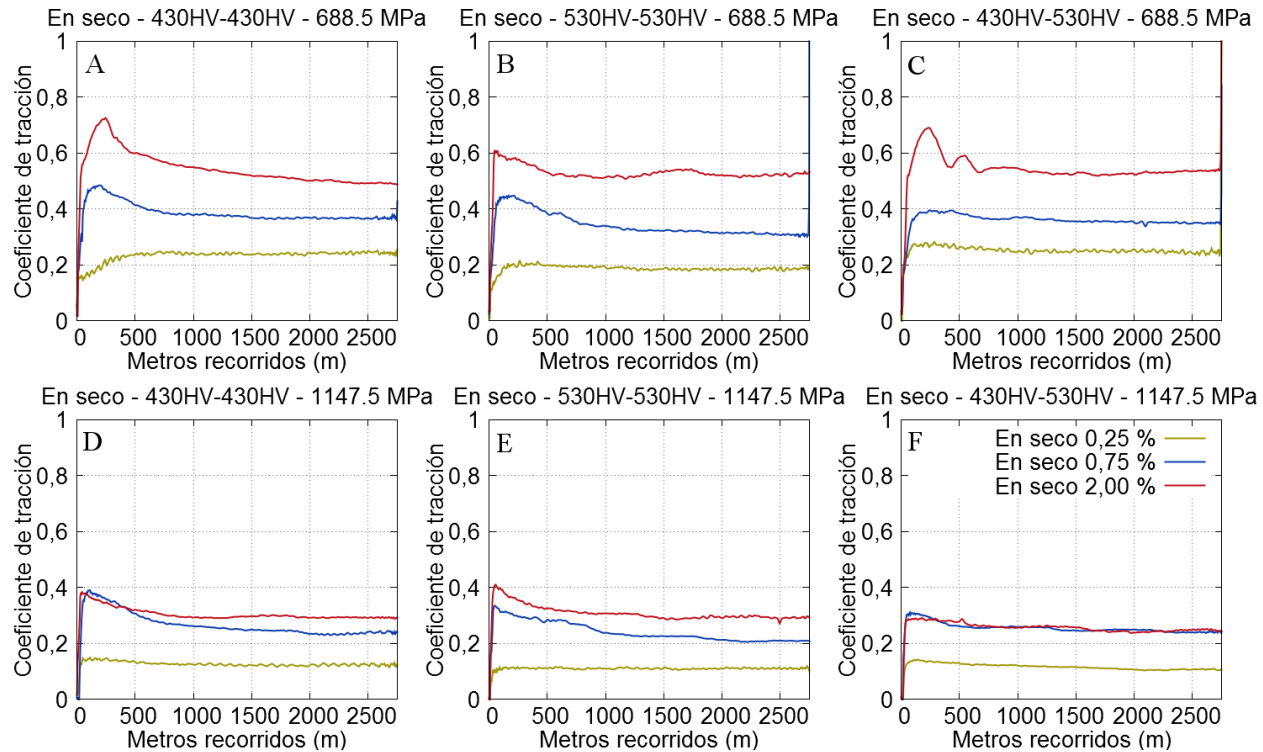


Figura 117.-Evolución del coeficiente de tracción con la distancia para los ensayos en seco entre los aceros bainíticos y las distintas presiones y deslizamientos ensayados.

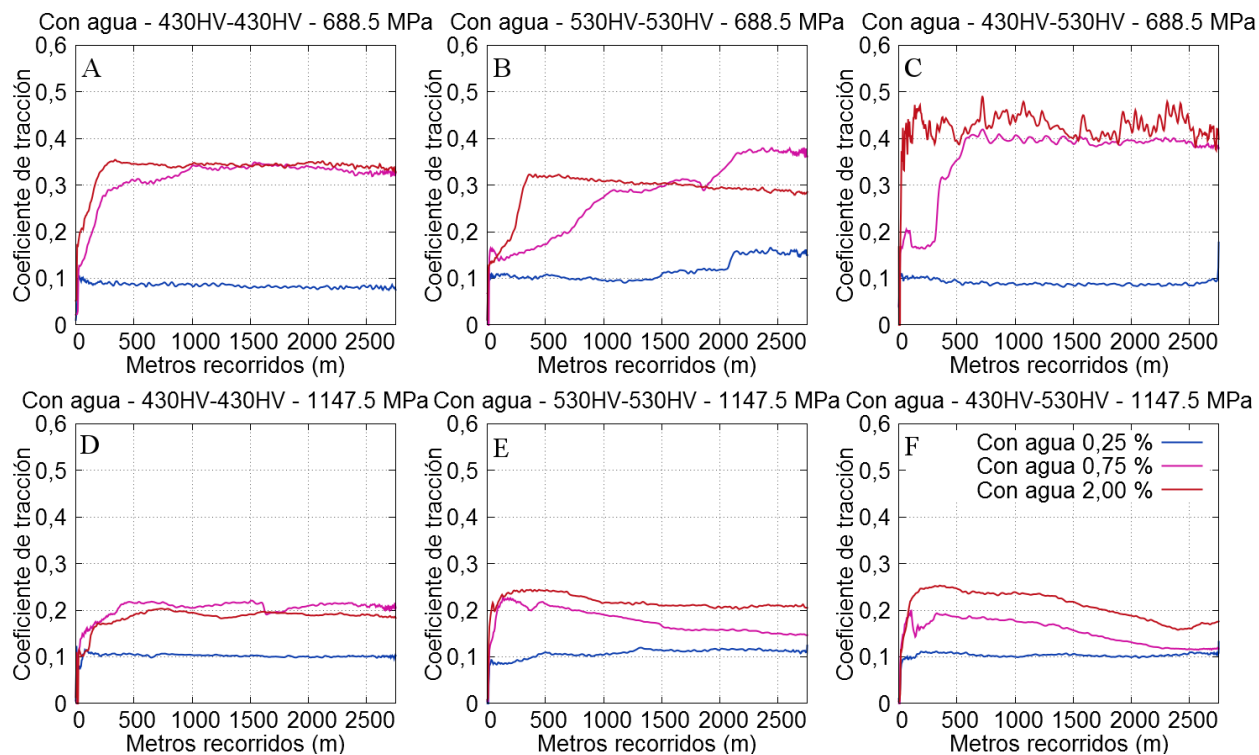


Figura 118.- Evolución del coeficiente de tracción con la distancia para los ensayos con agua entre los aceros bainíticos y las distintas presiones y deslizamientos ensayados.

Las curvas de adherencia elaboradas a partir de las gráficas anteriores pueden verse en la figura 119. Igual que en el caso anterior se han representado juntos todos los datos obtenidos y, también igual que en ese caso, es preciso destacar la escasa diferencia que hay en cuanto a las curvas de adherencia entre las distintas combinaciones de materiales estudiadas, e incluso entre éstas y todos los ensayos anteriores, sobre todo con los realizados entre dos aceros al carbono.

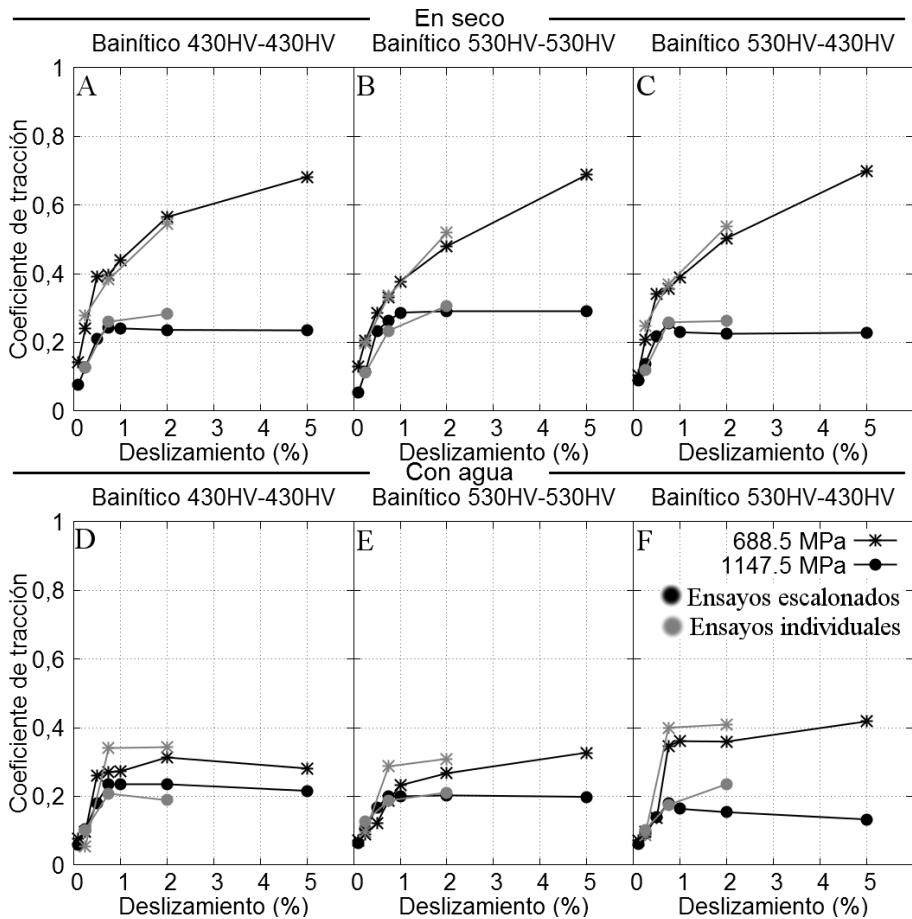


Figura 119.- Curvas de adherencia para todos los ensayos realizados en seco y con agua entre dos aceros bainíticos.

Concretando un poco más, en las curvas de adherencia vuelve a

verse como las correspondientes a los ensayos en seco y una presión máxima 688.5 MPa no se estabilizan a altos deslizamientos (5%) sino que siguen creciendo. Importante es también el hecho de que los valores del coeficiente de tracción para deslizamientos del 0.1% son en la mayor parte de los ensayos inferiores a 0.1. Esta circunstancia indica que los cambios en las superficies que llevan a su degradación requieren de condiciones más severas que las asociadas a tan bajos deslizamientos. Algo lógico si se tiene en cuenta la similitud en la dureza de los aceros en este caso en comparación con el par bainítico-C55. Esto se traduce también en unos picos más suaves en el arranque de los ensayos que los que aparecen para otras combinaciones de materiales.

Es también de notar la mayor diferencia que hay entre las curvas de adherencia para las dos presiones ensayadas cuando ambos aceros bainíticos tienen distinta dureza, indicación de que este parámetro también altera el comportamiento del sistema rodante, aunque no sea de manera drástica

Por lo demás, cuando los ensayos se realizan con agua se aprecia un descenso en los valores del coeficiente de tracción, quizá debido a la mayor dureza de ambos discos, excepto cuando los dos discos tienen distinta dureza, circunstancia en la que se ve un ascenso del coeficiente de tracción a bajas presiones y un descenso para altas presiones, como si en este caso la influencia de la presión fuese mayor por la disimilitud existente. Aún así, y como en otros casos, nuevos ensayos se requerirían para confirmarlo.

El ajuste de los puntos a las curvas exponenciales usadas en los ensayos previos da los resultados de la tabla 20 y la figura 120.

| Ensayos en seco | | | | |
|--------------------------------------|--------------------------------|-------------------------------|--------------------------------|------------------------------|
| P_{Nmax} y materiales | f_{∞} | f_0 | C_f | S |
| 688.5 MPa 430HV-430HV | 0.7317 | 0 | 0.9759 | 0.6136 |
| 688.5 MPa 530HV-530HV | 1.000 | 0 | 0.4679 | 0.5365 |
| 688.5 MPa 430HV-530HV | 0.8993 | 0 | 0.5891 | 0.5672 |
| 1147.5 MPa 430HV-430HV | 0.2413 | 0 | 4.3282 | 1.1434 |
| 1147.5 MPa 530HV-530HV | 0.2911 | 0 | 3.8087 | 1.3810 |
| 1147.5 MPa 430HV-530HV | 0.2349 | 0 | 5.0849 | 1.1197 |
| Ensayos con agua | | | | |
| P_{Nmax} y materiales | f_{∞} | f_0 / f_p | $C_{f\beta}$ | $C_{f\mu}$ |
| 688.5 MPa 430HV-430HV | 0.2925 | 0 | 4.3482 | 1.4317 |
| 688.5 MPa 530HV-530HV | 0.3050 | 0 | 3.200 | 2.900 |
| 688.5 MPa 430HV-530HV | 0.3941 | 0 | 2.4448 | 1.8018 |
| 1147.5 MPa 430HV-430HV | 0.2326 | 0 | 4.0428 | 1.2918 |
| 1147.5 MPa 530HV-530HV | 0.2038 | 0 | 3.6451 | 1.0528 |
| 1147.5 MPa 430HV-530HV | 0.1914 | 0 | 3.6500 | 1.0500 |

Tabla 20.- Coeficientes de ajuste para las curvas de adherencia obtenidas para ensayos con aceite entre los aceros bainíticos.

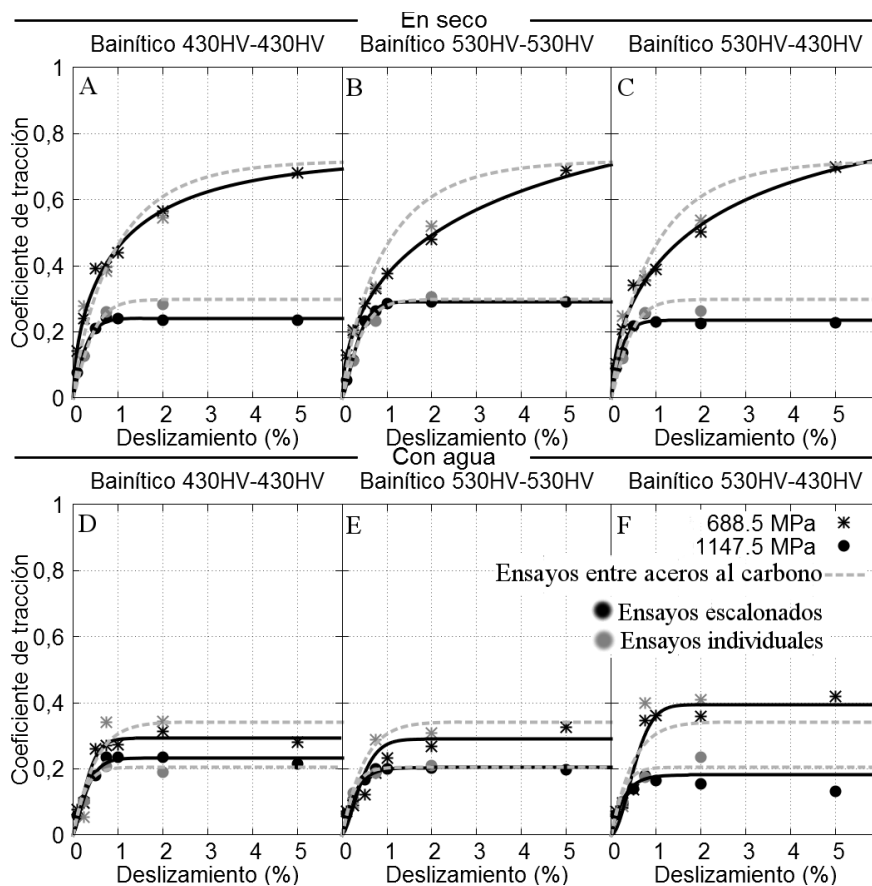


Figura 120.- Ajuste de las curvas de adherencia a la ecuación (9) (o a la (46)) haciendo par las curvas por el punto (0,0) para los ensayos con agua entre los dos aceros bainíticos. En gris a trazos: ensayos entre los aceros C45 y C55.

Respecto a la influencia de los materiales cuando el contacto está lubricado con aceite, como en los ensayos iniciales no se vio ninguna alteración en la superficie de las probetas y se decidió no hacer más ensayos. Sólo se puede decir (figura 121) que se aprecia un ligero aumento del coeficiente de tracción cuando uno o dos de los discos son cambiados por un acero bainítico y, de igual forma que se ha comentado anteriormente, esta ascenso es apreciable sobre todo cuando se hace el ensayo con un acero al carbono y uno bainítico. Esto indica que la lubricación con aceite no impide que se aceleren los efectos tribológicos cuando se emplean dos aceros tan disimilares. Pese a estos cambios, los valores de adherencia siguen siendo

realmente bajos, ya que la capa de aceite que se forma es suficiente para establecer una lubricación de tipo hidrodinámica que evita el contacto entre las superficies, de forma que sus características tienen realmente poca importancia.

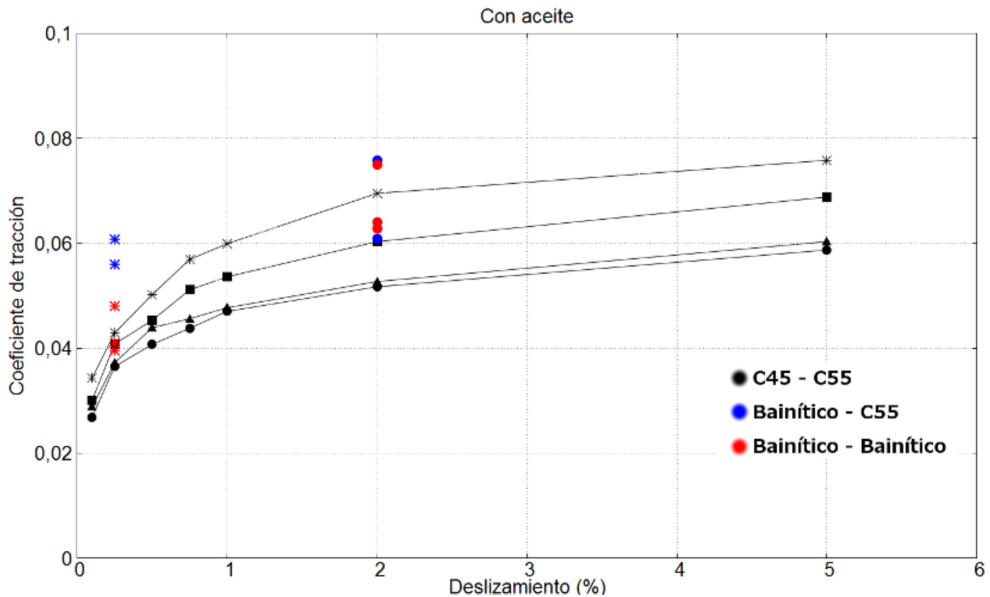


Figura 121.- Curvas y puntos de adherencia para todos los ensayos realizados con lubricación con aceite.

5.1.5.- ESTUDIO DE LAS CURVAS DE ADHERENCIA

Una vez ajustadas las curvas de adherencia a una función es posible estudiar los coeficientes de esa función y determinar como cambia el comportamiento del sistema al variar los parámetros de control.

Evaluar como influyen esos parámetros en f_{∞} es bastante sencillo, pero el estudio del resto de coeficientes no es fácil hacerlo individualmente, ya que distintas combinaciones de C_f y S pueden dar como resultado curvas muy similares y este problema se incrementa si se usa la fórmula (46), en la que hay 4 coeficientes en total a ajustar. En estas circunstancias no es fácil dar con seguridad una regla de dependencia acertada para C_f y S (o para $C_{f\beta}$ y $C_{f\mu}$). Por esta razón es más fácil y seguro estudiar la geometría de las curvas en base a una combinación de esos parámetros que directamente con

ellos. Para hacer eso, además de f_{∞} , se han elegido como otra característica caracterizadora de las curvas de adherencia el punto de estabilización.

La figura 122 resume los valores del coeficiente de tracción estabilizado f_{∞} encontrados para los distintos ensayos realizados y las curvas que muestran la dependencia con la presión de acuerdo con la ecuación (47).

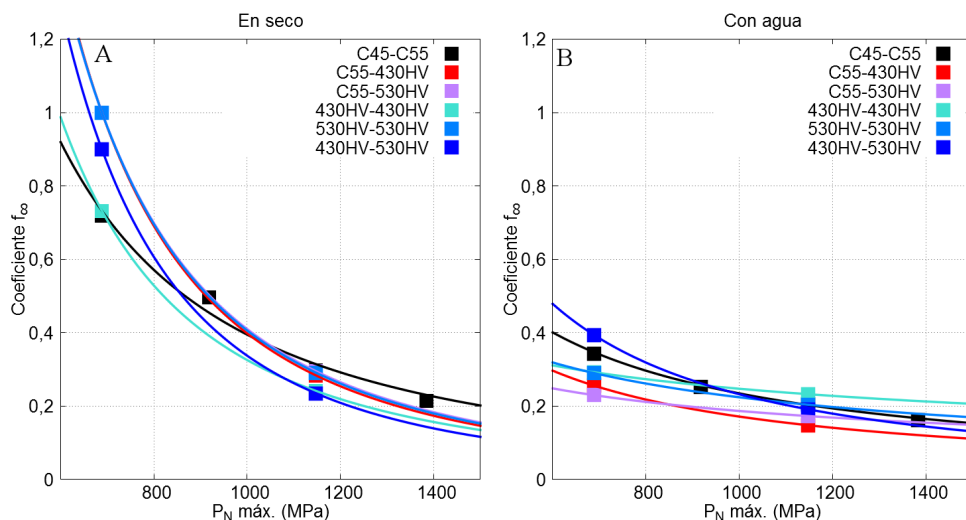


Figura 122.- Dependencia de f_{∞} con la presión máxima para ensayos en seco (A) y con agua (B). Curvas ajustadas con la función (47).

Como se aprecia muy bien, estos resultados indican lo que ya se ha comentado en párrafos anteriores: que el coeficiente de tracción disminuye a medida que el valor de la presión normal aumenta y que los ensayos en seco son mucho más sensibles a los cambios de presión que aquellos que se realizan con agua. Esto entra dentro de lo esperado y además esa dependencia responde bastante bien a la relación que frecuentemente se establece entre el coeficiente de fricción (recuérdese que el valor máximo del coeficiente de tracción coincidirá con el de fricción) y la presión [40], que viene dada por :

$$\mu = C_1 \cdot P_{Nmax}^{-C_2} \tag{47}$$

De esta forma la ecuación que define la curva de adherencia queda, recordando que se fuerza a la curva a pasar por el punto (0, 0), como:

$$f = C_1 \cdot P_{Nmax}^{-c_2} \cdot (1 - e^{-C_f \cdot y^s}) \quad (48)$$

La evolución del coeficiente de tracción estabilizado con la presión se mueve en unos márgenes muy estrechos controlados por el tipo de materiales que forman el par rozante. Incluso puede afirmarse que en seco la dispersión de las curvas es todavía menor de lo que muestra la figura 122 ya que debe recordarse que los resultados que se presentan no en todas las ocasiones representan datos reales, sino que en algunos casos, cuando el coeficiente de tracción todavía no se había estabilizado al 5% de deslizamiento, el valor obtenido es la unidad por ser éste el que se impuso como límite máximo en el ajuste. Teniendo esto en cuenta es de esperar que las curvas que pasan por un coeficiente de tracción de 1 en realidad tengan una pendiente menor y más cercana a la que presentan los ensayos realizados entre aceros al carbono.

Es interesante ver como a medida que aumenta la presión el coeficiente de tracción estabilizado que se encuentra en seco y con agua tienden a ser los mismos, mientras que a bajas presiones los encontrados en seco son significativamente más elevados.

La influencia exacta de la dureza de los aceros ensayados es más difícil de evaluar que la de la presión, aunque comparando los resultados respecto al par C45-C55 la tendencia observada es que en seco aumente la adherencia a bajas presiones y a altas la disminuya, independiente de si los dos discos están fabricados en acero bainítico o sólo uno de ellos. Sobre los ensayos con agua no se puede hacer ninguna afirmación al causar el agua una separación de los discos y reducir la influencia de las características de los aceros, que dejan de estar en íntimo contacto.

Pasando al siguiente valor que describe la forma de las curvas de adherencia, si se considera que para una determinada presión el coeficiente de tracción se estabiliza en el punto de deslizamiento en el que se alcanza el 99% del valor de f_{∞} , para la ecuación (9) este valor viene dado por:

$$y_{est} = \sqrt[s]{\frac{-\ln(0.01)}{C_f}} \quad (49)$$

Para las curvas que presentan pico y se han ajustado mediante el uso de la curva definida en (46) es preciso obtener el valor mediante un proceso

iterativo.

En figura 123 se ha representado, en función de la presión máxima equivalente, los valores de deslizamiento a los cuales se considera que se ha estabilizado la curva de adherencia, calculada a partir de las curvas de adherencia ajustadas anteriormente para cada presión. En la misma figura se ha incluido las curvas ajustadas que muestran su dependencia con la presión, descrita por la función exponencial siguiente:

$$\gamma_{est} = C_{ye1} + C_{ye2} \cdot e^{-C_{ye3} \cdot P_{Nmax}} \quad (50)$$

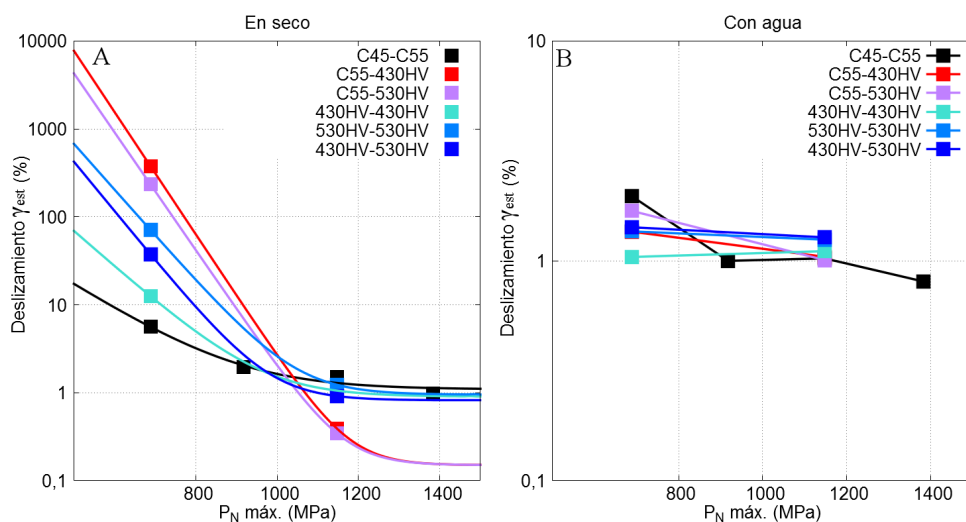


Figura 123.- Dependencia del deslizamiento de estabilización con la presión máxima para ensayos en seco (A) y con agua (B). Curvas ajustadas con la función (50).

En este caso el ajuste solamente se ha podido hacer para los ensayos en seco, puesto que los ensayos lubricados con agua no muestran una evolución clara más allá de que en general la estabilidad se alcanza, igual que ocurre en seco, antes con valores de presión mayores, aunque también podría afirmarse que la presión tiene poca influencia sobre el punto de estabilización.

Lo importante de la figura 123 es que los valores de estabilización en agua están muy cercanos a la unidad, coincidiendo con el valor teórico que presentan algunos autores [223][41]. En realidad son un poco mayores, pero

debe recordarse que como punto de estabilización se eligió arbitrariamente aquel en el que el coeficiente de tracción alcanza el 99% de su valor final, por lo que esa pequeña desviación puede considerarse, de momento, irrelevante.

En seco y a altas presiones los valores de estabilización también se sitúan muy cerca del 1%, pero se alejan cada vez más de ese valor de deslizamiento conforme la presión normal va disminuyendo, por lo que el uso de curvas de adherencia teóricas con estabilización alrededor del 1% para bajas presiones puede resultar incorrecto.

Al igual que ocurre con f_{∞} , las curvas ajustadas muestran una fuerte desviación respecto a lo que es de esperar en la realidad, dando estabilizaciones superiores al 100% de deslizamiento, y, de nuevo, esto es debido a que el ajuste matemático realizado no incluye valores de deslizamiento más allá del 5%, donde quizá ya se haya alcanzado la parte estable de la curva. Es por ello que debe recordarse que las figuras que se presentan definen bien la forma de las curvas de adherencia, pero solamente para valores poco más allá del 5% de deslizamiento.

El efecto que tiene la dureza (o la microestructura) de los aceros usados en los ensayos es mucho más importante aquí que en el caso de f_{∞} , sobre todo en seco y con la combinación de aceros bainítico-C55. Si bien en todos los demás casos el punto de estabilización tiende al 1% al aumentar la presión, la gran diferencia que existe en cuanto a la dureza y microestructura entre un acero bainítico y un acero al carbono hace que ese punto de estabilización se desplace hasta alrededor del 0.3% debido al elevado daño que sufre la superficie del disco de C55 y al fuerte desgaste que aparece. Otro efecto importante que tiene el material usado para los discos es el retardo en la estabilización del coeficiente de tracción, de forma que se retrasa más a medida que aumenta la suma de las durezas de ambos discos o la diferencia de durezas entre ellos. De todas formas, como ya se ha comentado, sería preciso disponer de puntos a mayores valores de deslizamiento para poder valorar mejor esta circunstancia y no hacerlo solamente a base de las funciones de ajuste, muy sensibles a ligeras variaciones en los valores obtenidos al 5% de deslizamiento, el más alto de los ensayos.

En lo que respecta a la altura del pico sobre el valor estabilizado del

coeficiente de tracción, esta sólo puede evaluarse para los ensayos entre un acero bainítico y el C55, que es donde se dispone de 4 curvas ajustadas de esta manera. Los valores obtenidos han sido los siguientes:

| | 688.5 MPa | 1147.5 MPa |
|-----------|-----------|------------|
| C55-430HV | 0.317 | 0.182 |
| C55-530HV | 0.314 | 0.235 |

Tabla 21.- Altura del pico de la curva de adherencia sobre el valor f_c para los ensayos con agua y el par de aceros bainítico-C55.

Como puede verse, el factor más influyente sobre la magnitud del pico es el valor de la presión, con una disminución del mismo al aumentar esta. Por su parte, la diferencia en la dureza de los materiales no parece tener mucha importancia a bajas presiones pero si a altas, siendo más alto el pico a medida que esa diferencia se incrementa.

5.1.6.- ANÁLISIS FACTORIAL

Para realizar el análisis 2^k se ha elegido los siguientes valores para representar los niveles alto y bajo de la técnica de análisis factorial:

- Deslizamiento:
 - Nivel bajo: 0.25%
 - Nivel alto: 2%
- Presión máxima equivalente:
 - Nivel bajo: 688.5 MPa
 - Nivel alto: 1147.5 MPa
- Combinación de materiales:
 - Nivel bajo: C45-C55
 - Nivel alto: Bainítico 530HV-C55
- Contaminante:
 - Nivel bajo: En seco
 - Nivel alto: Con agua

La elección de la combinación de materiales se ha hecho en base a que las mayores diferencias en cuanto a las curvas de adherencia se han

encontrado entre esas dos y en cuanto al contaminante se ha dejado de lado la lubricación con aceite por la elevada incidencia que tiene sobre el coeficiente de tracción, la cual no requiere de ningún análisis comparativo.

| f | D | P | M | C | DP | DM | DC | PM | PC | MC | DPM | DPC | PMC | DPMC |
|-------------|--------------|---------------|-------|---------------|--------|---------------|--------|--------|-------|--------|-------|-------|--------|-------|
| 0,173 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 0,1026 | -1 | 1 | 1 | 1 | -1 | -1 | -1 | 1 | 1 | 1 | -1 | -1 | 1 | -1 |
| 0,2695 | 1 | -1 | 1 | 1 | -1 | 1 | 1 | -1 | -1 | 1 | -1 | -1 | -1 | -1 |
| 0,2625 | -1 | -1 | 1 | 1 | 1 | -1 | -1 | -1 | -1 | 1 | 1 | 1 | -1 | 1 |
| 0,2146 | 1 | 1 | -1 | 1 | 1 | -1 | 1 | -1 | 1 | -1 | -1 | 1 | -1 | -1 |
| 0,0979 | -1 | 1 | -1 | 1 | -1 | 1 | -1 | -1 | 1 | -1 | 1 | -1 | -1 | 1 |
| 0,3488 | 1 | -1 | -1 | 1 | -1 | -1 | 1 | 1 | -1 | -1 | 1 | -1 | 1 | 1 |
| 0,1162 | -1 | -1 | -1 | 1 | 1 | 1 | -1 | 1 | -1 | -1 | -1 | 1 | 1 | -1 |
| 0,3036 | 1 | 1 | 1 | -1 | 1 | 1 | -1 | 1 | -1 | -1 | 1 | -1 | -1 | -1 |
| 0,2889 | -1 | 1 | 1 | -1 | -1 | -1 | 1 | 1 | -1 | -1 | -1 | 1 | -1 | 1 |
| 0,6032 | 1 | -1 | 1 | -1 | -1 | 1 | -1 | -1 | 1 | -1 | -1 | 1 | 1 | 1 |
| 0,4103 | -1 | -1 | 1 | -1 | 1 | -1 | 1 | -1 | 1 | -1 | 1 | -1 | 1 | -1 |
| 0,2936 | 1 | 1 | -1 | -1 | 1 | -1 | -1 | -1 | -1 | 1 | -1 | -1 | 1 | 1 |
| 0,1202 | -1 | 1 | -1 | -1 | -1 | 1 | 1 | -1 | -1 | 1 | 1 | 1 | 1 | -1 |
| 0,6152 | 1 | -1 | -1 | -1 | -1 | -1 | -1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | -1 | -1 |
| 0,1398 | -1 | -1 | -1 | -1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | -1 | -1 | -1 | 1 |
| Influencia: | 0,080 | -0,073 | 0,029 | -0,074 | -0,033 | -0,045 | -0,027 | -0,011 | 0,022 | -0,025 | 0,019 | 0,027 | -0,002 | 0,003 |

Tabla 22.- Análisis factorial de la influencia del deslizamiento (D), la presión (P), la diferencia de dureza entre los materiales (M), el contaminante (C) y sus distintas interacciones sobre el coeficiente de tracción.

Los resultados que se obtienen al hacer el análisis se resumen en la tabla 22. De ella se extrae que los parámetros más influyentes en el valor del coeficiente de tracción (teniendo en cuenta los niveles seleccionados) son el deslizamiento, la presión y la presencia de agua en el contacto, los tres con una influencia muy similar. El hecho de que se combinen materiales de distinta dureza, aunque afecta enormemente a otros resultados como el desgaste, no tiene una gran importancia en la variación del coeficiente de tracción, aunque su interacción con el deslizamiento no es despreciable, siendo ésta la de mayor importancia de todas.

Si se evalúa la respuesta del valor estabilizado del coeficiente de tracción y del punto de estabilización de las curvas de adherencia frente a la presión, los materiales en contacto y el contaminante presente se obtienen las tablas 23 y 24.

| f_{∞} | P | M | C | PM | PC | PMC |
|--------------|---------------|--------|---------------|---------|---------------|--------|
| 0,173 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 0,23 | -1 | 1 | 1 | -1 | -1 | -1 |
| 0,198 | 1 | -1 | 1 | -1 | 1 | -1 |
| 0,342 | -1 | -1 | 1 | 1 | -1 | 1 |
| 0,295 | 1 | 1 | -1 | 1 | -1 | -1 |
| 1 | -1 | 1 | -1 | -1 | 1 | 1 |
| 0,29 | 1 | -1 | -1 | -1 | -1 | 1 |
| 0,712 | -1 | -1 | -1 | 1 | 1 | -1 |
| Influencia: | -0,166 | 0,0195 | -0,169 | -0,0245 | 0,1158 | 0,0463 |

Tabla 23.- Análisis factorial de la influencia de la presión (P), la diferencia de dureza entre los materiales (M), el contaminante (C) y sus distintas interacciones sobre f_{∞} .

| Dest | P | M | C | PM | PC | PMC |
|-------------|---------------|--------|---------------|---------|-------------|-------|
| 1,007 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 1,687 | -1 | 1 | 1 | -1 | -1 | -1 |
| 1,246 | 1 | -1 | 1 | -1 | 1 | -1 |
| 1,968 | -1 | -1 | 1 | 1 | -1 | 1 |
| 0,344 | 1 | 1 | -1 | 1 | -1 | -1 |
| 10 | -1 | 1 | -1 | -1 | 1 | 1 |
| 1,296 | 1 | -1 | -1 | -1 | -1 | 1 |
| 6,082 | -1 | -1 | -1 | 1 | 1 | -1 |
| Influencia: | -1,981 | 0,3058 | -1,477 | -0,6035 | 1,63 | 0,614 |

Tabla 24.- Análisis factorial de la influencia de la presión (P), la diferencia de dureza entre los materiales (M), el contaminante (C) y sus distintas interacciones sobre el punto de estabilización de las curvas de adherencia.

En ambos casos puede verse claramente como la influencia del tipo de acero empleado en la fabricación de los discos es mucho menor que la de la presión o la presencia de agua. Tanto es así, que en estos casos ni siquiera la interacción de ese parámetro con algún otro adquiere gran importancia.

Naturalmente, esto no implica que la naturaleza de los aceros no tenga ninguna influencia sobre el coeficiente de tracción, solamente que comparado con otros no es de los más importantes. En capítulos posteriores se verá como esta circunstancia puede cambiar drásticamente cuando se estudian otros resultados como el desgaste.

5.1.7.- **RESUMEN**

El estudio de los coeficiente de tracción muestra que los valores obtenidos entran dentro del rango presentado por otros estudios, lo que confirma la posibilidad de usar aceros al carbono comerciales para estudiar el fenómeno de la rodadura y también que ha sido acertado reducir la

presión normal de contacto teniendo en cuenta la menor resistencia mecánica de los aceros usados en comparación con los ferroviarios.

En la evolución del coeficiente de tracción con los metros rodados se hace patente que el uso de uno o dos aceros bainíticos y, más que nada, la presencia de agua aumentan la variabilidad de los resultados, resultando en curvas con una evolución más caótica, aunque siempre dentro de unos límites controlados. Estas curvas, partiendo de cero pueden alcanzar la estabilidad de forma suave (deslizamientos bajos) o pasando por un pico (deslizamientos altos), cuya duración se ha relacionado con el tiempo necesario para que la superficie de los discos se degrade, muestre presencia de grietas en su superficie y comiencen a aparecer partículas de desgaste. Esta hipótesis se sustenta no sólo en observaciones visuales de los discos durante los ensayos sino también en el hecho de que mayores presiones normales van acompañadas de una notable reducción en la duración de los picos, que se vuelven mucho más agudos.

Respecto a las curvas de adherencia, éstas se han obtenido a partir del coeficiente de tracción a los 1100 metros y muestran dos tipos de evolución hasta su estabilización. La mayor parte de ellas tienen una transición suave, pero los ensayos con agua presentan un pico si la diferencia entre la dureza de los dos discos en contacto es alta. En ningún caso las curvas muestran un descenso apreciable de la adherencia que rompa la citada estabilidad, debido a que el deslizamiento no es lo bastante alto como para provocar el aumento de temperatura necesario.

Estas curvas se pueden ajustar con bastante fiabilidad a la función exponencial con crecimiento amortiguado (9) o a la (46) si presenta el pico citado. A partir de estos ajustes y teniendo en cuenta que los resultados que se extraigan pueden no ser acertados mucho más allá de los rangos seleccionados para las variables de control usados en los ensayos, se ha establecido que la dureza y las características microestructurales de los aceros son el parámetro que menos influye en el valor del coeficiente de rozamiento, por lo que su influencia sobre él puede casi desprejarse, excepto cuando la diferencia de durezas es muy grande y a muy bajos deslizamientos.

Por otra parte, se ha estudiado las características de las curvas de adherencia ajustadas en base a tres parámetros: el valor del coeficiente de

tracción estabilizado, el punto de estabilización y la altura del pico, cuando existe, sobre el valor estabilizado.

El primero de ellos, f_{∞} , sigue la dependencia con la presión de tipo potencial decreciente descrita por la fórmula (47) y representada en la figura 122. Mientras a altas presiones f_{∞} tiende a un valor algo menor a 0.2, independientemente de si se añade agua al contacto o no, las bajas presiones hacen subir su valor hasta más de 0.8 en seco y sólo hasta 0.3, como media, con agua.

La relación entre el valor de deslizamiento al cual se estabiliza la adherencia y la presión normal sigue en seco la relación exponencial decreciente (50), mientras que con agua no se puede asegurar que exista una influencia clara y los valores encontrados se sitúan en cualquier circunstancia un poco por encima del 1%. Es a este mismo valor, que coincide con la teoría de Carter, hacia donde tienden los valores de estabilización cuando el ensayo es en seco y se aumenta la presión de contacto, excepto en el caso en que se ensaya un acero bainítico frente a un acero al carbono, condiciones en las que la tendencia es al 0.3%. A partir de esos valores, un descenso en la presión va acompañado de un aumento del valor del deslizamiento al cual se estabiliza la adherencia, con valores que van más allá del 5% en muchos casos.

Respecto al valor del pico, de nuevo la presión normal es la que despunta como un parámetro más influyente que la naturaleza de los aceros en contacto, siempre teniendo en cuenta que la existencia de esos picos está supeditada a que los ensayos sean con agua y a que exista una determinada diferencia en la dureza de los aceros.

Por último, si se añade aceite al contacto su efecto lubricante hace que la adherencia caiga en cualquier caso por debajo de 0.1, minimizando la influencia del resto de parámetros de control. Las curvas de adherencia en este caso muestran un crecimiento suave y una estabilización que sucederá a valores de deslizamiento claramente superiores al 5%. Al igual que en el resto de ensayo, un aumento de la presión también en este caso va acompañado de una caída en el coeficiente de tracción.

5.2.- ASPECTO DE LOS DISCOS TRAS LOS ENSAYOS

En este capítulo se va a estudiar el aspecto que presentan las superficies tras el ensayo. La observación visual de las mismas, complementada con un estudio de microscopía óptica, es capaz de proporcionar de forma sencilla y rápida una cantidad ingente de datos sobre los procesos tribológicos que han tenido lugar durante el ensayo y sobre el tipo de daño que han sufrido las superficies, siendo una herramienta insustituible a la hora de determinar la naturaleza de estos procesos.

Como se verá a lo largo de este capítulo y los posteriores, el aspecto de la superficie está cualitativamente relacionado con el tipo de desgaste que se produce y está marcado principalmente por la aparición o no de grietas y partículas de desgaste en la superficie. Tan íntima es la relación con el régimen de desgaste que su identificación a partir de la observación visual de los discos resulta inmediata.

Aunque aquí se va a hacer una descripción del aspecto de la superficie de los discos, las características particulares de las grietas superficiales se hará con más detalle en el capítulo 5.7.

5.2.1.- ASPECTO SUPERFICIAL: ENSAYOS EN SECO C45-C55

En el anexo 2 puede verse el aspecto que presentan los discos ensayados en las distintas condiciones que se has probado en esta tesis. Tal y como se detalla en la tabla 25, el aspecto de la superficie para los ensayos entre aceros C45 y C55 pueden dividirse en 3 grupos, que se corresponden también con el nivel de desgaste soportado por la superficie, razón por la que se ha decidido usar la misma nomenclatura:

Grupo 1: Desgaste ligero.

Grupo 2: Desgaste severo.

Grupo 3: Desgaste catastrófico.

| Deslizamiento (%) | Presión normal máxima | | | |
|-------------------|-----------------------|-------|--------|--------|
| | 688.5 | 918.0 | 1147.5 | 1383.7 |
| 0.10 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 0.25 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 0.50 | 2 | 2 | 2 | 2 |
| 0.75 | 2 | 2 | 2 | 2 |
| 1.00 | 2 | 2 | 2 | 2 |
| 2.00 | 3 | 2 | 2 | 2 |
| 5.00 | 3 | 2 | 2 | 2 |

Tabla 25.- Grupos de aspecto de la superficie para los ensayos en seco entre aceros C45 y C55 y las distintas presiones ensayadas.

5.2.1.1.- **GRUPO 1: DESGASTE LIGERO**

El primer grupo, correspondiente a un desgaste ligero, incluye los ensayos realizados con bajo deslizamiento (0.25% o menor) o, para ser más exactos, aquellos en los que el coeficiente de tracción ha sido inferior a 0.2. El aspecto de estos discos es el que muestra la figura 124.

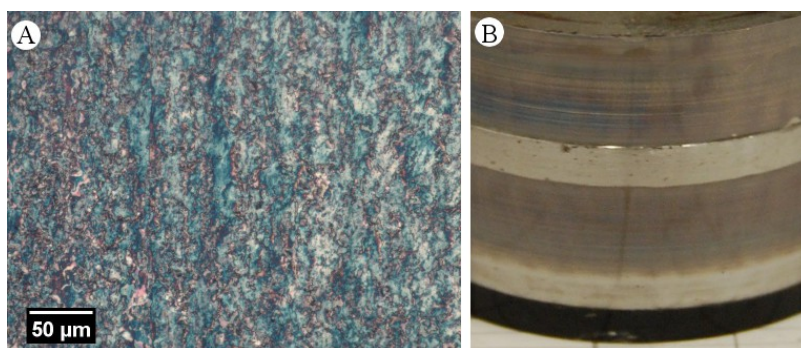


Figura 124.- Aspecto de la superficie de los discos correspondientes a los ensayos de C45 con C55 en seco y a bajos deslizamientos. A: Imagen óptica x100. B: Aspecto visual de los discos.

En estos ensayos la superficie acaba recubierta por un óxido de color marrón pero no se aprecia ningún tipo de daño relevante más allá del aplastamiento de la rugosidad superficial y de su oxidación debido al calor generado en el contacto. El que el óxido sea de color marrón claro indica que se trata de Fe_2O_3 . En algunos casos es posible incluso observar la

rugosidad inicial de la probeta, que se corresponde con las rayas del lijado que se hacía antes del ensayo e incluso con las del mecanizado.

5.2.1.2.- GRUPO 2: DESGASTE SEVERO

El segundo grupo de la clasificación adoptada se corresponde con los ensayos en que han aparecido partículas de desgaste en una cantidad importante. Una buena parte de estas partículas queda adherida a las superficies (quizá incluso no han llegado a soltarse del todo) y al pasar por la zona de contacto entre los discos la elevada presión que existe en esa zona las clava en la superficie del disco ancho, que en este caso es el fabricado en C45, que hace de rueda. Podría pensarse que la razón por la que las partículas quedan clavadas en el disco ancho y no en el estrecho hay que buscarla en la mayor concentración de carbono que tiene el acero C55 de los discos estrechos o en la mayor dureza que llegan a adquirir estos discos estrechos (véase el capítulo 5.5), pero exactamente el mismo fenómeno se da cuando el material del disco ancho es un acero bainítico y el del disco ancho se mantiene; es decir, las partículas se clavan en el disco ancho bainítico y no en el estrecho fabricado en un acero al carbono más blando. Así pues, la causa última que lo justifique es preciso buscarla en otro lado, y se encuentra en la forma que adquiere la superficie de ambos discos debido a la deformación plástica que aparece y al desgaste.

Tanto la deformación plástica como el desgaste pueden alterar la geometría de los discos, pero lo hacen de forma diferente en cada uno. En los discos anchos solamente los 8 mm centrales del canto están sometidos a las tensiones asociadas a la rodadura, lo que implica que la deformación plástica queda severamente limitada por el material adyacente y prácticamente va a ser el desgaste el único proceso que va a modificar el disco creando un canal en la zona de rodadura. Evidentemente, también va a existir algo de deformación plástica, pero el desplazamiento lateral de material que eso supone lleva a su acumulación en el borde del carril de rodadura, contribuyendo a aumentar la concavidad del mismo.

Por el contrario, los discos estrechos están sometidos en su totalidad a las tensiones de contacto, sin material lateral que impida la deformación. En este caso, aunque el desgaste no sea para nada despreciable, son las deformaciones plásticas las que van a controlar la geometría del disco, al fluir el material hacia los laterales del disco para formar allí una pequeña

rebaba que se dobla hacia el centro de los discos por falta de soporte. En definitiva, la forma del carril de rodadura es cóncava en el disco ancho, lo que favorece la retención de partículas y convexa en el disco estrecho, lo cual promueve la expulsión de las mismas. La figura 125 puede ayudar a clarificar estas ideas.



Figura 125.- Cambios geométricos en los discos tras los ensayos. Se ha exagerado enormemente la elevación de material que rodea el carril de rodadura en el disco ancho debido a la deformación plástica.

Esta diferencia en la respuesta de los discos debido a su ancho se plasma con claridad en el aspecto que presentan a simple vista en la figura 126, donde los anchos tienen su superficie cubierta de partículas en mayor o menor medida y los estrechos se muestran totalmente limpios y libres de ellas.

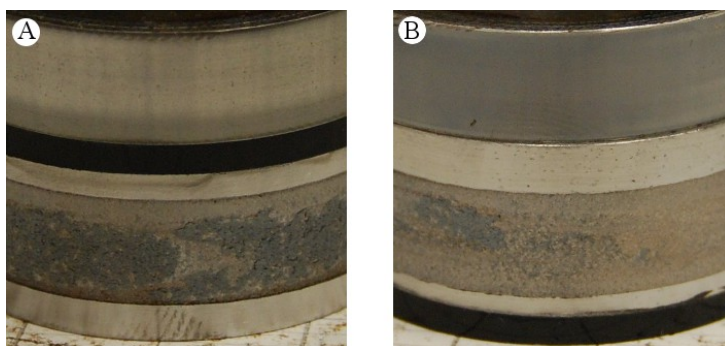


Figura 126.- Aspecto visual de los discos de aceros C45 y C55 ensayados en seco tras los ensayos para los casos en los que las partículas de desgaste quedan clavadas en la superficie, en mayor (A) o menor (B) cantidad..

Esta presencia de partículas adheridas cubriendo casi toda la superficie del disco que hace de rueda, mientras que el que hace las funciones de raíl esta limpio ha sido descrita también muy recientemente por Lewis [106]. La mayor parte de estas partículas pueden retirarse de la superficie con un suave cepillado, aunque algunas están fuertemente clavadas. En la figura 127 pueden verse algunas de estas partículas de

desgaste en una imagen en falso color:

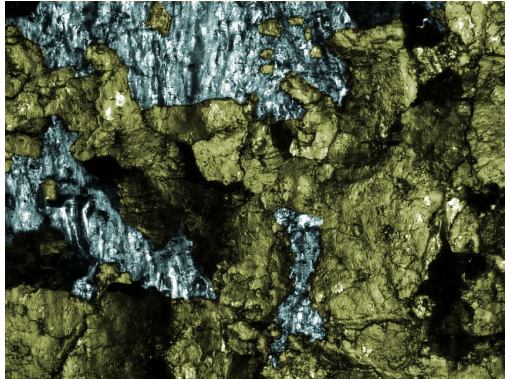


Figura 127.- Imagen en falso color de partículas de desgaste clavadas en la superficie de los discos anchos de C45 tras el ensayo

El estudio al microscopio revela datos adicionales sobre el efecto que tienen estas partículas sobre la superficie en que se clavan. La figura 128 muestra el aspecto de los cráteres causados por las partículas de desgaste cuando se clavan en el disco. Es interesante ver como en algunos casos las fuerzas tangenciales que aparecen en el contacto son capaces de arrastrar ligeramente las partículas para arar la superficie y dar origen a unos cráteres alargados (figura 128-derecha).

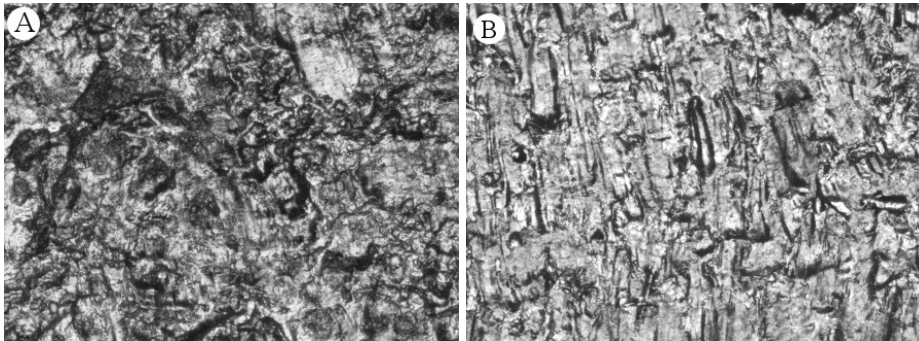


Figura 128.- Aspecto de dos superficies con cráteres. En la (A) son redondeados(918 MPa - 2%) y en la (B) alargados debido al arrastre de partículas (1384 MPa - 5%). Las fotografías se han tomado tras eliminar las partículas adheridas.

La tendencia a que suceda esto último parece aumentar conforme se incrementa la presión normal de contacto. Esta circunstancia parece que desafíe la lógica ya que un aumento de esas fuerzas va acompañado, en

estos ensayos, de un descenso de las tensiones tangenciales que son las que provocan el arado de la superficie pero puede justificarse de la siguiente manera: las tensiones tangenciales, aunque desciendan siguen teniendo magnitud suficiente como para arar la superficie haciendo que se muevan las partículas de desgaste que estarán más profundamente clavadas conforme más altas sean las tensiones normales, resultando en que el arado es más visible a altas presiones normales y mucho menos en el caso contrario.

No obstante, no toda la superficie de los discos anchos queda siempre cubierta de partículas de desgaste. En estos casos el aspecto de la superficie se asemeja a la que aparece en los discos estrechos: deteriorada y con alguna pequeña partícula adherida pero sin cráteres. Es lo que muestra la figura 129.

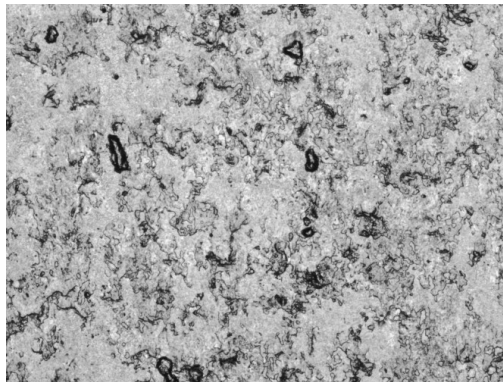


Figura 129.- Aspecto de la superficie de un disco ancho sin partículas adheridas tras un ensayo en seco con aceros C45 y C55

El aspecto de los discos estrechos, por el contrario, difiere mucho de los anchos al no clavarse las partículas de desgaste en su superficie, de forma que muestra con gran claridad el efecto de la deformación plástica y la aparición de grietas superficiales, tal y como puede apreciarse en la figura 130.

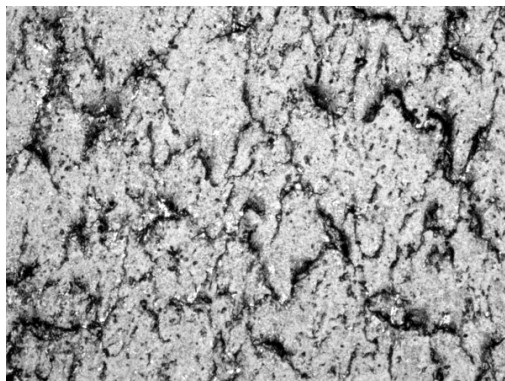


Figura 130.- Aspecto de la superficie de un disco estrecho ensayado en seco con una presión normal de 1147.5 MPa y un 0.5% de deslizamiento.

En estos discos se ha encontrado que las grietas pueden llegar a presentar una forma ondulada o de media luna debido a la enorme deformación superficial que existe. Tal profusión de grietas puede hacer intuir que el desgaste de los discos estrechos debería ser mayor que en los anchos, lo cual no es así (véase la figura 150). Esto lleva a pensar en que la mayor parte de las partículas de desgaste que aparecen provienen del disco ancho, que también debe estar lleno de grietas, aunque éstas no se aprecien en las fotografías de su superficie debido a que la deformación causada por los cráteres no permite apreciarlas. En cualquier caso, estas grietas son visibles cuando se realiza un corte longitudinal del disco.

5.2.1.3.- GRUPO 3: DESGASTE CATASTRÓFICO

El aspecto de los discos cuando aparece este tipo de desgaste es totalmente distinto a los anteriores. Ahora no aparecen partículas de desgaste metálicas con un tamaño importante, sino que son pequeñas y de color negro, pudiéndose hablar más de polvo que de otra cosa. El color negro de este polvo indica que se trata de Fe_3O_4 , en lugar del Fe_2O_3 que aparece asociado al desgaste ligero. Este cambio en la composición del óxido generado es ya una indicación de la mayor liberación energética que tiene lugar en este grupo.

Esto se ve claramente en la figura 131, donde se aprecia el color negro que cubre la superficie del disco ancho, e incluso la del estrecho aparece manchada de partículas oscuras.

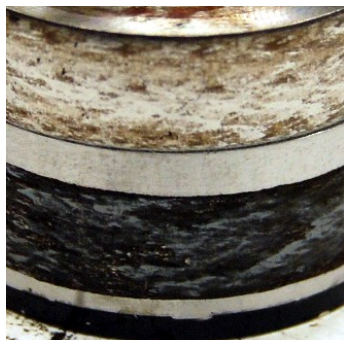


Figura 131.- Aspecto visual de los discos de C45 y C55 tras un ensayo a 900 MPa de presión máxima y 5% de deslizamiento.

Estas partículas aparecen por el efecto que tienen las fuerzas tangenciales cuando el coeficiente de tracción es muy elevado (superior a 0.6 en la figura 104). Lo que sucede en estos casos es que la mayor predominancia de las tensiones tangenciales hace que las capas más externas de los discos queden extremadamente deformadas, tanto que resulta fácil que se arranque una fina capa del material más externo. Al ser tan fina esta capa, queda muy transformada por los fenómenos tribológicos que la afectan y las pequeñas partículas arrancadas son rápidamente trituradas y oxidadas en el área de contacto. Este fenómeno puede apreciarse mejor en la figura 132, donde se aprecia como la microestructura del disco perteneciente al grupo 3 (izquierda) está mucho más deformada y alineada paralelamente a la superficie que el perteneciente al grupo 2 (derecha).

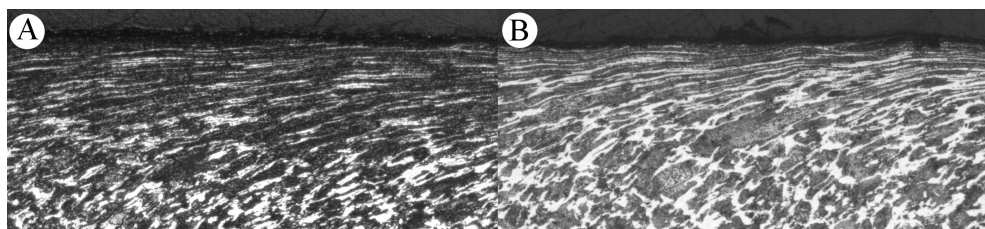


Figura 132.- Aspecto (x100) de la deformación plástica que tiene lugar justo bajo la superficie de los discos anchos con un 5% de deslizamiento a 699.5 MPa (A) y 918 MPa (B).

Al contrario que cuando el desgaste es severo, los discos estrechos no aparecen llenos de grietas superficiales cuando se observa su superficie con el microscopio óptico, aunque si pueden verse en un corte longitudinal

de los discos (véase el apartado 5.7.).

5.2.1.4.- **EFEECTO DE BORDE**

Aparte de lo todo lo comentado es preciso resaltar que el daño y, por tanto también el desgaste, es siempre mayor en los extremos del contacto. Aunque al canto de los discos se les aplicó un pequeño achaflanado, esto no impide que el contacto en esa zona deje de ser hertziano para convertirse, teóricamente, en una singularidad (la figura 133 muestra la forma que tendría el campo de tensiones normales sobre la superficie de contacto obtenido a partir de un análisis de elementos finitos).

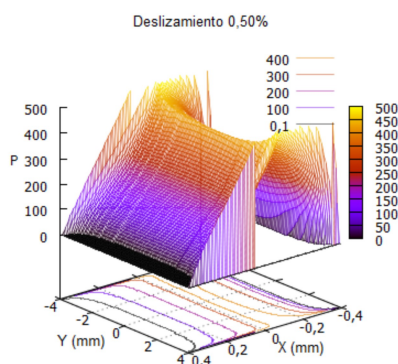


Figura 133.- Campo de tensiones tangenciales en el contacto para una presión máxima de 688.5 MPa y un deslizamiento del 5%.

En realidad lo que ocurre es que aparece un pico de tensión en los extremos que irá irremediablemente acompañado de un mayor desgaste. La figura 134 es un fiel reflejo de lo que sucede en el borde del carril de rodadura y que es en muchos casos apreciable a simple vista si el desgaste global no es muy elevado, ya que, al ir avanzando el ensayo, si las condiciones son lo bastante severas tanto el desgaste como la deformación plástica van cambiando la geometría del carril de rodadura, eliminandose material de las zonas donde las tensiones son mayores y haciendo que esas tensiones se vayan igualando en toda el área de contacto. Cuando esto sucede el efecto descrito que tiene el canto de los discos desaparece o, por lo menos, es irreconocible.

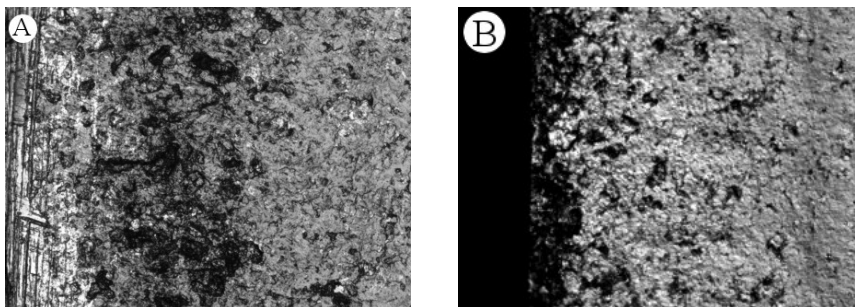


Figura 134.- Aspecto típico del borde de la banda de rodadura en ensayos en seco sin una deformación ni un desgaste excesivos. Discos ancho (A) y estrecho (B) (x100).

En cualquier caso, es este fenómeno el que hace que algunos discos presenten una capa de óxido en todo el carril de rodadura (desgaste ligero) excepto en los extremos, donde su aspecto se corresponde al desgaste severo.

Es posible que este problema se pudiese haber evitado dando un radio a todo el canto de los discos, ya que así se tendría un contacto elíptico y no lineal, pero como se expuso en el capítulo 4.3, esa opción acarrea otro tipo de inconvenientes.

5.2.2.- ASPECTO SUPERFICIAL: ENSAYOS CON AGUA C45-C55

Cuando se añade agua al contacto las condiciones de funcionamiento del par de discos rozantes cambian enormemente, traduciéndose en un aspecto de las superficies completamente distinto al que se obtiene cuando los ensayos se hacen en seco. Si antes se podía dividir el aspecto de las probetas en 3 grupos claramente diferenciados, ahora no es así, sino que su apariencia experimenta una variación mucho más gradual entre un grupo y otro, siendo muy común encontrar la presencia de varios estadios evolutivos en la misma probeta.

Aún así, con agua se pueden igualmente plantear 3 grupos de aspecto superficial, aunque con una subdivisión en el grupo 2:

- Grupo 1A: Oxidación superficial.
- Grupo 1B: Bandas longitudinales.
- Grupo 2: Bandas transversales.

- Grupo 3: Desgaste catastrófico.

Al contrario que en el caso anterior, aquí es mejor describir secuencialmente los cambios graduales que se van produciendo al aumentar la severidad del contacto que describir los grupos por separado, aunque igualmente puede elaborarse la tabla 26, de aspectos:

| Deslizamiento (%) | Presión normal máxima | | | |
|-------------------|-----------------------|-------|--------|--------|
| | 688.5 | 918.0 | 1147.5 | 1383.7 |
| 0.10 | 1A | 1A | 1A | 1A |
| 0.25 | 1B | 1B | 1B | 1B |
| 0.50 | 1B | 1A | 1B-2 | 1B-2 |
| 0.75 | 1B | 2 | 1B-2 | 2 |
| 1.00 | 1B-2 | 1B-2 | 2 | 2 |
| 2.00 | 2 | 2 | 2 | 3 |
| 5.00 | 2 | 2 | 2 | 3 |

Tabla 26.- Aspecto de la superficie para ensayos con agua entre aceros C45 y C55 en función del deslizamiento y la presión máxima equivalente

Antes de seguir es preciso añadir que, de acuerdo con lo observado, la evolución que se describe a continuación puede verse como una evolución en el tiempo desde el grupo 1A al 2. La variación del deslizamiento o la presión normal simplemente la aceleran, resultando en que cuanto más severas son las condiciones de contacto más evolucionada está la superficie al final del ensayo. El grupo 3 presenta tal diferencia con los anteriores que se hace difícil afirmar que los discos puedan llegar a tener ese aspecto simplemente alargando el ensayo una cantidad de tiempo suficiente.

El primer estadio de la evolución del aspecto de los discos (grupo 1A) corresponde a la aparición, igual que en los ensayos en seco, de una capa de óxido rojo sobre la superficie de los discos. Si el deslizamiento es muy bajo es previsible que, dada la mínima severidad de los procesos tribológicos, esta capa se mantenga así independientemente de la duración del ensayo, pero si no es así, en esa capa comienzan a aparecer, al ir

avanzando el tiempo de ensayo, unas bandas longitudinales como las que muestra la figura 135. Aunque no es siempre fácil apreciar esas bandas en las fotografías a tamaño real que se presentan en el anexo 2, las fotos realizadas a 100 aumentos en el microscopio óptico en el anexo 3 aportan la confirmación sobre su existencia. A simple vista se ven como unas bandas estrechas de color marrón oscuro brillante que comprenden toda la circunferencia de los discos sin interrupción alguna. Estas bandas se aprecian también en una fotografía publicada en un artículo de Lewis [71], aunque el autor no hace ninguna referencia a las mismas y en otro reciente artículo [232], aunque en este caso las bandas están formadas por grasa y el autor tampoco hace referencia a ellas.

El hecho de que estas bandas abarquen toda la circunferencia no deja de ser curioso y merece una explicación. Si se tiene en cuenta el hecho de que en el estadio previo a su aparición toda la superficie de rodadura esta cubierta de óxido marrón puede llegarse a la conclusión de que realmente su existencia está causada por la eliminación de esa capa de óxido en el material adyacente.

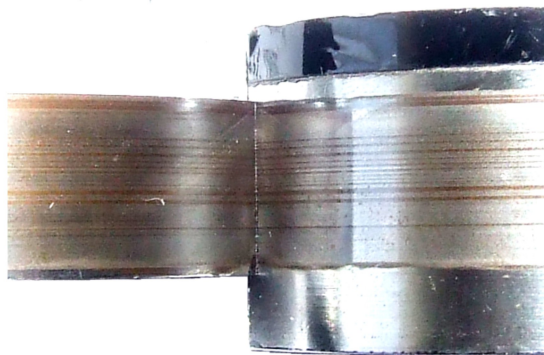


Figura 135.- Bandas longitudinales que aparecen en los ensayos con agua (1147.5 MPa – 0.5% de deslizamiento).

En la figura 135 se ve con claridad como las bandas presentes en los dos discos ensayados concuerdan en ancho y posición. Esta evidencia lleva a que el fenómeno pueda justificarse de la siguiente manera: el proceso de mecanizado y rectificado del canto de los discos no es perfecto, por lo que en el carril de rodadura que formarán los discos durante el ensayo habrán

zonas donde el contacto entre las superficies sea mejor que en otras. Incluso puede ser que hayan puntos en los que no exista el contacto. Dado el proceso de mecanizado y rectificado en torno de los discos, estas irregularidades van a extenderse circunferencialmente en todo el canto de los discos.

La figura 136 muestra como las pequeñas irregularidades existentes en las bandas de rodadura pueden favorecer que la capa de óxido superficial quede sin eliminar en las zonas donde el contacto entre los discos va a ser menor, mientras que en el área adyacente va a ser eliminada. Dado que, como se ha comentado, la zona de no-desgaste forma una estrecha banda circunferencial, el resultado final será el que se aprecia en la figura 141, donde se ha representado gráficamente el estado original y final de los discos y como el fenómeno descrito da origen a las bandas observables en la figura 135. Esto explica también que las bandas no sean ni muy numerosas ni muy anchas.

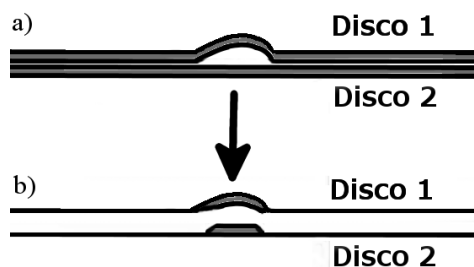


Figura 136.- Zonas de la superficie de los discos donde no existe contacto entre ellos y se va a conservar la capa de óxido, formando unas bandas longitudinales

Hay varias circunstancias que corroboran esta teoría. En primer lugar puede añadirse a la ya comentada existencia previa de una capa de óxido en toda la superficie que las fotografías realizadas por microscopía confocal confirman que las bandas de color de óxido tienen una altura diferente al material base de color claro que las rodea, más brillante al microscopio. Esto se puede apreciar claramente en la figura 137, la cual se ha elaborado a partir de una imagen de microscopía confocal tras aplicar una corrección para eliminar la curvatura de la muestra.

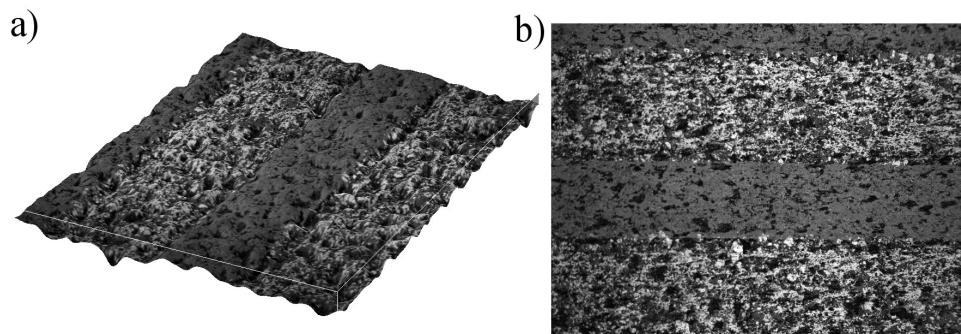


Figura 137.- Reconstrucción de la superficie (a) a partir de una imagen de microscopía confocal e imagen original (b) de una banda longitudinal de óxido en probetas ensayadas con agua.

Una última circunstancia que corrobora este comportamiento de las probetas es que es fácil distinguir al microscopio óptico como la capa de óxido se va eliminando poco a poco. Esto se aprecia muy bien en la imagen 138, en la que puede observarse como la capa continua de óxido va desapareciendo poco a poco para dar origen a las bandas descritas, las cuales, a su vez, también van desapareciendo finalmente.



Figura 138.- Tres etapas en la evolución de las bandas marrones longitudinales desde su aparición a su desaparición (x100)

La desaparición de estas bandas tiene la misma explicación que su aparición: al ir avanzando el ensayo el desgaste va rebajando las partes más elevadas de las superficies de los discos, de forma que las áreas de óxido que antes no entraban en contacto, o, en las que las presiones eran menores, comienzan a tener un contacto más íntimo y comienzan a erosionarse. Finalmente estas bandas desaparecen por completo.

Ahora bien, las curiosidades que ofrecen los ensayos con agua en lo relativo al aspecto final de los discos no terminan aquí. Si la evolución

descrita en párrafos anteriores siguiera su curso lógico, la capa de óxido quedaría eliminada totalmente y las superficie del acero base quedaría totalmente expuesta. No obstante, al mismo tiempo que van desapareciendo las bandas longitudinales marrones comienzan a aparecer otras transversales alternando el color oscuro del óxido de hierro Fe_3O_4 con el claro del acero descubierto (grupo 2B). La figura siguiente es un claro ejemplo de esto:

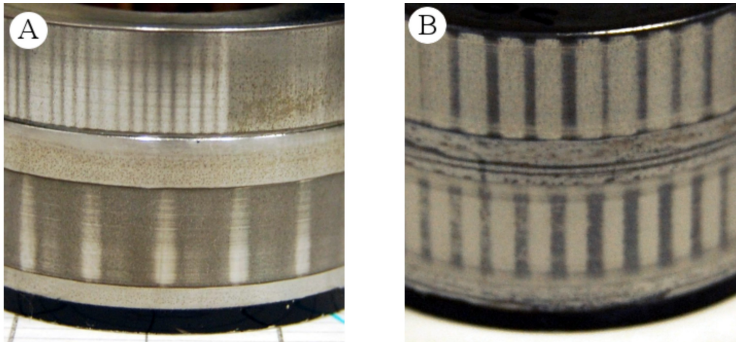


Figura 139.- Bandas transversales de distinto ancho en ensayos lubricados con agua.

Estas bandas, que también son ligeramente apreciables en un caso en los ensayos en seco dibujadas en la capa de partículas adheridas al disco ancho (688.5 MPa y 2% de deslizamiento, circunstancia que no se menciona en el apartado anterior por no volver a repetirse), quizá debido a una humedad alta, recuerdan al corrugado que aparece en los raíles de ferrocarril y que tantos problemas causa por el ruido y vibraciones que provoca. Si se trata del mismo fenómeno o no es algo que excede el alcance de esta tesis, pero no deja de ser remarcable la coincidencia e interesante el que un fenómeno tan problemático como la corrugación pueda estar causado principalmente por la presencia de agua en la superficie del raíl, por lo que sería de sumo interés una posterior profundización en el estudio de los ensayos realizados con agua y su comparación con la bibliografía existente sobre el tema.

En cualquier caso, la aparición de corrugación se relaciona con la presencia de vibraciones, que causan un desgaste o una deformación con forma ondulatoria [178][236] y cuya frecuencia determinará la distancia entre corrugas. Si tal es el caso, en los ensayos se han obtenido distintas separaciones, que podrían relacionarse con distintos modos vibratorios del

equipo de ensayos. Por desgracia no se ha usado ningún acelerómetro y, aunque quizá fuese posible hacer un análisis en frecuencia de las oscilaciones presentes en las curvas obtenidas para el par y la fuerza normal, la frecuencia de toma de datos ha sido de 4 Hz, muy por debajo de lo necesario para hacer este análisis. La frecuencia mínima de muestreo sería, de acuerdo con el teorema de Nyquist, el doble de la de la onda a estudiar. Esta última frecuencia puede estimarse a partir de la distancia entre las bandas transversales, que puede oscilar, aproximadamente, entre 1 y 8 mm. Como los discos giran como mínimo a 416 rpm (6.9 rps) y las marcas se repiten entre 12 y 110 veces en toda la circunferencia de los discos, la frecuencia mínima de muestreo que debería haberse usado está entre 2x83 y 2x760 Hz, siendo mejor esta última para poder abarcar todos los ensayos.

Así pues, no queda más remedio que suponer que a valores de frecuencia entre 83 y 760 Hz debe aparecer un pico en el diagrama de frecuencias que de alguna forma se acoplará con algún parámetro característico de la lubricación con agua.

Además de estas bandas, también es frecuente encontrar grietas en la superficie de los discos cuando el deslizamiento supera el 1%. Estas grietas son mucho más abundantes en los discos estrechos, aunque también pueden encontrarse en los anchos. Esta diferencia puede verse claramente en la figura 140, en la que también se puede ver como las grietas, al igual que en los ensayos en seco, presentan un aspecto ondulado debido a la deformación plástica de la superficie. Las zonas claras y oscuras de las fotografías corresponden a las distintas bandas transversales.

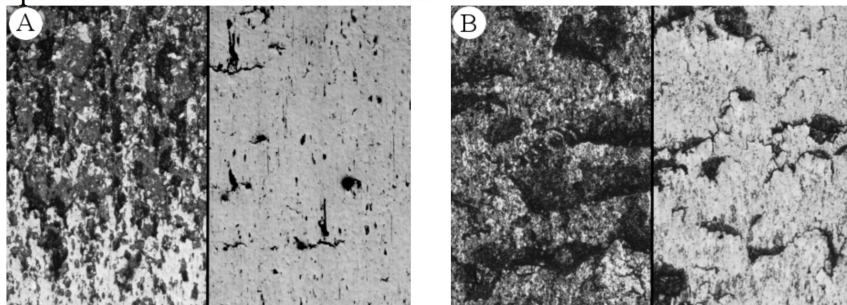


Figura 140.- Aspecto de la superficie para el disco ancho de C45 (A) y estrecho de C55 (B) tras el ensayo con agua, un deslizamiento del 2% y una presión máxima de 1147.5 MPa (x100).

Queda por describir un último grupo de probetas cuya apariencia es la asociada a un desgaste catastrófico. En este caso y al contrario de lo que ocurría con los ensayos en seco, en los que este desgaste se asocia a la combinación de deslizamientos altos y presiones bajas, el máximo desgaste se obtiene con deslizamientos altos pero presiones normales también altas. Lo que en realidad ocurre, como se verá en el apartado 5.3.2 (figura 151), es que ambas circunstancias se traducen en las tensiones tangenciales más elevadas dentro de su grupo de ensayos. Además, se da también la circunstancia de que si en seco el disco recubierto de polvo negro era el ancho, aquí este permanece limpio y es el estrecho el que termina cubierto de óxido negro. Además, este disco se encuentra cubierto por una tupida red de escamas metálicas debido a la gran cantidad de grietas que cubre su superficie (figura 141).



Figura 141.- Aspecto visual de los discos ensayados con agua a 1384.7 MPa y un 2% de deslizamiento.

La razón por la que el polvo negro no se encuentra adherido al disco ancho podría estar en la acción de lubricación y lavado que tiene el agua, la cual evita que las partículas se claven en el disco ancho como sucede en seco. No obstante, en condiciones tan severas como las representadas en la figura anterior, las finas partículas de polvo de óxido negro que se generan quedan retenidas en la superficie del disco sobre el que se generan (el desgaste es muchísimo mayor en el disco estrecho), la cual está llena de grietas que lo facilitan, no pudiendo ser transferidas al disco ancho debido a la capa de líquido que separa los discos.

5.2.3.- ASPECTO SUPERFICIAL: ENSAYOS CON ACEITE C45-C55

El aspecto de la superficie de los discos tras los ensayos si se lubrica con aceite apenas experimenta variación respecto a su estado inicial, por lo menos en todas las condiciones de ensayo que se han probado. Esto concuerda con los resultados expuestos en capítulos anteriores sobre estos ensayos, donde se menciona el bajo coeficiente de tracción que aparece en estos ensayos. Apenas una pequeña reducción de las rayas causadas por el lijado de los discos es lo que puede apreciarse en las fotografías tomadas de su superficie , como las mostradas en la figura 142.

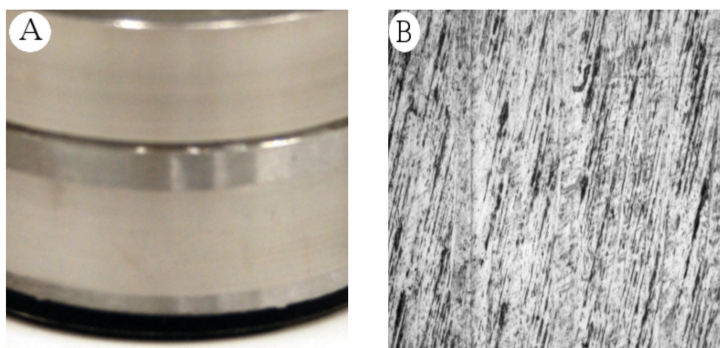


Figura 142.- Aspecto de los discos ensayados con aceite, tamaño real (A) y x100 (B). La muestra corresponde al ensayo con un 2% de deslizamiento y 1147.5 MPa de presión máxima.

5.2.4.- ASPECTO SUPERFICIAL: ENSAYOS BAINÍTICO-C55

Si cuando se usan aceros al carbono ya es fácil encontrar una notable diferencia en cuanto al distinto aspecto de los dos discos que conforman el par de rodadura. En estos casos es evidente que la clara mayor dureza de uno de ellos va a marcar el comportamiento del sistema y, por ende, la apariencia de los discos.

Comenzando por los ensayos en seco, tal es la influencia de la diferencia de dureza entre los discos que incluso a bajos deslizamientos (0.25%) se ha encontrado que el aspecto de la superficie de los discos se corresponde con el descrito para desgaste severo o grupo 2 (véase la tabla 27, donde se presenta la clasificación de los ensayos en función del aspecto

de la superficie). Debido a esto la apariencia de los discos tras los ensayos en seco no cambia mucho sea cual sea el deslizamiento o la presión de contacto, por lo menos dentro del rango de valores probados, siendo similar al encontrado en los discos estrechos para los ensayos en seco entre aceros al carbono sin tratamiento de endurecimiento y deslizamientos medios. Lo único que resulta un tanto inesperado, dada la diferencia de dureza entre los discos es que en seco el desgaste del disco estrecho no sea mayor de lo que es, tal y como se verá en el capítulo 5.3, aunque esto tiene también su explicación en la menor afinidad cristalina entre los aceros ensayados.

| Desl. (%) / Mat. | En seco | | Con agua | |
|------------------|-----------|------------|-----------|------------|
| 430HV-C55 | 688.5 MPa | 1147.5 MPa | 688.5 MPa | 1147.5 MPa |
| 0.25 | 2 | 2 | 1B | 3 |
| 0.75 | 2 | 2 | 2 | 3 |
| 2.00 | 2 | 2 | 2 | 3 |

| Desl. (%) / Mat. | En seco | | Con agua | |
|------------------|-----------|------------|-----------|------------|
| 530HV-C55 | 688.5 MPa | 1147.5 MPa | 688.5 MPa | 1147.5 MPa |
| 0.25 | 2 | 2 | 2 | 3 |
| 0.75 | 2 | 2 | 2 | 3 |
| 2.00 | 2 | 2 | 2 | 3 |

Tabla 27.- Aspecto de la superficie para ensayos en seco y con agua entre aceros bainítico y C55 en función del deslizamiento y la presión máxima equivalente.

Como principales características cabe destacar la presencia de grietas en los dos discos en contacto, sobre todo en el estrecho, y de partículas de desgaste adheridas a la pista de rodadura de los anchos, igual que ocurría en los ensayos descritos previamente, aunque en este caso son de menor tamaño y aparecen clavadas en el disco ancho en una cantidad también significativamente menor debido a que la elevada dureza de estos discos impide que las partículas se claven en ellos a no ser que su pequeño tamaño haga que las tensiones que generan al pasar por la zona de contacto sean elevadas. Como ya se ha comentado, la geometría de los discos estrechos impide que se claven en su superficie, por lo que aparecen prácticamente limpios.

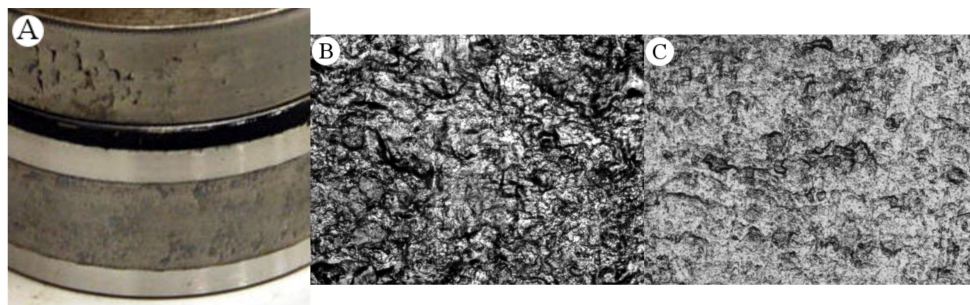


Figura 143.- Aspecto de la superficie de los discos tras los ensayos bainítico-C55 en seco. A: tamaño real, B: disco ancho (x100) y C: disco estrecho (x100)

Las diferencias de aspecto que se encuentran para los distintos deslizamientos es la mayor cantidad de escamas que presentan los discos a medida que el coeficiente de tracción aumenta, algo lógico si se tiene en cuenta que eso va asociado a un aumento de las tensiones tangenciales y, por ende, a una mayor deformación plástica y aparición de grietas superficiales. Este fenómeno es más apreciable con una presión normal de 688.5 MPa y menos a 1147.5 MPa, cuando la variación del coeficiente de tracción con el deslizamiento es mucho menor (figura 167).

Volviendo a la presencia de escamas en los discos estrechos, parece ser (véanse las fotos del anexo 2) que la dureza del disco ancho tiene una notable incidencia sobre su aparición ya que se observa una tendencia a que su presencia sea apreciablemente mayor cuando éste tiene una dureza de 530 HV que cuando es de 430 HV para todo el rango de deslizamientos y presiones ensayados. De este aspecto superficial puede deducirse que los discos experimentarán un mayor desgaste global conforme aumente la dureza del acero bainítico, lo cual se confirmará en el apartado dedicado al estudio de ese resultado.

Los ensayos realizados con agua siguen la misma evolución que los llevados a cabo entre aceros al carbono, con la diferencia de que la evolución hacia las fases más avanzadas de daño es mucho más rápida. Debido a ello, prácticamente todos los discos presentan un aspecto correspondiente al grupo 2 o al 3 de los descritos para los ensayos con agua entre aceros al carbono. La tabla 27 anterior muestra como se clasifican los

distintos ensayos en función de su aspecto superficial cuando se usa el par bainítico-C55 y se añade agua al contacto. Además es preciso añadir que el aspecto de muchos de los discos incluidos en el grupo 2 se encuentra en un estadio avanzado, aunque la cantidad de grietas y escamas visibles en la superficie del disco estrecho no son suficientes para incluirlos en el grupo 3, lo que también ha sido confirmado por los valores de la velocidad de desgaste asociada a los mismos. En la tabla 28 se pone de manifiesto la fuerte influencia que tiene la presión normal sobre el aspecto superficial cuando se añade agua al contacto. Para la presión normal más baja, de 688.5 MPa, todos los discos estrechos se caracterizan por la presencia de grietas, escamas y bandas transversales, mientras que los anchos, de mayor dureza, muestran una superficie más limpia y mucho menos deteriorada, aunque también presenta algunas marcas dejadas por las partículas de desgaste. Solamente los discos ensayados con un deslizamiento del 0.25% y usando el acero bainítico de menor dureza muestran una superficie recubierta por una capa de óxido, como las correspondientes al grupo 1A/1B.

Todos los ensayos con agua y una presión máxima de 1147.5 MPa muestran un elevadísimo desgaste y un aspecto que los hace estar dentro del grupo 4, independientemente del deslizamiento.

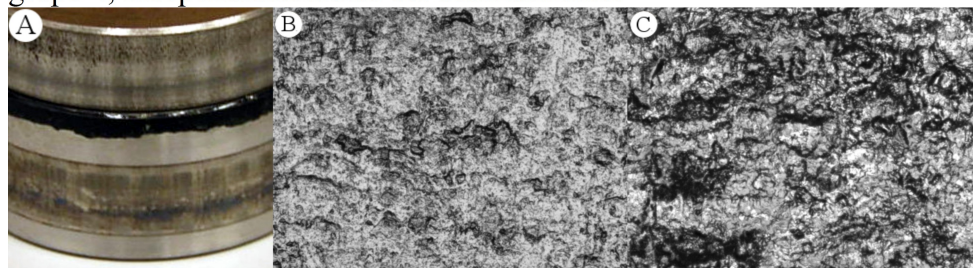


Figura 144.- Aspecto típico de la superficie de los discos tras los ensayos bainítico-C55 con agua. A: tamaño real, B: disco ancho (x100) y C: disco estrecho (x100)

Esto es una clara evidencia de la importancia que puede tener la presión normal cuando la diferencia de dureza entre los materiales en contacto en rodadura es grande, aunque quizá sea mejor hablar de diferencia de microestructura, ya que cuando el contacto está lubricado con agua no se aprecian diferencias importantes en lo relativo al aspecto de los discos entre usar un acero bainítico de 430HV o usar uno de 530HV. O dicho de otra forma, tiene más importancia el hecho de que haya cambiado la microestructura de uno de los discos que la magnitud de ese cambio medido

en base a su dureza. De todas formas, esto es en lo referente al aspecto del disco, como se verá más adelante, la dureza si que tiene una suma importancia en otros parámetros como el desgaste.

Respecto a los ensayos llevados a cabo con lubricación con aceite, no se ha encontrado diferencia alguna respecto a lo ya descrito para los ensayos con aceros al carbono, por lo que no se va a añadir nada más.

5.2.5.- ASPECTO SUPERFICIAL: ENSAYOS CON ACEROS BAINÍTICOS

En este caso ambos discos han sido sometidos a un tratamiento de endurecimiento, con lo que vuelve a desaparecer la diferencia de durezas y de estructura metalográfica que existía en el caso anterior. Se podría pensar que al tener ambos discos una dureza elevada van a estar más protegidos frente a los fenómenos tribológicos. No obstante, el aspecto que presentan los discos tras los ensayos ya presagia que no va a ser así.

En la tabla 28 puede verse la clasificación de los ensayos atendiendo a su aspecto visual. En lo referente a los ensayos en seco, en general, los discos muestran una superficie dañada, pero en menor medida que los fabricados en los aceros C45 y C55, con mucha menor cantidad de grietas visibles en la superficie y pocas partículas de desgaste adheridas a los discos anchos debido, como ya se ha comentado, a que su mayor dureza impide que se claven en la superficie. Pese a este aparente comportamiento resalta el hecho de que a deslizamientos del 0.25% y 1147.5 MPa, cuando en los ensayos entre aceros al carbono todos los discos se podían englobar en el grupo 1, la capa de óxido superficial ya se ha eliminado en casi todos los casos, aunque la superficie no está lo bastante dañada como para englobarla dentro del siguiente grupo (figura 145). Esto es importante, puesto que estos aceros sufren más que los aceros al carbono cuando trabajan a bajos deslizamientos.

| Desl. (%) / Mat. | En seco | | Con agua | |
|------------------|-----------|------------|-----------|------------|
| 430HV-430HV | 688.5 MPa | 1147.5 MPa | 688.5 MPa | 1147.5 MPa |
| 0.25 | 1 | 1-2 | 1A | 1B |
| 0.75 | 2 | 2 | 2 | 1B |
| 2.00 | 2 | 2 | 2 | 2 |
| Desl. (%) / Mat. | En seco | | Con agua | |
| 530HV-530HV | 688.5 MPa | 1147.5 MPa | 688.5 MPa | 1147.5 MPa |
| 0.25 | 1 | 1-2 | 1A | 1A |
| 0.75 | 2 | 2 | 1A | 1B |
| 2.00 | 2 | 2 | 2 | 2 |
| Desl. (%) / Mat. | En seco | | Con agua | |
| 530HV-430HV | 688.5 MPa | 1147.5 MPa | 688.5 MPa | 1147.5 MPa |
| 0.25 | 1 | 1 | 1A | 1A |
| 0.75 | 2 | 2 | 1B-2 | 1B-2 |
| 2.00 | 2 | 2 | 1B-2 | 2 |

Tabla 28.- Aspecto de la superficie para ensayos en seco y con agua entre aceros bainíticos en función del deslizamiento y la presión máxima.

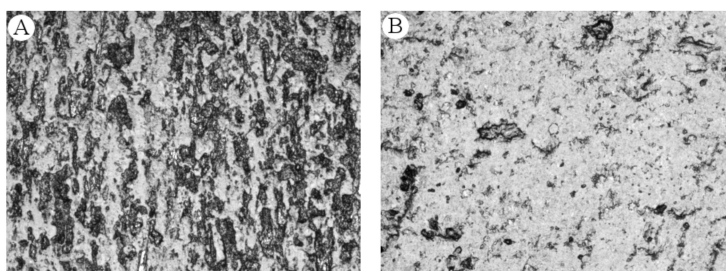


Figura 145.- Aspecto de la superficie de los discos estrechos ensayados con un 0.25% de deslizamiento a 688.5 (A) y 1147.5 MPa (B) de presión máxima (x100).

Cuando se añade agua al contacto la apariencia de los discos es también muy similar a la observada en los ensayos entre aceros al carbono y muestran la misma evolución en lo que se refiere a la presencia de bandas longitudinales y transversales. De igual forma, la presencia de agua ejerce

un efecto protector a bajas presiones que se traduce en unas superficies poco dañadas donde en ocasiones incluso se aprecia claramente la rugosidad inicial, mientras que a altas presiones ese efecto va desapareciendo para dar origen a la aparición de grietas sobre todo en el disco estrecho, más proclive a deformar plásticamente.

La evolución de la cantidad de grietas que se aprecia a medida que se aumenta el deslizamiento y la presión lleva a pensar que a 1147.5 MPa y un deslizamiento del 2 o el 5% podría alcanzarse un nivel de desgaste de tipo catastrófico que llevaría a las superficies a adoptar el aspecto de la figura 131.

En cuanto a los ensayos con aceite, tampoco en este caso hay más transformación que el aplastamiento de la rugosidad superficial.

5.2.6.- PARTÍCULAS DE DESGASTE

Las partículas de desgaste recogidas durante los ensayos en seco en el régimen severo tienen el aspecto que se muestra en la figura 146.

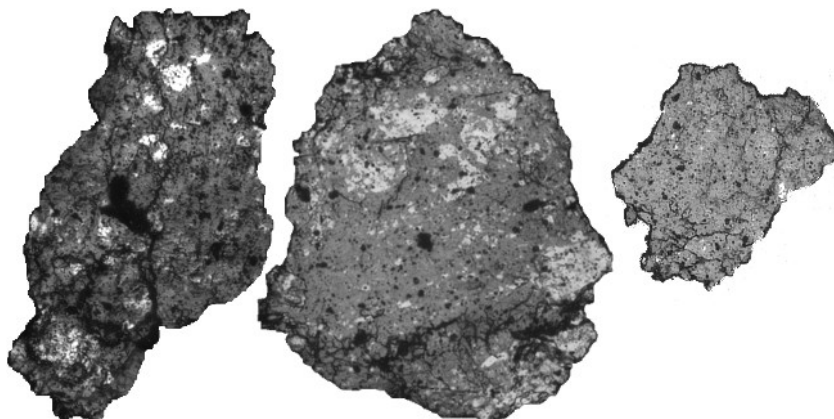


Figura 146.- Partículas de desgaste obtenidas en los ensayos en seco vistas al microscopio óptico (x200)

En su mayor parte se trata de partículas metálicas poco oxidadas con formas y bordes irregulares y ellas mismas pueden presentar grietas en varias zonas. Es interesante ver como en algunas partículas incluso pueden apreciarse las marcas dejadas por el crecimiento de la grieta, como se ve en las dos mostradas en la figura 147.

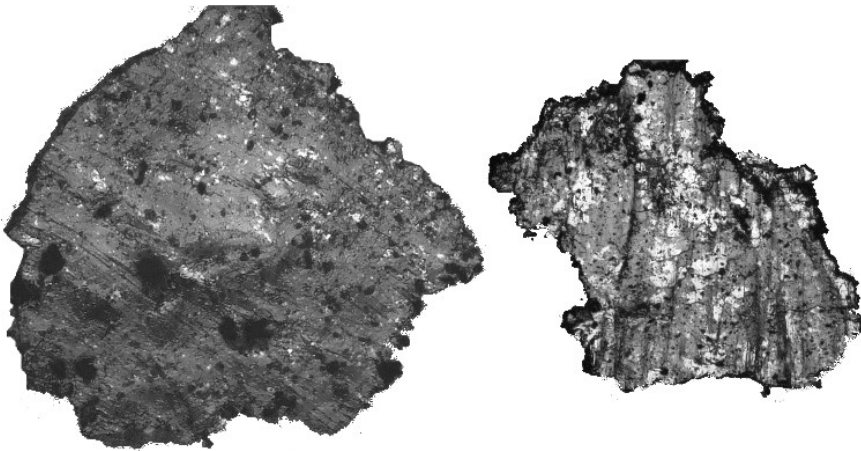


Figura 147.- Partículas de desgaste donde pueden apreciarse las marcas dejadas por el crecimiento de la grieta que las generó (x200).

En cuanto al tamaño de las partículas, no se ha recogido la suficiente cantidad como para establecer su distribución estadística para cada ensayo. No obstante, sí que pueden darse algunos datos. En seco su longitud oscila entre unas pocas micras y unas 600 micras, aunque el tamaño más habitual, independientemente del ensayo y dejando a un lado las que pueden definirse como “polvo fino” se encuentran entre 100 y 200 micras.

El tamaño de las partículas es todavía mayor en los ensayos realizados con agua si esta puede penetrar en las grietas acelerando el desgaste. En ese caso, las partículas pueden fácilmente llegar a medir varios milímetros. El caso opuesto es el que se da a bajas presiones normales y altos deslizamiento en los ensayos en seco entre aceros al carbono, cuando las elevadas tensiones tangenciales que aparecen reducen las partículas a un fino polvo negro de óxido de hierro.

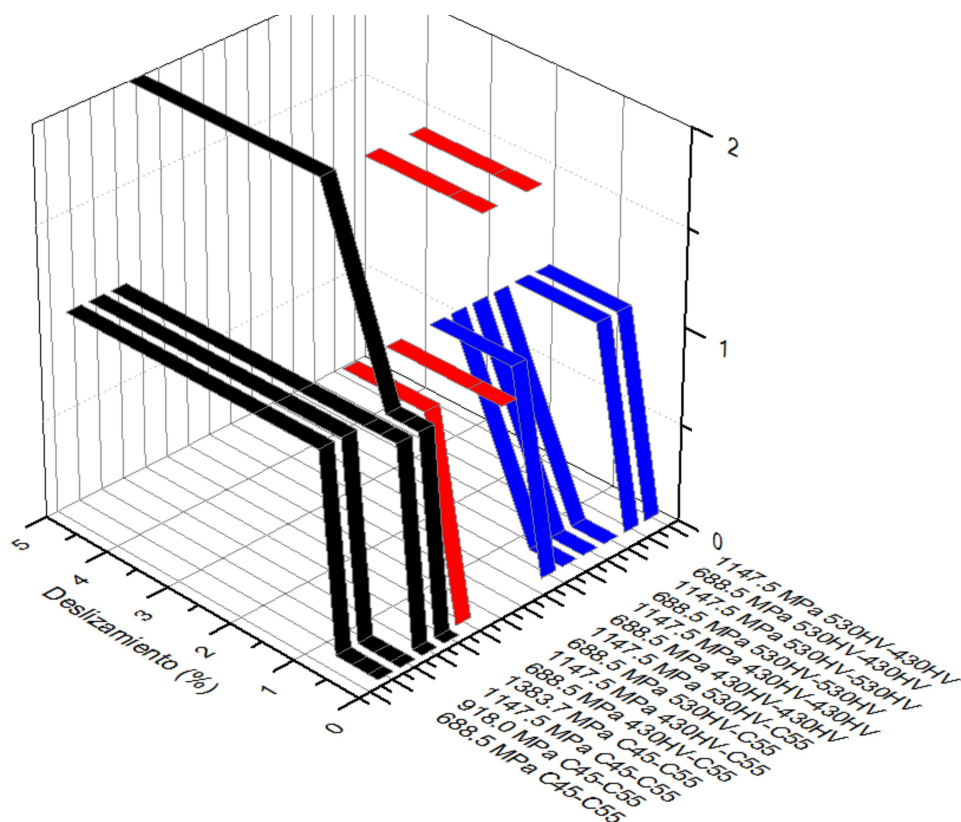


Figura 149.-Clasificación del aspecto superficial del conjunto de los discos tras los ensayos con agua, coincidente con el nivel de desgaste. 0: desgaste ligero; 1: Desgaste severo; 2: Desgaste catastrófico.

Es fácil comprobar como a bajos deslizamientos (inferiores al 0.5%) prácticamente todos los ensayos se incluyen dentro de la categoría de “desgaste ligero”. El aspecto superficial de estas probetas corresponde al de un material cuya capa más externa ha sido transformada mediante procesos tribo-químicos en un óxido de hierro marrón, sin que se aprecie ningún otro cambio superficial importante aparte del citado y un aplastamiento de la rugosidad inicial de las superficies. Cuando el ensayo se hace con agua dentro de este grupo se incluyen también aquellos discos en los que la capa de óxido ha sido parcialmente eliminada y los restos de óxido remanentes se presentan formando unas estrechas bandas circunferenciales.

Al aumentar el deslizamiento la capa de óxido que se había formado

acaba por eliminarse y comienza la formación de grietas superficiales y la aparición de partículas de desgaste. En seco estas partículas quedan clavadas en los discos anchos recubriéndolos total o parcialmente debido a la forma cóncava que adquiere el carril de rodadura, pero no en el disco estrecho, ya que la convexidad que acaba teniendo las expulsa hacia fuera. Estos discos, que conforman el grupo de “desgaste severo” se caracterizan por unos discos anchos cuya superficie está plagada de los hoyos y surcos que han provocado las partículas de desgaste que en ellos se clavan y por unos discos estrechos limpios pero llenos de grietas superficiales. En los ensayos con agua la presencia de grietas superficiales también es palpable, aunque en menor cantidad, pero además aparecen unas bandas transversales de óxido negro y cuyo origen, desconocido, se podría relacionar con el fenómeno del corrugado de los raíles en vía.

Cuando las condiciones de contacto se vuelven más severas debido bien al aumento de las tensiones tangenciales o bien debido a que el agua puede penetrar en las grietas y acelera su crecimiento, se alcanza el desgaste catastrófico. En seco los discos muestran una elevada deformación plástica superficial y están, sobre todo el ancho, recubiertos por una capa de finísimo polvo de óxido negro, indicación de la mayor disipación energética que está teniendo lugar. En agua, el desgaste catastrófico se debe a la penetración de agua en las grietas de acuerdo con el proceso descrito en 2.4.3.3. Debido a ello, los discos afectados presentan una superficie muy deteriorada y cubierta de grandes escamas metálicas todavía adheridas al disco.

En cuanto a los ensayos con aceite, el único cambio detectado en las superficies corresponde a un ligero aplastamiento de las rugosidad inicial, sin presencia de oxidación u otros cambios.

5.3.- VELOCIDAD DE DESGASTE

En los siguientes apartados se presentan los resultados obtenidos a partir de los ensayos realizados tanto en seco como en presencia de agua. El desgaste que pueda aparecer cuando se añade aceite es tan bajo que su valor entra dentro de la dispersión encontrada en las medidas de peso, independientemente de los valores de deslizamiento y presión o de los materiales empleados, por lo que no se hace mención a los mismos y puede suponerse que es despreciable.

La clasificación de los distintos ensayos atendiendo a los grupos establecidos en el apartado 2.3.3.1 (desgaste ligero, severo y catastrófico) ya se ha hecho en el capítulo anterior en base al aspecto superficial que presentan los discos tras los ensayos y coincide exactamente con la clasificación que pueda establecerse a partir de los datos de velocidad de desgaste, por lo que no vuelve a repetirse aquí.

5.3.1.- MEDICIÓN DEL DESGASTE

El desgaste se ha medido por el sistema de doble pesada, pesando los discos antes y después del ensayo, siempre tras haberlos limpiado con alcohol y un cepillo de puas suaves para eliminar las partículas de desgaste adheridas a su superficie sin dañarla. Para ello se ha usado una balanza Kern 770-60 con una resolución de 0.1 miligramos. Pese a esa resolución, la repetición de varias medidas ha posibilitado evaluar la repetibilidad de la pesada en las condiciones en las que se llevarán a cabo en unos 5 miligramos.

A esta inexactitud hay que añadir el hecho de que el desgaste no solamente se produce en la zona de contacto entre los discos, sino también en la cara interna de los mismos debido a los micromovimientos relativos de fretting entre esa cara y el eje que los soporta. Aunque se aplicó una capa de grasa sobre el eje para lubricar y minimizar ese desgaste, se ha comprobado que sigue existiendo un cierto nivel de desgaste remanente, el cual podría llegar a afectar a las medidas en los ensayos con menores valores de pérdida de material. Por desgracia, no es posible evaluar el desgaste que se produce en esa zona, ya que es imposible medirlo independientemente del que se produce en la superficie externa.

5.3.2.- VELOCIDAD DE DESGASTE PARA ACEROS AL CARBONO

La figura 150 muestra la velocidad de desgaste obtenida para la primera serie de ensayos realizada con las probetas fabricadas con los aceros C45 y C55. Los valores de desgaste se sitúan, para la zona estable, entre 3 y 30 $\mu\text{g}/(\text{m}\cdot\text{mm}^2)$ si se trata de ensayos en seco y entre 0.4 y 4 para ensayos con agua. El menor valor del desgaste en estos últimos ensayos es de esperar por el efecto lubricante que ejerce el agua. Si estos valores se comparan con los encontrados en la bibliografía (cosa no siempre fácil dado que cada autor da el desgaste en unas unidades distintas y tampoco suele disponerse de datos necesarios para hacer la conversión), se encuentra que están dentro del rango esperado.

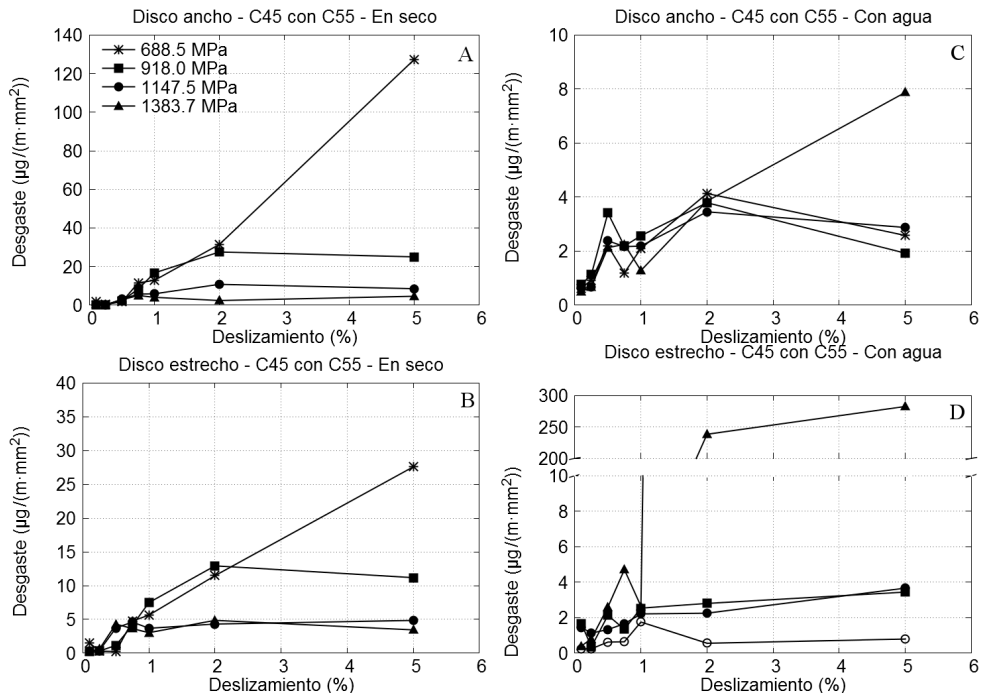


Figura 150.- Velocidad de desgaste para los ensayos con aceros al carbono C45-C55 a las distintas presiones y deslizamientos ensayados.

Aunque la variabilidad de los resultados es alta, pueden sacarse distintas conclusiones. La primera de ellas es que pese al aparente parecido de la forma de las curvas de la velocidad de desgaste en función del

deslizamiento con las de adherencia, existen entre ellas diferencias importantes. Deslizamientos inferiores al 0.5% no se traducen en un aumento del desgaste, que permanece en valores mínimos, casi despreciables (aunque siempre mayores que los “medidos” para los ensayos realizados con aceite), pese a que el coeficiente de tracción aumente de forma apreciable. Esta zona corresponde a un desgaste ligero, donde debería existir una relación lineal entre el valor $T \cdot \gamma / A$ y la velocidad de desgaste. Quizá sea así, pero las dificultades que se han descrito a la hora de tomar una medida exacta de desgastes tan bajos y la propia variabilidad del mismo ha hecho imposible comprobar tal afirmación y solamente se puede asegurar que el desgaste se mantiene bajo mínimos mientras el deslizamiento este por debajo del 0.5%. Esto se puede relacionar con los diagramas de shakedown de los que se habló en el capítulo 2.4 (figura 40), donde se ve como la probabilidad de daño por “ratchetting”, principal fenómeno asociado a la aparición de grietas en rodadura y, por ende, al desgaste, desciende drásticamente por debajo de un coeficiente de tracción de 0.2, que son los correspondientes, salvo contadas excepciones, a deslizamientos del 0.25% o menores.

Cuando se llega a un deslizamiento del 0.5% se produce un rápido aumento de la velocidad de desgaste hasta que, para un deslizamiento que pueden oscilar entre el 0.75 y el 2%, se alcanza una estabilización, de forma que posteriores aumentos del deslizamiento no implican un aumento del desgaste. Este comportamiento se relaciona directamente con las curvas de adherencia y el coeficiente de tracción, que también se estabiliza aproximadamente en los mismos puntos. Esto se cumplió siempre excepto en dos circunstancias, que representan la otra gran diferencia respecto a las curvas de adherencia: si los ensayos son en seco y la presión normal al contacto usada es la más baja de todas o si los ensayos se hacen con agua y la presión normal es la más alta de todas. En esos casos el valor del desgaste se dispara hasta adquirir proporciones catastróficas.

Esta circunstancia tiene relación con otro dato relevante: el hecho de que la influencia de la presión normal se invierte totalmente cuando los ensayos se hacen con agua. Si se vuelve a la figura 150 puede verse como en los ensayos en seco el aumento de la presión normal va acompañado de un descenso del desgaste mientras que, por el contrario, si hay agua en el contacto, lo que se produce al aumentar la presión es un aumento de la

velocidad de desgaste. En ambas condiciones, en seco y con lubricación, el efecto de un aumento de la presión normal sobre el coeficiente de tracción es el mismo: éste se reduce, por lo que no es exactamente ahí donde hay que buscar la explicación.

Esta aparente contradicción desaparece cuando se tienen en cuenta que son las tensiones tangenciales y no las normales las principales causantes de la deformación plástica que lleva a la aparición de grietas superficiales y, finalmente, al desgaste por delaminación. En seco el descenso en el valor del coeficiente de tracción al aumentar la presión normal es lo bastante elevado como para que el producto de ambos, o sea, la tensión tangencial descienda. Esto no llega a suceder en los ensayos con agua, predominando el efecto del aumento de la presión normal, de forma que al hacerlo ésta también lo hacen las tensiones tangenciales.

Este comportamiento se plasma en la figura 151.

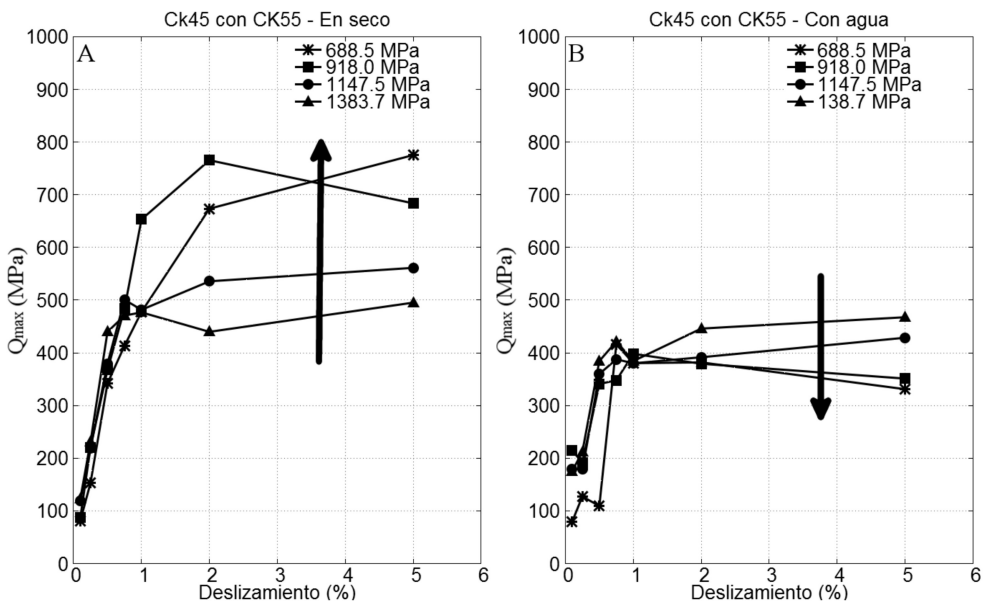


Figura 151.- Variación de la tensión tangencial máxima con el deslizamiento y la presión normal para el par C45-C55. En seco (A) y con agua (B).

En esta figura puede verse como existe un descenso de las tensiones tangenciales al aumentar las normales cuando el ensayo se hace sin lubricación y como aumentan cuando el ensayo es con agua. Nomenos

importante es el hecho de que la diferencia en cuanto a tensiones tangenciales entre el ensayo realizado en seco con un 5% de deslizamiento y una presión normal de 688.5 MPa y el llevado a cabo con un deslizamiento del 2% y una presión de 918 MPa es mínima, mientras que, por otra parte, los desgastes medidos en ambos casos son totalmente distintos. Esto indica que la presión normal, por sí sola, también tiene un efecto sobre el desgaste que no puede simplemente obviarse.

Si las gráficas incluidas en la figura 150 se dibujan en función del parámetro $T\cdot\gamma/A$, que es posiblemente el más usado en la bibliografía revisada para estudiar el desgaste asociado a la rodadura, se obtiene la figura 152 (si se usa el parámetro $T\cdot\gamma$ los resultados son sumamente parecidos).

Como puede verse, puede estimarse que los resultados obtenidos tanto para los ensayos en seco como para los ensayos con agua siguen un comportamiento similar al descrito en el apartado 2.3.3.1, con valores estimados para las transiciones entre los regímenes de desgaste ligero, severo y catastrófico alrededor de 7 y 38 N/mm² para los ensayos en seco. Si hay presencia de agua es más difícil estimar los puntos de transición entre los distintos regímenes de desgaste, aunque pueden situarse alrededor de 1 y 22 N/mm², eso sin contar con los ensayos en los que el agua acelera el crecimiento de las grietas y provoca desgaste catastrófico (este punto se tratará más adelante). Estos valores tienen el mismo orden de magnitud que los encontrados por otros autores, aunque no coincidan exactamente. Por ejemplo, un valor que en estos ensayos pertenece al desgaste severo, 15 mg/(km·mm²) corresponde a desgaste severo en la tabla 9 presentada en el capítulo 2.3 o a uno entre ligero y severo según otros autores [237]. El valor más alto encontrado en desgaste en seco equivale a 125 mg/(km·mm²), que estaría dentro del rango del desgaste severo, mientras que aquí se lo clasifica como catastrófico.

$T\cdot\gamma/A$ permite representar de forma muy visual los tres regímenes de desgaste existentes, pero el problema es que el efecto de γ en la fórmula desplaza hacia la derecha de la gráfica los puntos representados a medida que aumenta su magnitud aunque el nivel de desgaste permanezca invariable. Esto hace que las curvas que se obtienen adquieran una forma escalonada que complica mucho el ajuste de la misma a una función matemática que permita su estudio y facilite la comparación de resultados.

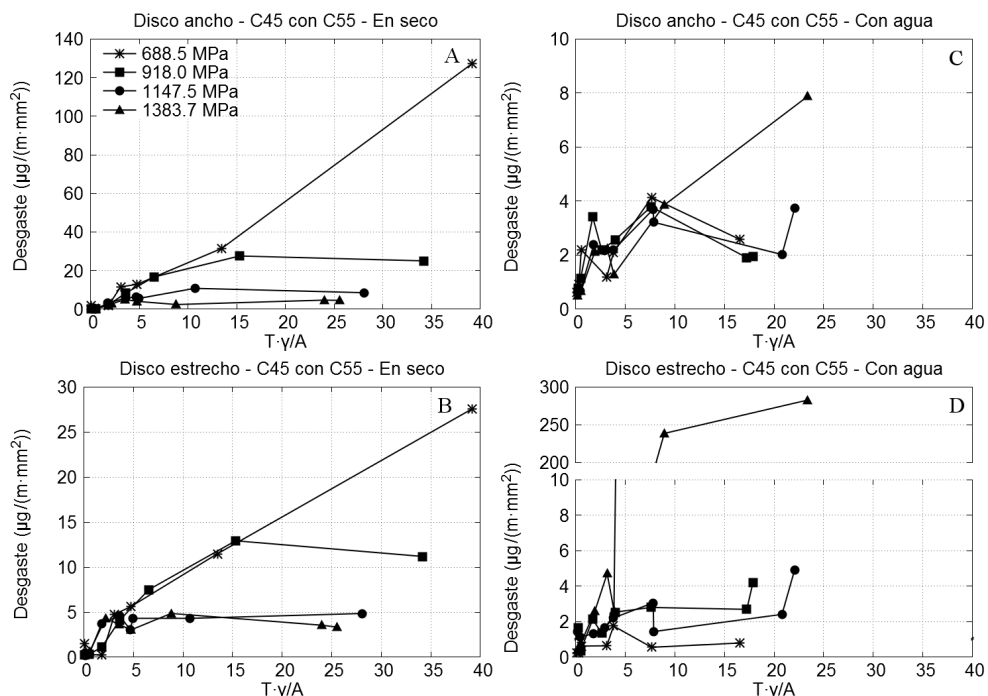


Figura 152.-Velocidad de desgaste en función del parámetro $T\text{-}\gamma/A$ para las distintas presiones y deslizamientos ensayados.

Dado que, como se ha comentado en el estudio del arte, la velocidad de desgaste depende de la aparición de grietas superficiales y éstas aparecen (véase el capítulo 2.4) sobretodo debido a la enorme deformación plástica que sufre la superficie de los discos, es lógico suponer que el principal causante de esa deformación, o sea, las tensiones tangenciales, sean también las más relacionadas con el desgaste. El parámetro $T\text{-}\gamma/A$ lo que hace básicamente es valorar esa influencia, pero magnificada por el deslizamiento, en la creencia de que los mejores resultados se obtendrán asimilando la rodadura a un deslizamiento puro cuya magnitud viene dada por el producto de la circunferencia del disco, la velocidad de rotación y el deslizamiento. Esto tiene lógica si el desgaste fuese de tipo abrasivo, pero en los ensayos realizados predomina el desgaste por delaminación causada por la deformación plástica tangencial. Si a esto se añade que las tensiones tangenciales permanecen prácticamente constantes a deslizamientos altos debido a que la curva de adherencia se ha estabilizado, puede concluirse que no tiene mucho sentido introducir el deslizamiento en la fórmula tal y como

se hace, pues magnifica en exceso su influencia. Por otra parte, un mayor deslizamiento implica que, por unidad de distancia recorrida, los discos van a soportar más ciclos de carga y, por lo tanto, mayor acumulación de deformación plástica cuanto mayor sea el deslizamiento. Como eso se acabará traduciendo en un mayor desgaste tampoco se puede despreciar alegremente el efecto que tiene el deslizamiento. Eso sí, incluyendolo en los cálculos sin darle la tan alta importancia que tiene en el parámetro $T \cdot \gamma / A$.

La figura 153 muestra los resultados que se obtienen representando la velocidad de desgaste en función de la fuerza tangencial corregida por $(1 + \gamma)$, término al que puede llamarse “parámetro de daño”, o “ PD ” en lo sucesivo. Este valor viene definido por:

$$PD = \frac{T \cdot (1 + \gamma)}{A} = \frac{N \cdot f}{A} \cdot (1 + \gamma) \quad (51)$$

Donde N es la fuerza normal al contacto, f el coeficiente de tracción, γ el deslizamiento y A el área teórica de contacto. Como puede apreciarse, la ecuación es muy similar al parámetro $T \cdot \gamma / A$, pero la influencia del deslizamiento se reduce notablemente al aparecer en la fórmula sumado al valor unidad.

En realidad se pueden definir otros parámetros de daño que lleven a un ajuste mucho más acertado que el presentado, por ejemplo el definido por la función (52), que consigue que todos los valores de desgaste queden alineados siguiendo la misma curva creciente.

$$PD' = \frac{(N \cdot f)^{0,65}}{A} \cdot (1 + \gamma) \quad (52)$$

El problema está en la dificultad de que esa misma función también permita representar y estudiar de forma acertada la evolución de la velocidad de desgaste para los ensayos realizados con el resto de combinaciones de materiales, cosa que no sucede, ya que si en este caso el exponente de 0.65 alinea los puntos, cuando se usa otra combinación de materiales, el coeficiente es otro muy distinto y las curvas quedan excesivamente desplazadas unas de otras en el eje X, dificultando la comparación entre ellas. Es por estas razones que se ha preferido usar la función (51), la cual no proporciona resultados perfectos pero si va a

permitir ajustar los puntos a una función creciente dependiente de la presión normal y estudiar la influencia de los distintos parámetros de control.

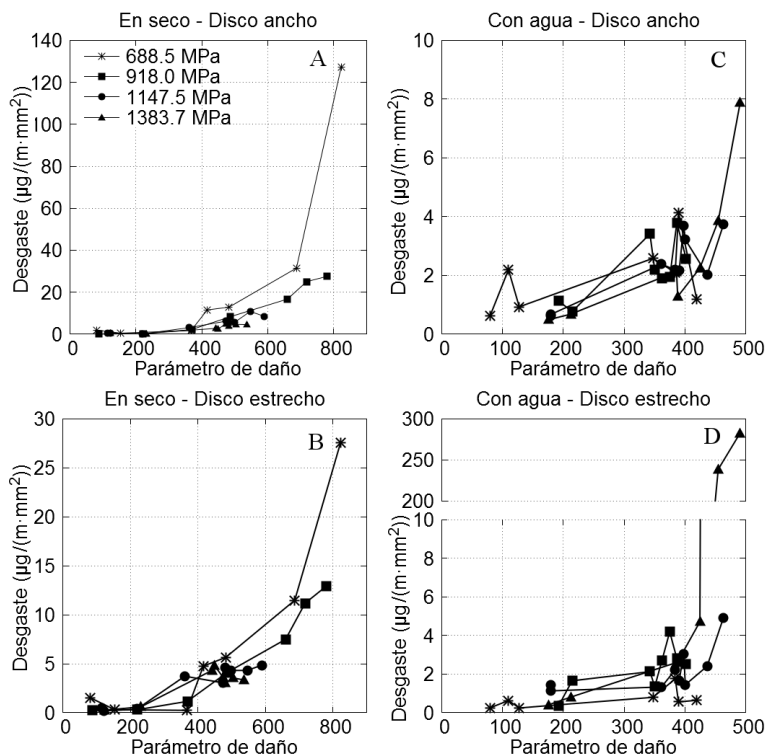


Figura 153.- Evolución de la velocidad de desgaste con el “parámetro de daño” definido para las distintas presiones y deslizamientos ensayados.

La diferencia entre las figuras 152 y 153 es enorme e inmediatamente salta a la vista como como va a ser más sencillo trabajar con la figura 153 que con la 152. Usando lubricación con agua la dispersión impide que los puntos dibujen una tendencia tan clara como en seco pero se sigue apreciando como el desgaste crece al hacerlo el parámetro de daño e incluso puede verse como los puntos correspondientes a desgaste catastrófico ahora se sitúan al final de la curva, en una posición mucho más lógica (de todas formas, como se verá no siguen el mismo comportamiento que el resto de puntos y no pueden estudiarse la misma forma).

Una función que se adapta bien a los puntos representados es la (53), donde C_{w1} y C_{w2} son los coeficientes de ajuste.

$$W = \left(\frac{PD}{C_{W1}} \right)^{C_{W2}} \quad (53)$$

La forma que adopta la función (53) es frecuentemente usada en el estudio del desgaste cambiando PD , que aquí es básicamente la tensión tangencial media, por la presión normal y C_{W1} por la tensión de fluencia [40], pero dadas las condiciones particulares de estos ensayos (triaxialidad, rodadura, predominio de procesos delaminativos,...) y que PD no es la presión normal se ha preferido escoger el valor de C_{W1} a partir de las gráficas. Se puede repetir esta elección para cada valor de presión normal y obtener un valor para cada serie de datos, pero como en esta serie de ensayos el material es siempre el mismo se ha preferido elegir el mismo valor para todas ellas. Esto permite también una comparación entre las curvas ajustadas más rápida y sencilla, puesto que ahora la única variable de ajuste es C_{W2} . Otra ventaja de hacerlo así es que la dispersión de los valores de desgaste cuando se introduce un acero bainítico (o dos) en el ensayo es bastante alta y se dispone solamente de 3 puntos para realizar el ajuste, con lo que la determinación de C_{W1} lleva a resultados en ocasiones carentes de sentido si no se le fuerza a que adopte un valor concordante con las series de puntos que sí parezcan tener un evolución más lógica. Tomando como referencia las curvas que forman esas series de datos se puede estimar que el valor más adecuado para C_{W1} es de 250 MPa tanto para los ensayos en seco como si se añade agua al contacto. Este mismo valor de 250 MPa se adapta razonablemente bien a las curvas que se obtienen con otras combinaciones de materiales por lo que, a falta de una mejor estimación, se usará también para ajustarlas.

La tabla 29 muestra el valor de los coeficientes de ajuste obtenidos para la función (53), tanto para lubricación con agua como en seco. Por su parte, la figura 154 presenta las curvas de ajuste para los resultados obtenidos en los ensayos entre aceros al carbono, los cuales serán estudiadas con más detalle en el apartado 5.3.4.

| | Disco | 688.5 MPa | 918 MPa | 1147.5 MPa | 1383.7 MPa |
|----------|----------|-----------|---------|------------|------------|
| En seco | Ancho | 3.7 | 3.0 | 2.7 | 2.2 |
| | Estrecho | 2.6 | 2.2 | 2.0 | 2.0 |
| Con agua | Ancho | 2.0 | 2.4 | 2.1 | 2.6 |
| | Estrecho | 1.1 | 2.5 | 2.0 | 2.7 |

Tabla 29.- Valores de C_{W2} obtenidos para los ensayos entre los aceros al carbono C45 y C55. C_{W1} vale 250 MPa en todos los casos.

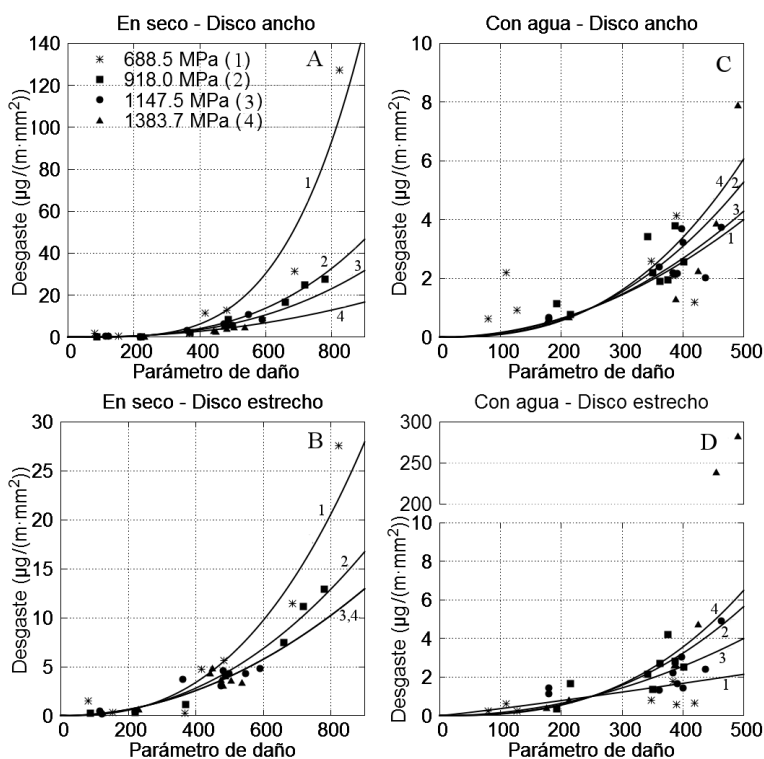


Figura 154.- Curvas de ajuste para el desgaste en los ensayos entre aceros al carbono en función del parámetro de daño y la presión normal.

Del ajuste se han excluido los puntos correspondientes a desgaste catastrófico en los ensayos con agua, aunque sí se han tenido en cuenta en los ensayos en seco. La razón es que el paso de desgaste severo a catastrófico en seco resulta de la evolución natural del aumento progresivo

de *PD*, mientras que la presencia de agua lo convierte en un salto brusco tanto cualitativa como cuantitativamente debido a la repentina aparición en escena de un nuevo fenómeno que cambia totalmente las condiciones en las que tiene lugar el desgaste: el crecimiento acelerado de las grietas superficiales por penetración de agua en las mismas tal y como se describió en el apartado 2.4.3.3, baste aquí añadir que la existencia de agua en el contacto no implica una aceleración del desgaste a menos que concurren también otras circunstancias y que dado que las curvas ajustadas responden a una fenomenología de desgaste concreta no es posible representar con ellas la aceleración del proceso de desgaste que supone la presencia de agua por tratarse de un mecanismo de crecimiento de grietas totalmente distinto.

5.3.3.- INFLUENCIA DE LOS MATERIALES EN CONTACTO

El cambio de uno de los discos por otro con tratamiento de temple bainítico produce los resultados de la figura 155. En este caso la diferencia de durezas entre un disco y otro debería, según la conocida ecuación de Archard, hacer, en relación a los ensayos entre aceros al carbono, que el desgaste del disco más duro se redujese notablemente y que se mantuviese el del más blando. No obstante y aunque los valores de la velocidad de desgaste no son muy diferentes, no sucede así, corroborándose la dificultad de estudiar el desgaste en rodadura con ecuaciones como la de Archard, debido a que esa ley y otras similares fueron desarrolladas para un sistema con deslizamiento puro y no para uno sometido a rodadura.

Si se comienza comparando con los ensayos entre aceros al carbono y por los ensayos en seco, lo primero que llama la atención es que la velocidad de desgaste presenta una clara tendencia a aumentar al cambiar uno de los discos por un acero bainítico, viéndose afectado incluso el disco ancho endurecido, lo que contradice el principio de reciprocidad usado por algunos autores [3]. Este aumento resulta muy importante en el caso del disco estrecho, llegando hasta a sextuplicarse, aunque ni mucho menos es despreciable en el caso del disco ancho bainítico, caso en el que pueden encontrarse velocidades de desgaste que se cuatuplican.

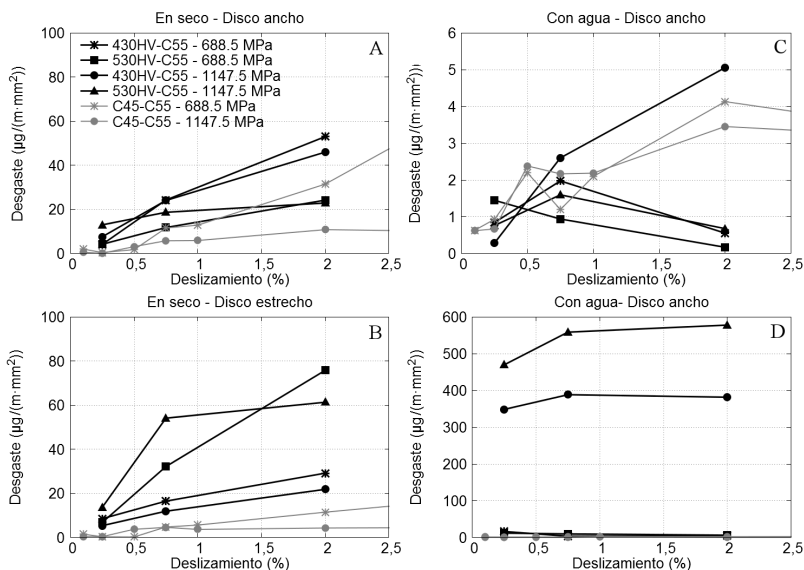


Figura 155.- Velocidad de desgaste para los ensayos con los pares bainítico-C55 en función del deslizamiento y de la presión. En gris los ensayos equivalentes entre aceros al carbono.

En cualquier caso, el aumento exacto del desgaste depende de varios factores, siendo uno de los más importantes de ellos el nivel de endurecimiento del disco bainítico. Si este disco se endurece hasta 430HV aumenta tanto el desgaste del disco estrecho como el del ancho, pero si se llega a los 530HV el del disco estrecho sigue aumentando, incluso más que antes, pero el del ancho se mantiene en los niveles correspondientes a los ensayos entre aceros al carbono, como si esa dureza extra fuese necesaria para darle al disco la resistencia necesaria frente al desgaste.

Lo que no se aprecia en estos ensayos es que la presión normal tenga una influencia importante, de forma que las curvas correspondientes a 688,5 y 1147.5 MPa quedan muy próximas entre sí. Esto se explica por el hecho de que las tensiones tangenciales correspondientes a estos ensayos son también bastante similares entre sí independientemente de la presión normal (figura 156). En cualquier caso, si se debe extraer alguna conclusión, esta puede ser, atendiendo a los puntos correspondientes al 2% de deslizamiento en las figuras 155 y 156, que menores presiones normales van acompañadas de un mayor desgaste, siendo la explicación de esto la misma que ya se dio en el apartado anterior sobre la evolución de las tensiones tangenciales al

aumentar en seco la presión normal.

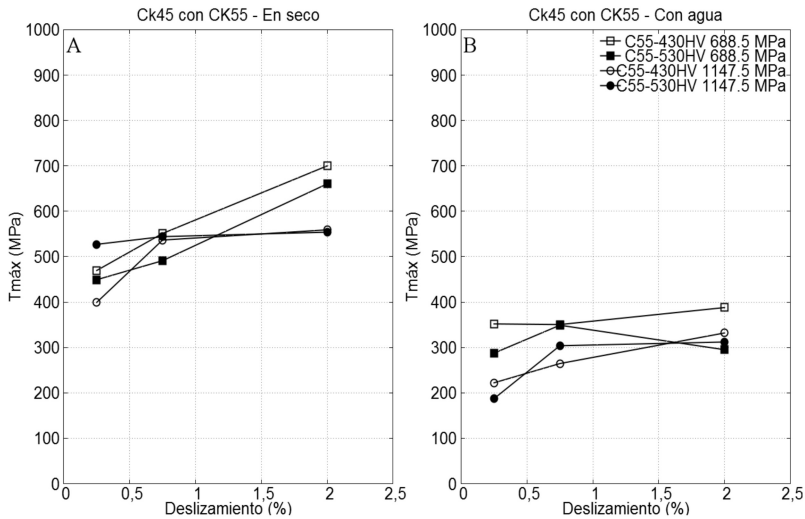


Figura 156.- Tensiones tangenciales medias para los ensayos entre un acero C55 y un acero bainítico en seco (A) y con agua (B).

Esta similitud en el valor de las tensiones normales para los distintos ensayos de esta serie se extiende también a las variaciones de deslizamiento debido a que la curva de adherencia con una combinación de materiales tan disimilar tiene una pendiente inicial muy acusada, con lo que las tensiones tangenciales ya han aumentado notablemente a deslizamientos tan bajos como el 0.25%. Esto se traduce en que el desgaste correspondiente a un deslizamiento del 0.25% se sitúa entre 5 y 15 $\mu\text{g}/(\text{m}\cdot\text{mm}^2)$ cuando entre aceros al carbono, con unos coeficientes de tracción a ese deslizamiento bastante menores, es prácticamente nulo.

Con presencia de agua en el contacto la situación cambia notablemente. A presiones bajas se encuentran valores de desgaste similares a los hallados en los ensayos entre los aceros C45 y C55, inferiores a 5 $\mu\text{g}/(\text{m}\cdot\text{mm}^2)$. Sin embargo, cuando la presión normal máxima aumenta hasta 1147.5 MPa el desgaste de los discos estrechos es de tipo catastrófico (se llegan a alcanzar más de 550 $\mu\text{g}/(\text{m}\cdot\text{mm}^2)$) independientemente del deslizamiento y de la dureza del disco bainítico con el que está en contacto. Este sucede debido a que, como se vio en el capítulo 5.1, a esas presiones la adherencia se estabiliza a valores de deslizamiento inferiores al 0.25%, con lo que las tensiones tangenciales ya no van a experimentar prácticamente

ninguna variación a partir de ese punto. No obstante, el factor más importante con presencia de agua es que el aumento de la presión normal lleva asociado, como se verá en el capítulo 5.4, un aumento de la deformación plástica y, lo que es más importante, de la presión que aparecerá en el fondo de las grietas que se hayan formado cuando el agua penetre en ellas, de acuerdo con el proceso descrito en el apartado 2.4.3.3.

Así pues, puede afirmarse que tanto la deformación plástica como el aceleramiento del crecimiento de grietas por penetración de agua en ellas adquieren una relevante importancia a 1147.5 MPa y que a 688.5 estos fenómenos son insuficientes para provocarlos. Pueden aparecer grietas, pero o bien el agua no llega a penetrar en ellas o la presión del agua que las llenará no será suficiente para hacerlas crecer. Sobre el efecto del aumento de dureza del disco bainítico sobre su propio desgaste, poco se puede decir debido a la dispersión de los datos, aunque si a ellos nos referimos parece que la tendencia sea a que a mayor dureza, menor sea el desgaste.

La representación de los resultados en función de PD y el posterior ajuste de los mismos mediante la ecuación (53) da origen a la figura 157 y a la tabla 30, en la que no se ha realizado ningún ajuste para los ensayos con agua que han llevado a desgaste catastrófico.

| | Disco | 430 HV - C55 | | 530 HV - C55 | |
|----------|----------|--------------|------------|--------------|------------|
| | | 688.5 MPa | 1147.5 MPa | 688.5 MPa | 1147.5 MPa |
| En seco | Ancho | 3.8 | 4.4 | 3.3 | 3.7 |
| | Estrecho | 3.8 | 3.0 | 3.8 | 2.9 |
| Con agua | Ancho | 1.1 | 6 | 2,3 | 1.1 |
| | Estrecho | 5,8 | x | 10 | x |

Tabla 30.- Valores de C_{w2} obtenidos para los ensayos entre un acero bainítico y un acero al carbono C55. C_{w1} vale 250 MPa en todos los casos.

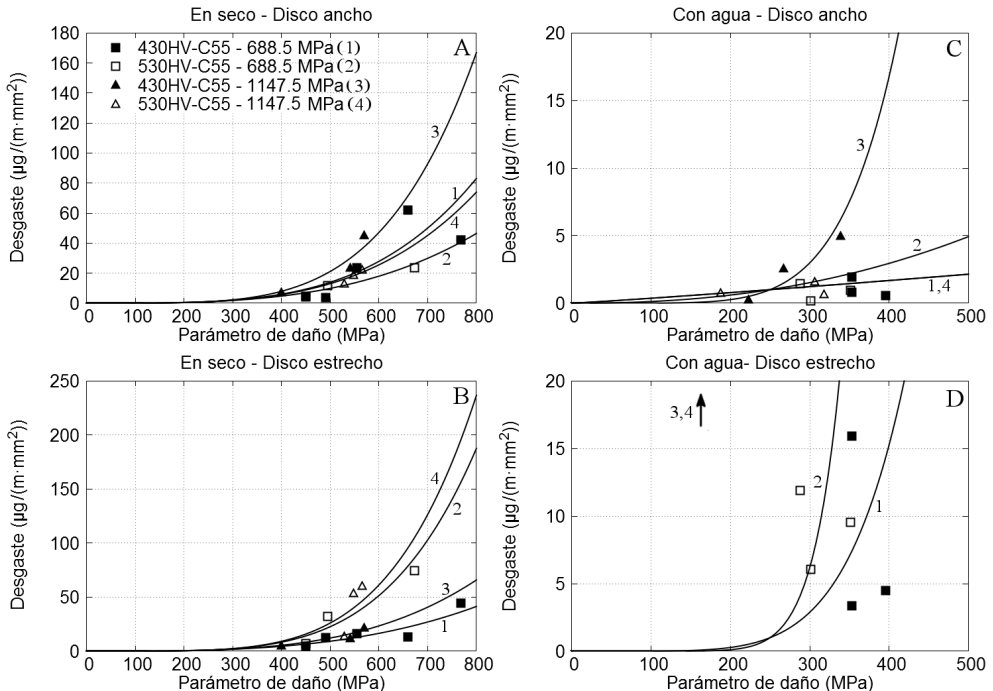


Figura 157.- Curvas de ajuste para el desgaste en los ensayos entre un acero bainítico y el acero al carbono C55 en función del parámetro de daño y la presión normal.

Al igual que en el apartado anterior y por las mismas razones, se han excluido del ajuste los ensayos en los que el desgaste ha sido de tipo catastrófico y se ha optado por dar a C_{wl} el valor de 250 MPa .

Cuando ambos discos están endurecidos el resultado es el de la figura 158. La velocidad de desgaste en seco sigue siendo superior a la encontrada en los ensayos con los aceros C45 y C55, no pareciendo que a priori exista ninguna ventaja ni desventaja evidentes respecto al uso de aceros más comunes. En este caso, no obstante, las velocidades de desgaste encontradas son solamente un poco superiores a las que presentaron los ensayos de referencia con un máximo de $11 \mu\text{g}/(\text{m}\cdot\text{mm}^2)$, no alcanzándose los niveles que se dan cuando un disco es bainítico y el otro está fabricado en C55. Es cuando se introduce la presencia de agua en el sistema cuando aparece una mejora sustancial, ya que en ningún caso se ha encontrado una velocidad de desgaste que corresponda al régimen catastrófico, manteniéndose siempre en valores moderados. Esto podría, en apariencia,

representar una gran ventaja sobre el uso de aceros al carbono en climas muy húmedos sin que la degradación de su comportamiento en seco fuese preocupante. Por desgracia, con la evolución que presenta la velocidad de desgaste hasta el 2% de deslizamiento para la presión de 688.5 MPa (linealmente creciente), lo más lógico es que el desgaste llegue a alcanzar el régimen catastrófico con deslizamientos del 5%, igual que ocurre con la curva correspondiente a los ensayos entre aceros al carbono y esa misma presión. Dudas similares surgen cuando se habla de los ensayos con agua. Si bien ningún ensayo de estos ha presentado desgaste de tipo catastrófico, será preciso asegurar mediante más ensayos que alargando el tiempo de ensayo o aumentando el deslizamiento esta situación se sigue manteniendo, pues visto el comportamiento de estos materiales en seco no es lógico suponer que no va a llegar un momento en el que el agua logre penetrar lo bastante en las grietas como para acelerar su crecimiento.

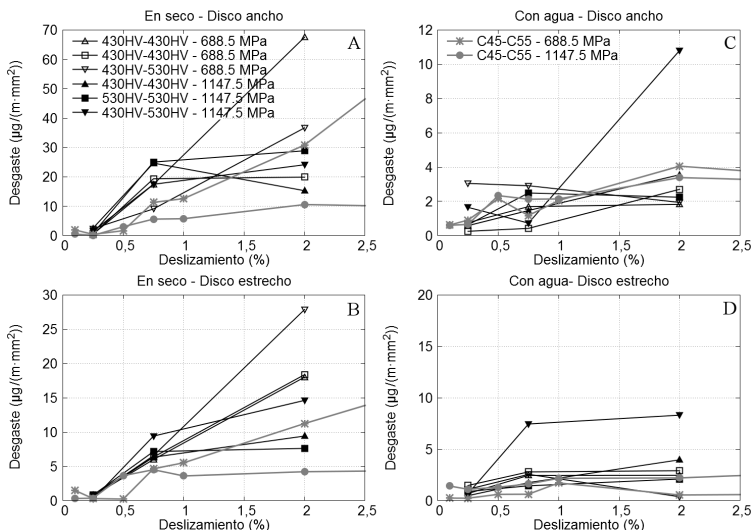


Figura 158.-Velocidad de desgaste para los ensayos entre dos aceros bainíticos en seco y con agua para los distintos deslizamientos y presiones probadas.

Por lo demás, también aquí se aprecia una tendencia a que en seco una menor presión normal haga que aumente el desgaste y, lo que es más importante, que la velocidad de desgaste no deje de crecer a medida que lo hace el deslizamiento, en consonancia con lo que ocurre con el coeficiente de tracción y las tensiones tangenciales. Una última cosa a destacar es que, en general, la combinación de dos materiales de distinta dureza, aunque

ambos estén endurecidos como en este caso, lleva siempre a un incremento de la velocidad de desgaste en el disco más blando, como puede verse en las curvas correspondientes a los ensayos entre bainíticos de distinta dureza. Esto contrasta con el hecho de que el nivel de endurecimiento de los aceros bainíticos cuando ambos se llevan hasta el mismo nivel, ya sea 430HV o 530HV, no parece ser un factor importante en su respuesta.

Al igual que se ha hecho en los casos anteriores, en la figura 159 se han representado las curvas de ajuste obtenidas para las series de datos pertenecientes a los ensayos entre dos aceros bainíticos.

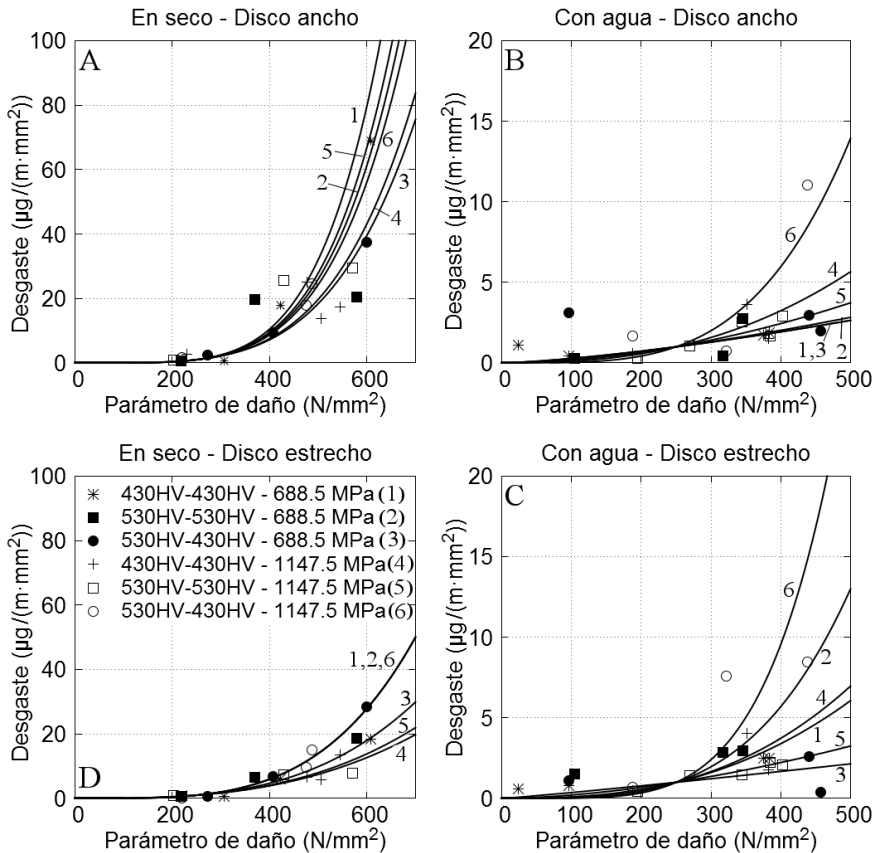


Figura 159.- Curvas de ajuste en función del parámetro de daño para los ensayos entre dos aceros bainíticos.

En la tabla 31 se recogen los coeficientes de ajuste C_{W2}

correspondientes a las curvas anteriores.

| | Disco | 430HV-430HV | | 530HV-530HV | | 430HV-530HV | |
|----------|----------|-------------|------------|-------------|------------|-------------|------------|
| | | 688.5 MPa | 1147.5 MPa | 688.5 MPa | 1147.5 MPa | 688.5 MPa | 1147.5 MPa |
| En seco | Ancho | 5 | 4.3 | 4.7 | 4.8 | 4.2 | 4.6 |
| | Estrecho | 3.8 | 3 | 3.8 | 2.9 | 3.3 | 3.8 |
| Con agua | Ancho | 1.4 | 2.5 | 1.4 | 2.5 | 1.4 | 3.8 |
| | Estrecho | 2.6 | 2.8 | 2.6 | 2.8 | 1.1 | 4.8 |

Tabla 31.- Coeficientes de ajuste C_{W2} para los ensayos entre dos aceros bainíticos. C_{W1} vale 250 MPa en todos los casos.

5.3.4.- **ESTUDIO DE LAS CURVAS DE DESGASTE**

En la figura 160 se ha representado las distintas curvas de ajuste obtenidas en los apartados anteriores. Con el fin de facilitar un análisis inicial de los datos se ha dado un color a cada curva en función de la combinación de materiales a la que corresponda, de forma que se ha usado el negro para los ensayos entre aceros al carbono, el rojo para aquellos realizados entre un acero al carbono y uno bainítico y, finalmente, el azul para los ensayos entre dos aceros bainíticos. Las flechas verticales que aparecen en una de las gráficas indican la existencia de puntos por encima del valor máximo del eje Y en la figura, correspondientes a un régimen de desgaste catastrófico que, como se comentó anteriormente, no pueden ser estudiadas ni representadas por medio de las mismas funciones de ajuste que el resto.

En las gráficas de esta figura la parte más gruesa de las curvas llega hasta el 2% de deslizamiento, representando los ensayos realizados, mientras que la parte más delgada de las curvas se han cortado en el punto correspondiente a un 20% de deslizamiento, valor típico de una rueda tractora con pérdida de adherencia [229] y a partir del cual es de suponer que la temperatura que alcanzarán los discos [202] hará caer las propiedades mecánicas de los aceros con que están fabricados e introducirán cambios en su comportamiento que no han sido tenidos en cuenta. Limitar la extensión de estas curvas tiene también otra razón de ser. Sin esa limitación da la impresión de que, al no estar limitadas las curvas, en todos los casos se

alcanzarán altos valores de desgaste, cuando en realidad la magnitud de PD viene limitada por el valor que puede alcanzar el coeficiente de tracción en función del deslizamiento (capítulo 5.1). Esto implica que hay valores de PD que nunca se van a alcanzar (es preciso repetirlo, en condiciones normales de trabajo) y que, por lo tanto, no tiene sentido representar en las gráficas elaboradas.

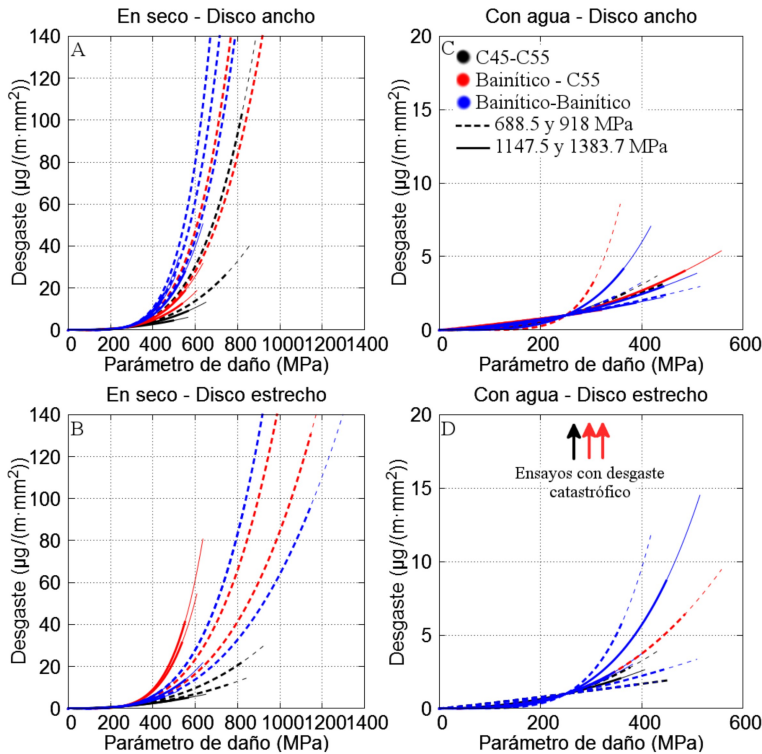


Figura 160.- Curvas de ajuste de la velocidad de desgaste en función del parámetro de daño. Negro: Ensayos entre aceros al carbono. Rojo: Ensayos entre un acero al carbono y uno bainítico. Azul: Ensayos entre dos aceros bainíticos. Línea gruesa: hasta un 2% de deslizamiento. Línea fina: Hasta el 20% de deslizamiento.

A la vista de la figura 160 hay algo que resalta con claridad: el menor desgaste que existe cuando hay presencia de agua en el contacto. De todas formas, esta apariencia es engañosa y no aplicable al régimen de desgaste catastrófico. Cuando se entra en ese régimen el agua acelera el crecimiento de las grietas superficiales y la pérdida de material es mucho mayor que en seco. En los ensayos realizados para que eso suceda parece ser

necesario que se den condiciones de altas presiones normales, alta deformación superficial y que la geometría del disco permita el flujo plástico de material hacia los laterales de los discos, ya que a igualdad de condiciones solamente en los discos estrechos se ha producido desgaste catastrófico. Esto lleva a pensar en la necesidad de repetir los ensayos cambiando la geometría de los discos usando una que no presente el problema que tienen los discos estrechos (figura 125) con el fin de comprobar si sigue apareciendo desgaste catastrófico o ha sido solamente una consecuencia de la elección de la geometría de los discos. En cualquier caso, la influencia negativa que puede tener la presencia de agua ha quedado atestiguada en muchas ocasiones (apartado 2.4.3.3).

En términos generales puede afirmarse que, para un mismo valor del parámetro de daño o de adherencia, las menores velocidades de desgaste se obtienen en los ensayos entre aceros al carbono, produciéndose un incremento de esa velocidad cuando se introducen los aceros bainíticos, corroborando los datos presentados por algunos autores al respecto y en contra de los hallazgos de otros (figura 58). Aunque en tribología lo más frecuente es asociar una mayor dureza a un menor desgaste, el que sea el crecimiento de grietas superficiales el fenómeno que produzca la pérdida de material por delaminación justifica que los aceros más endurecidos y, por lo tanto, con menor resiliencia, opongan menos resistencia al avance de las grietas y sufran más desgaste. Esto implica sin lugar a dudas una necesidad de mayor inversión en mantenimiento si se usan aceros con alto contenido en carbono y tratamiento bainítico.

También la diferencia de dureza entre los discos influye en el desgaste. Esto, que no se nota demasiado cuando los dos discos están endurecidos se manifiesta con claridad en los ensayos con agua a altas presiones normales, cuando aparece desgaste catastrófico en el disco de C55 mientras que el bainítico apenas sufre pérdida de peso.

Una última conclusión que se extrae de la simple observación de la figura 160 es que la geometría de los discos tiene también influencia en el desgaste no sólo por lo que ya se ha comentado sobre los ensayos con agua, resultando que los discos estrechos sufren menos desgaste que los anchos tanto en seco como en agua, y eso pese a que sufren mucha mayor deformación debido a la ausencia de material rodeando el carril de rodadura

que impida el flujo plástico hacia fuera. Una posible explicación a este inesperado resultado podría ser el hecho de que las partículas de desgaste, que como se vio en el capítulo 5.2 quedan clavadas en el disco ancho, arañan su superficie provocando un desgaste adicional a la delaminación o, incluso y desde un punto de vista energético, que si la energía liberada en el contacto se reparte al 50% entre los dos discos, en una parte de ella se emplea en deformar el material lateralmente y en el otro en acelerar el crecimiento de las grietas, ya que esa deformación se ve impedida.

El exponente C_{W2} de ajuste define la velocidad con la que crecerá el desgaste en función de PD , pero también se ha visto que el valor de PD está limitado, de forma que esos límites son también unos límites al desgaste. En la figura 161 se muestran los límites superiores para la velocidad de desgaste calculados a partir de los valores de los coeficientes de tracción estabilizados hallados en el capítulo 5.1 suponiendo un deslizamiento máximo del 20% y usando las curvas de ajuste resumidas en la figura 160. La función usada para realizar el ajuste ha sido la alométrica (54), que muestra un excelente ajuste con los datos correspondientes a los ensayos en seco entre aceros al carbono.

$$W_{20\%} = C_{W3} \cdot (P_{Nmax})^{C_{W4}} \quad (54)$$

Por desgracia, los ensayos con agua no muestran ningún comportamiento ajustable a una función matemática. que es prácticamente imposible extraer ninguna conclusión sobre los ensayos con agua salvo que el desgaste va a ser siempre extremadamente bajo hasta que se den las condiciones que propicien la aceleración del crecimiento de grietas por culpa del agua.

Las curvas elaboradas para los ensayos en seco aportan más datos. El primero de todos es que cuanto mayor sea la presión normal máxima, e independientemente de la combinación de materiales, más limitado va a estar el desgaste que puede aparecer, sobretodo a partir de 1000 MPa, lo que correspondería a 1304 MPa en un acero ER7 según la conversión realizada en 3.1.2. Esto puede parecer una excelente noticia, pero también debe recordarse que a mayores presiones la transmisión de esfuerzos entre la rueda y el raíl se ve seriamente limitada (figura 122).

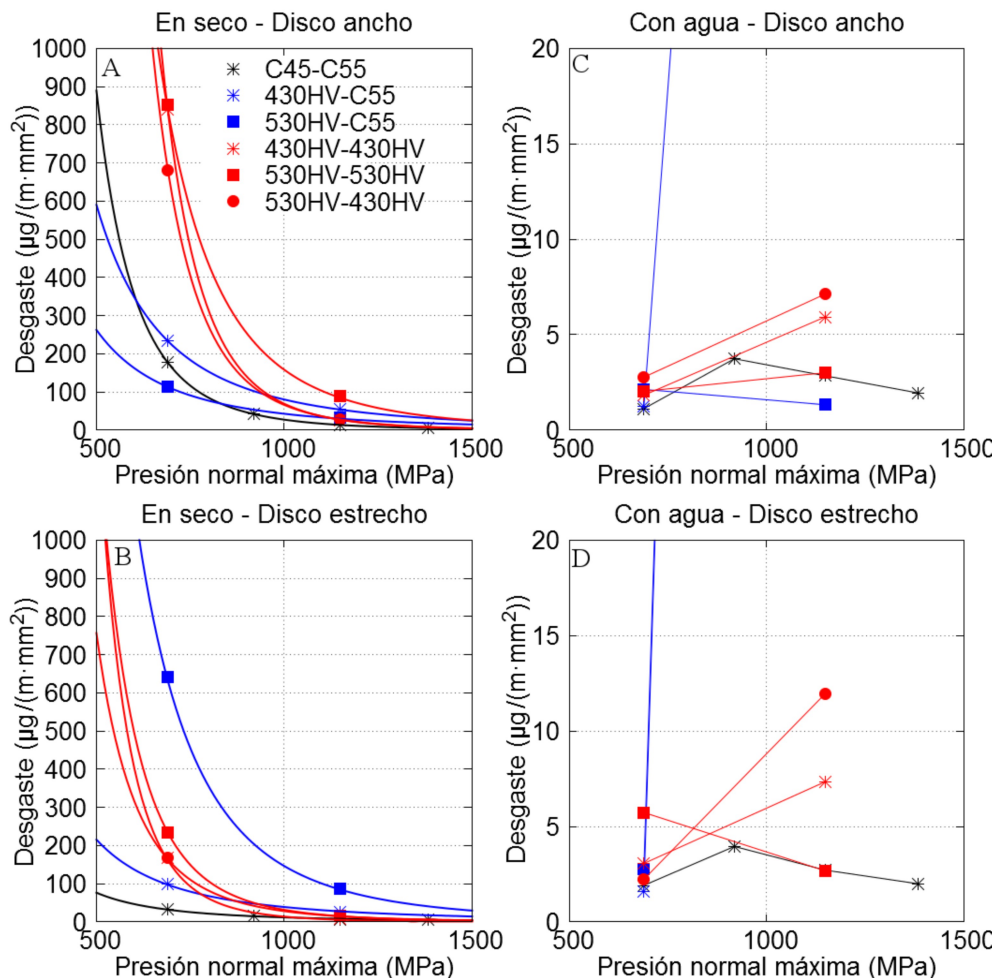


Figura 161.- Valores máximos de desgaste esperados para las distintas combinaciones de materiales en función de la presión normal máxima calculados al 20% de deslizamiento.

En párrafos anteriores se comentó que la presión normal no tenía mucha influencia sobre C_{w2} , uno de los coeficientes de ajuste de la función (53) usados para estudiar el desgaste en la figura 160, lo que en apariencia contradice los datos que se han extraído de la figura 161. No obstante esta contradicción se desvanece cuando se tiene en cuenta que en cada gráfica se están representando cosas diferentes y que no es con C_{w2} con quien hay que

relacionar el efecto de la presión ahora estudiado, sino con el punto en el que se han cortado las curvas de la figura 160. En cualquier caso, si el lector desea relacionar ambas figuras debe recordar que en una gráfica se representa el parámetro de daño en el eje X y en la otra la presión normal y que la relación existente entre ambas variables viene dada por la función (51).

Otras conclusiones que pueden extraerse de la figura son las siguientes (sólo para ensayos en seco):

- Los discos estrechos presentarán siempre menor deformación que los anchos.
- Los ensayos entre aceros al carbono son los que mejor comportamiento frente al desgaste por delaminación presentan. Esta situación solamente se incumple para los discos anchos endurecidos a bajas presiones en el caso de que rueden contra un acero al carbono mucho más blando. En ese caso la diferencia de durezas puede proteger el disco ancho sin que perjudique al estrecho.
- Cuando ambos discos están endurecidos el límite de desgaste que presentan parece ser bastante independiente de la dureza exacta de cada uno de ellos, siendo las diferencias entre las curvas mínimas.
- En el caso anterior, pese a que ambos discos presentan una elevada dureza, el valor que puede llegar a alcanzar la velocidad de desgaste es el más desfavorable de todos en casi todas las circunstancias
- La diferencia entre las durezas de un disco y otro tiene poca importancia si esa diferencia no supera los 150 HV, pero aumenta enormemente el desgaste del disco más blando si alcanza los 250 HV Esta circunstancia se aprecia claramente en los ensayos entre un acero bainítico y el C55.

Además de todo lo comentado queda por añadir que estos límites máximos al desgaste, por debajo de 650 MPa, serán menores de lo que indica la figura 161 debido a que el parámetro de daño PD no puede crecer indefinidamente a medida que la presión normal descende. El comportamiento de crecimiento continuo al reducirse P_N viene implícito en los ajustes matemáticos realizados a partir de los datos disponibles, pero

resulta imposible en la práctica. En efecto, aunque al bajar la presión normal el coeficiente de tracción f_{∞} aumente y pueda hacer que PD (prácticamente igual a la tensión tangencial media) también aumente, llega un momento en el que, aunque f_{∞} llegue a valer 1, el valor de PD ($\approx P_{Nmax} \cdot f_{\infty}$) va a dejar de aumentar irremediablemente y con él la velocidad de desgaste. Saber en que momento va a producirse el descenso no es sencillo, pero en vista de la evolución de f_{∞} en la figura 122, no se espera que sea muy por debajo de la presión normal máxima ensayada de 688.5 MPa.

5.3.5.- RESUMEN

Los resultados de desgaste que se han obtenido están dentro de los rangos que han presentado otros autores, llegándose hasta casi 130 $\mu\text{g}/(\text{m}\cdot\text{mm}^2)$ en seco y a más de de 500 $\mu\text{g}/(\text{m}\cdot\text{mm}^2)$ en presencia de agua. La evolución de la velocidad de desgaste sigue la forma de las curvas descritas en el apartado 2.3.3.1 (figura 15) cuando se las representa frente al parámetro $T\cdot\gamma/A$. Además, la clasificación de los ensayos de acuerdo con esos regímenes: ligero, severo y catastrófico, concuerda perfectamente con la realizada cuando se estudio el aspecto superficial de las probetas, por lo que no se ha vuelto a repetir aquí.

En base a todo esto puede afirmarse que los valores de velocidad de desgaste y su representación frente a $T\cdot\gamma/A$ muestran que, en consonancia con los coeficientes de tracción obtenidos, los aceros comerciales usados en este estudio son una alternativa viable y económica a los aceros ferroviarios para el estudio en laboratorio de muchos de los fenómenos asociados a la rodadura sin que la pérdida de representabilidad de los resultados obtenidos sea un factor limitante.

Para el estudio de los valores de velocidad de desgaste es conveniente ajustar los resultados a una función matemática y comparar los coeficientes de ajuste. Aunque este proceso implica que no se va a trabajar con los datos originales y que en algunos casos, como en muchas de las curvas correspondientes a los ensayos con agua, los pocos datos de los que se dispone para el ajuste y su dispersión hacen difícil el ajuste y es preciso recurrir a extrapolar las funciones de ajuste encontradas para series de datos más fáciles de ajustar, también es cierto que en ocasiones es una de las pocas formas que hay disponibles para comparar resultados.

Aunque normalmente se trabaja representando el desgaste frente al deslizamiento o a $T\gamma/A$, ello lleva a la obtención de una curva con forma de escalón de difícil modelización matemática. Para superar este escollo se ha definido el parámetro de daño (PD) (51) que minimiza el efecto del deslizamiento y hace que los puntos se alineen siguiendo una expresión del tipo (53), habitual en el estudio del desgaste. Por desgracia, este ajuste no es aplicable a los ensayos en los que el agua penetra en las grietas superficiales y dispara la velocidad de desgaste, ya que este fenómeno implica una casuística de desgaste totalmente diferente a la habitual de delaminación.

El estudio de estas curvas sugiere que:

- El uso de aceros bainíticos va a incrementar siempre el desgaste, tanto en agua como en seco, no pareciendo existir ninguna ventaja de los mismos sobre los aceros al carbono típicos.
- La presencia de agua en el contacto mantiene el desgaste en valores mínimos, inferiores a $10 \mu\text{g}/(\text{m}\cdot\text{mm}^2)$, hasta que el agua puede penetrar en las grietas que aparecen en la superficie del disco y el desgaste se dispara hasta entre 200 y $600 \mu\text{g}/(\text{m}\cdot\text{mm}^2)$.
- No se ha encontrado desgaste de tipo catastrófico en los ensayos entre dos aceros bainíticos hasta el 2% de deslizamiento, pero la extrapolación de los datos disponibles parece indicar que se producirá este tipo de desgaste si se aumenta el valor del deslizamiento.
- La geometría de los discos también influye sobre el desgaste, de forma que los estrechos, en los que existe deformación lateral, sufren un desgaste sensiblemente menor que los anchos.

También se ha estudiado el valor máximo de desgaste que en condiciones “admisibles” de un 20% de deslizamiento pueden alcanzar los discos. En base a ello se deducen los siguientes datos adicionales a los anteriores:

- La presión normal juega un papel importantísimo en el desgaste, de modo que el desgaste que puede aparecer a altas presiones es mucho menor que el que puede llegar a existir a bajas presiones, pudiendo ser la

diferencia de hasta 2 órdenes de magnitud.

- La diferencia de durezas entre los discos tiene escasa importancia cuando ambos están endurecidos, pero adquiere relevancia si un disco es bainítico y el otro está fabricado en un acero al carbono. En este caso el desgaste del disco más blando aumenta notablemente.

5.4.- DEFORMACIÓN SUBSUPERFICIAL

En este capítulo se estudia la magnitud de la deformación plástica que sufren los discos en su superficie debido a los esfuerzos tangenciales que aparecen cuando existe deslizamiento entre los discos.

Como ya se ha expuesto en el estado del arte, esta deformación es la principal causa de la aparición de grietas en la superficie debido al agotamiento de la plasticidad del acero cuando las deformaciones entran en el ciclo de histéresis abierta conocido como “ratchetting”. Pero no sólo eso, el desgaste, ya estudiado, esta causado principalmente por esas grietas, que llevan a la delaminación. Otros cambios, como el endurecimiento de la superficie, también tienen su origen en la deformación plástica.

Aunque existen varias formas de cuantificar la deformación, se ha optado por hacerlo midiendo la profundidad hasta la cual el material ha resultado afectado. Se trata de un método que da resultados más que aceptables. Se intentó también medir el ángulo que forman las líneas de deformación con la vertical a 50 micras de profundidad, pero los resultados que se obtuvieron eran bastante caóticos y no parecían mostrar una evolución que se pudiese relacionar con la de los parámetros de control. Pese a todo, si que se aprecia una diferencia en cuanto a los valores encontrados para los ensayos con agua, que oscilan entre 33° y 66° con la vertical (se exceptúan los ensayos que han dado como resultado un desgaste catastrófico, con ángulos de hasta 80°) y los encontrados para los ensayos en seco, con ángulos más acusados que van de 60 a 86°.

Esta forma de medir lleva a que cuando se hable de “deformación” y a menos que explícitamente se indique de otra manera, se esté haciendo referencia a la profundidad de material afectado por deformaciones plásticas.

Para terminar, simplemente resta por recordar que sobre los ensayos con aceite, poco se puede decir en este apartado, ya que en ningún caso se ha encontrado deformación subsuperficial medible por los métodos empleados.

5.4.1.- MEDICIÓN DE LA DEFORMACIÓN SUBSUPERFICIAL

Para la medición de la deformación subsuperficial se ha preparado una probeta metalográfica por cada una de las muestras. El sistema de

preparación ha sido:

- Corte con disco abrasivo y refrigeración con agua.
- Embutición en metacrilato.
- Lijado progresivo con papel de grano 220, 500, 1000 y 4000.
- Pulido con pasta de diamante de 1 micra. Se usó el mínimo tiempo necesario con el fin de poder conservar el canto del trozo de metal.
- Ataque con Nital al 5%.
- Limpieza con metanol y secado.

Una vez las probetas están preparadas, se ha fotografiado la superficie a una escala tal que permitiese visualizar adecuadamente la zona deformada y parte del metal base. El microscopio usado ha sido un Nikon Microphot-FX., equipado con una cámara Optika Pro5. Con el fin de mejorar la calidad de la imagen, se decidió usar la técnica de “stack focusing” (tomar varias fotos de la misma zona con distintos enfoque para después combinarlas) y, de ser necesario, se creó un mosaico enlazando varias fotos para conseguir cubrir toda la zona deformada con unos aumentos adecuados.

Para realizar el “stack focusing” se usó el mismo software que se empleó para la toma de las imágenes; el Optika vision Pro. Para el resto de operaciones se usó el software libre ImageJ. La unión entre fotografías adyacentes se hizo mediante el plug-in “MosaicJ”, desarrollado por el Swiss Federal Institute of Technology, de Lausanne (Suiza) [238], mientras que la medición de la deformación requirió de un proceso algo más complejo, cuyos pasos se describen a continuación (La figura 163 ayudará a clarificar el proceso):

- Eliminación de zonas sin imagen que aparezcan debido a la creación del mosaico.
- Conversión de la imagen a escala de grises.
- Giro de la misma 90°, de forma que la superficie quede a la izquierda de la imagen.

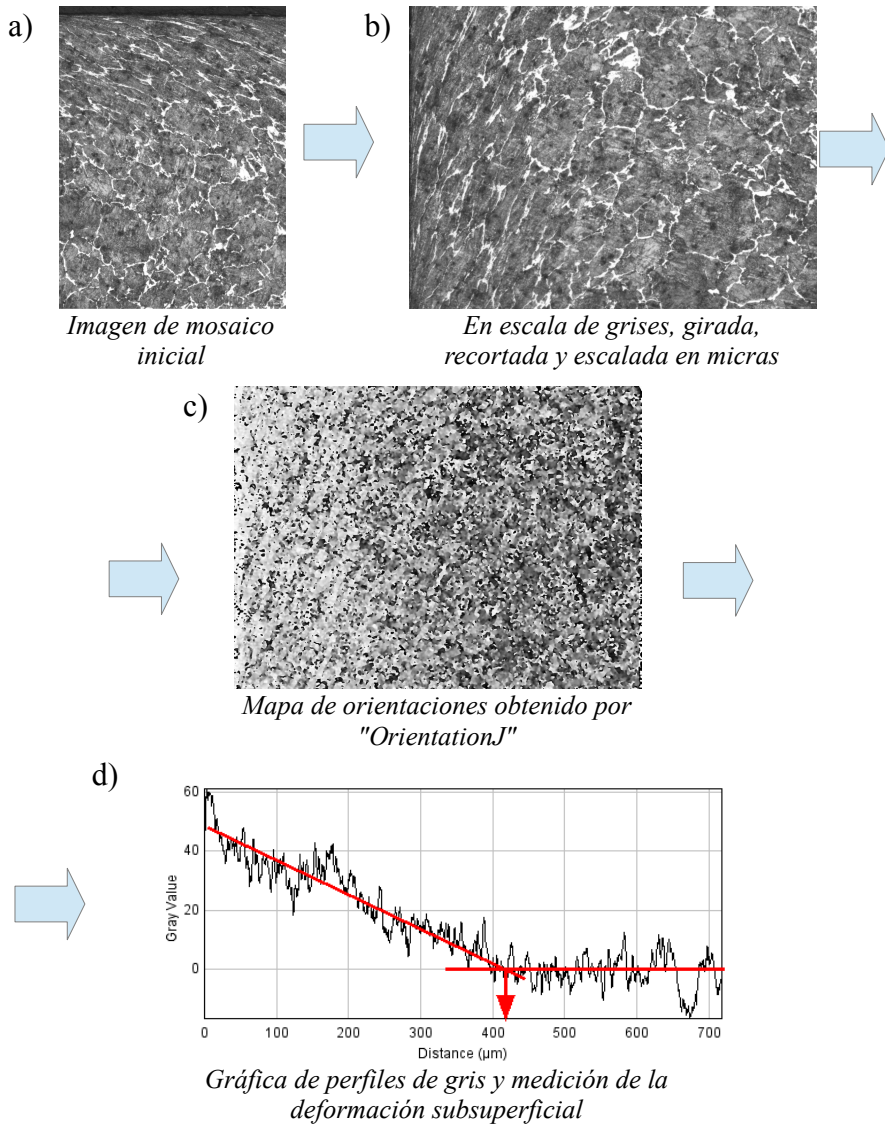


Figura 162: Proceso de medición de la deformación subsuperficial.

- Aplicación del plug-in “OrientationJ” (desarrollado también por el Swiss Federal institute of Technology) [239], con una ventana gaussiana de 2 píxeles y el método del gradiente cúbico, aunque

otros métodos dan también buenos resultados.

- De las diferentes imágenes calibradas en escala de grises que se crean, se selecciona la correspondiente a la orientación y se dibuja el perfil horizontal de la misma, para obtener una gráfica de la orientación en función de la profundidad.
- Se ajusta una recta a la pendiente que corresponde al acercamiento al valor de orientación del metal base (que debería ser nulo) y se toma como profundidad de deformación el punto de corte con el eje x.

Aunque algo tedioso, este método asegura la repetibilidad y que los resultados no dependen de la estimación meramente visual de las micrografías realizadas. Un ejemplo del uso de este procedimiento y de su bondad es la figura 163, donde se ha aplicado el algoritmo a una figura patrón.

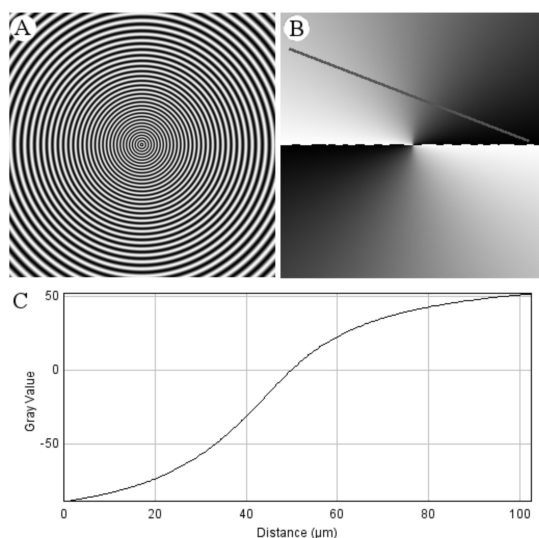


Figura 163.- Aplicación del método de cuantificación de la deformación sobre una imagen patrón. A: Imagen patrón. B: Mapa de ángulos. C: Ángulos correspondientes a la línea dibujada sobre el mapa de ángulos (la línea va de derecha a izquierda).

En la figura 163 la gráfica inferior se ha elaborado a partir de una línea, en la práctica se usará toda la imagen.

5.4.2.- PROFUNDIDAD AFECTADA POR LA DEFORMACIÓN: ENSAYOS ENTRE ACEROS C45 Y C55

La siguiente gráfica muestra la profundidad que alcanza la deformación para los ensayos realizados entre aceros al carbono, en seco y lubricando con agua:

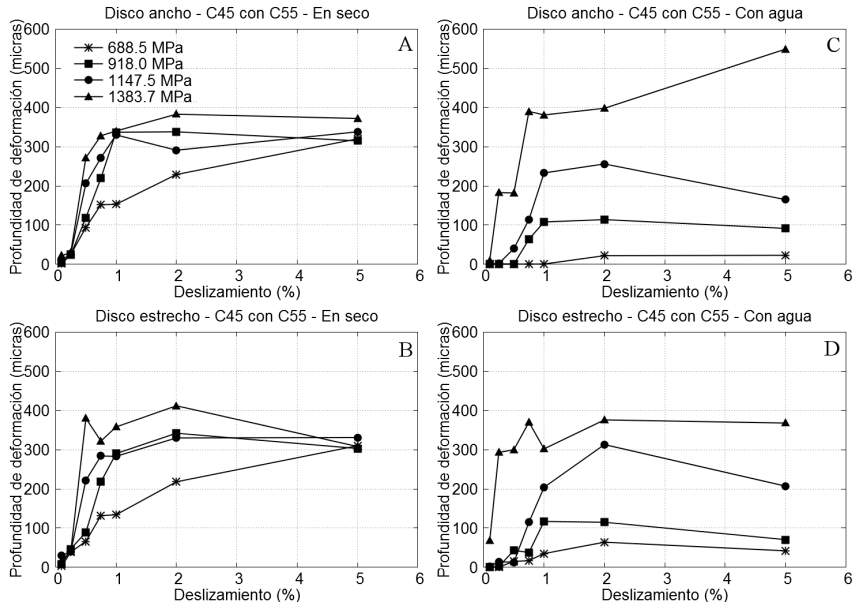


Figura 164.- Profundidad de material afectado por la deformación en función del deslizamiento y la presión para ensayos en seco y con agua con el par de aceros C45-C55.

Como puede observarse, no existe una gran diferencia entre la deformación subsuperficial encontrada para los discos estrecho y los anchos, aunque si las hay respecto al desgaste y otros parámetros como el endurecimiento alcanzado. Esto puede parecer extraño, puesto que ya se ha comentado que el disco estrecho tiene mayor facilidad para deformar que el ancho debido a que la banda de rodadura ocupa todo su canto y no hay material adyacente que impida que fluya hacia los lados. No obstante, hay dos razones que pueden justificar que la deformación de ambos discos sea muy parecida. La primera de ellas es que la deformación que aquí se está midiendo no es la lateral, sino la que tiene lugar en profundidad en la zona central de la banda de rodadura de los discos, y esta deformación está sólo un poco más impedida en un disco que en otro, por lo que resulta lógico

que, desde ese punto de vista y dentro de un cierto margen, la profundidad afectada por esta deformación sea parecida para ambos discos. La segunda razón es que el contenido en carbono de los aceros usados, C45 y C55, es distinto, con lo que, en teoría, el estrecho fabricado en C55 tendrá menos capacidad de deformación que el ancho, compensando la ligera mayor facilidad de deformación en profundidad que puede presentar debido a su geometría. Esto concuerda con el hecho de que, como se verá más adelante, si que se aprecia una mayor deformación en los discos estrechos cuando se ensayan dos aceros bainíticos con la misma dureza. Esta menor capacidad de deformación aducida al mayor contenido en carbono no tiene porqué entrar en conflicto con el hecho de que la dureza inicial de ambos discos sea muy similar, como se verá en el capítulo 5.5, donde se ve como ambos materiales presentan un nivel de endurecimiento diferente con igual deformación plástica superficial.

En todas las series de ensayos el valor máximo de deformación, alcanzado siempre con los valores más altos de presión normal, está alrededor de las 400 micras, independientemente de que el disco sea el ancho o el estrecho o de que el ensayo se haga en seco o con agua (cuando las tensiones tangenciales son notablemente menores), superándose este valor solamente en un caso correspondiente a un desgaste de tipo catastrófico. Este tipo de desgaste, que apareció con los ensayos en seco con presiones normales mínimas y deslizamientos del 2 y el 5% y con los ensayos con agua con presiones normales máximas y deslizamientos también del 2 y el 5%, va asociado a un cambio en el comportamiento de la curva deslizamiento-deformación, que en lugar de estabilizarse o disminuir para deslizamientos altos, sigue aumentando de forma notable hasta alcanzar valores de hasta 550 micras lubricando con agua en el caso más desfavorable. En seco este aumento también se aprecia pero no se alcanzan grandes deformaciones debido a la baja presión normal asociada.

Una característica a destacar de las curvas representadas es que, al igual que las que se han generado para el resto de parámetros estudiados, siguen de forma bastante acertada la evolución de las curvas de adherencia. Así, se parte de una deformación nula a deslizamiento cero y a partir de ahí aumenta siguiendo la evolución del coeficiente de tracción f , aunque la mayor dispersión que presentan las curvas de deformación respecto al deslizamiento hace que el punto de estabilización no coincida exactamente

con el de las curvas de adherencia.

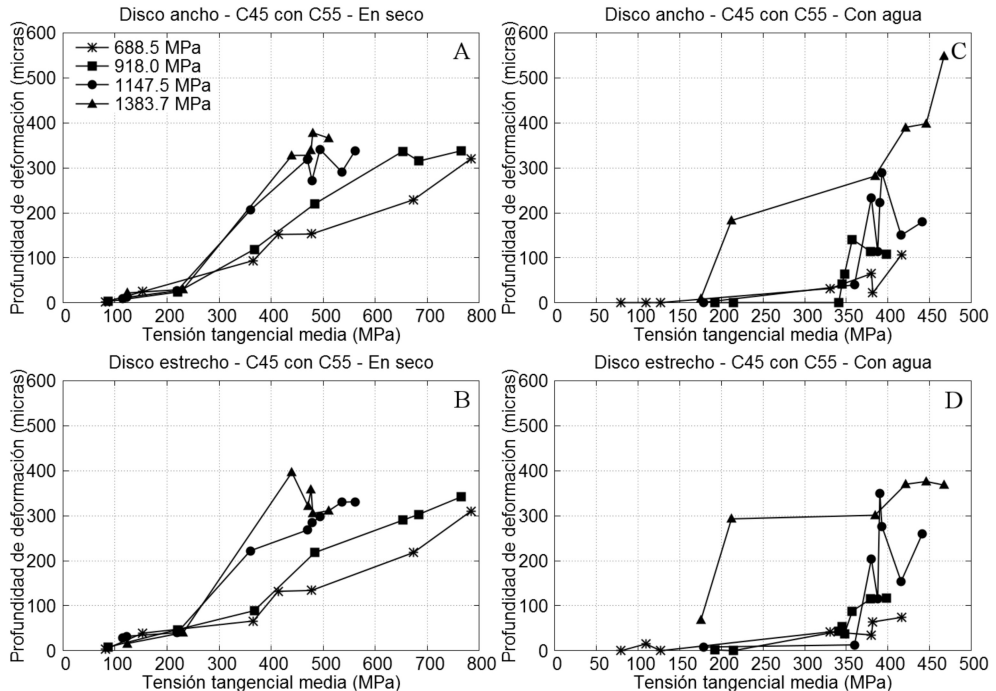


Figura 165.- Relación entre las tensiones tangenciales medias y la profundidad afectada por deformación plástica en los ensayos entre los aceros al carbono C45 y C55.

Si bien esta relación entre el coeficiente de tracción y la deformación se traduce en una dependencia en apariencia lineal de la deformación respecto a las tensiones tangenciales que aparecen en el contacto, dado que ambos parámetros responden de forma muy similar a las variaciones en la magnitud del deslizamiento, la figura 165 muestra también claramente como la deformación aumenta al hacerlo la presión normal. Debe recordarse aquí que ese mismo aumento de la presión normal va acompañado de una caída del coeficiente de tracción y también de las tensiones tangenciales, que no son más que el producto de $f \cdot P_{Nmax}$, ya que ante un aumento de P_{Nmax} , el descenso de f es todavía mayor. Esto lo que indica es que el aumento de la presión normal tiene dos efectos opuestos: por un lado, tal y como se ve en las gráficas, hace aumentar la deformación plástica y por otro, a través de su influencia sobre el coeficiente de tracción y las tensiones tangenciales, la hace disminuir.

Aunque puede decirse que predomina el efecto de aumentar el nivel de deformación, este doble comportamiento se manifiesta claramente en la mayor dependencia que muestran en la figura 164 los ensayos con agua respecto a las cargas normales en comparación con los ensayos en seco, quizá debido a los valores significativamente menores del coeficiente de tracción asociados a estos ensayos y a que las tensiones tangenciales apenas cambian al variar P_{Nmax} . Tal es así que para los ensayos realizados con una presión normal máxima de 1383.7 MPa, en los que tanto en seco como en agua se obtienen coeficientes de tracción similares, también las deformaciones lo son (esto se aprecia mejor en la figura 164 que en la 165).

No obstante, pese a la importancia de la presión normal, en ausencia de tensiones tangenciales tampoco existe deformación detectable visualmente mediante microscopía óptica, por lo que se hace indispensable la presencia de tensiones tangenciales. Algo de Perogrullo puesto que se están midiendo deformaciones tangenciales. Se trata, en definitiva, de una dependencia compleja respecto a las tensiones que aparecen en el contacto que es preciso estudiar detalladamente. En la figura 165 se aprecia, por lo menos para los ensayos en seco, que la profundidad afectada por la deformación plástica aumenta tanto al hacerlo la presión normal como la tangencial, con una dependencia de tipo exponencial o lineal respecto a la tangencial, aunque en algunos casos incluso parece seguir una curva en forma de “S” del tipo logístico, como a 1147.5 y 1383.7 MPa de presión máxima, en seco y para el disco ancho.

Dado que las deformaciones mantienen, en condiciones normales, una relación lineal con las tensiones y que ya se ha visto como existe una relación de proporcionalidad entre el coeficiente de tracción y la deformación, lo más probable es que la profundidad afectada por las deformaciones plásticas siga ese mismo comportamiento y la relación sea lineal. No obstante, para comprobar esa dependencia se ha recurrido a realizar unas simulaciones en campo elástico de las tensiones subsuperficiales y las deformaciones asociadas que aparecen en función del deslizamiento y la presión normal.

Estas simulaciones se han realizado sin mayores pretensiones que las de obtener una idea de como evoluciona la profundidad afectada por las deformaciones al ir aumentando el coeficiente de tracción y no con la de buscar un sistema de predicción por lo que la obtención de resultados más

precisos que los expuestos no es el objetivo de los cálculos y requerirá de una mayor complejidad en la simulación, que incluya mecanismos de deformación plástica y endurecimiento, incluyendo “ratchetting”. Las simulaciones se han hecho usando el programa Contact, de igual forma que en las simulaciones realizadas para el capítulo 5.1, seleccionando para ello un área en el plano Y (perpendicular al eje de los discos) que pasa por el punto central del contacto y que comprende ± 1 mm a ambos lados de la línea central de contacto y 1 mm de profundidad. Los ajustes realizados a los parámetros de entrada al programa de cálculo se han presentado ya en el apartado 5.1.1, donde se muestra que se puede lograr una buena correspondencia entre las curvas de adherencia obtenidas a partir de las simulaciones y las curvas ajustadas a partir de los valores reales.

El problema ha estado en como valorar hasta que profundidad van a aparecer deformaciones tangenciales permanentes cuando la simulación se ha llevado a cabo en un régimen elástico que poco tiene que ver con la realidad del ensayo. Se ha probado con la deformación tangencial en campo elástico y con algunos de los criterios de los presentados en el apartado 2.4.5, pero ninguno de ellos ha ofrecido buenos resultados. Finalmente, se ha decidido emplear la tensión de Von-Misses multiplicada por el desplazamiento que soporta el punto subsuperficial estudiado (ambos son valores proporcionados por el software), parámetro al que llamaremos “Parámetro de deformación” o *PDe*. Aunque parezca extraño esta combinación de dos parámetros es la que mejor se ajusta a los resultados experimentales obtenidos, quizá debido a que combina tanto la posibilidad de plastificación (dada por la tensión de Von Mises) como la necesidad de que la deformación tangencial supere un determinado nivel para que entre en el campo plástico (característica controlada por la deformación puntual).

La figura 166 muestra la distribución del mencionado parámetro bajo la superficie en función del valor del coeficiente de tracción para los ensayos en seco y una presión normal máxima de 688.5 MPa . En realidad las simulaciones se han llevado a cabo usando el deslizamiento como parámetro de entrada, pero en la figura se presenta el coeficiente de tracción resultante por ser éste el que se usará posteriormente en el estudio. La línea de 0.17 indica el valor del parámetro *PDe* por encima del cual se considera que existe deformación plástica tangencial. La profundidad máxima a la que se da ese valor es aquella hasta la cual hay deformación plástica tangencial.

Ese valor estimado en 0.17 para la presión de 688.5 MPa depende de la presión normal de forma lineal, tal y como muestra la siguiente tabla para los ensayos en seco:

| Presión máx. | 688.5 MPa | 918.0 MPa | 1147.5 MPa | 1383.7 MPa |
|--------------|-----------|-----------|------------|------------|
| PDe (seco) | 0.17 | 0.28 | 0.40 | 0.54 |

Tabla 32.- Valores elegidos para evaluar la profundidad de material afectada por la deformación en función de la presión normal para los ensayos en seco.

Estos valores se ajustan muy bien ($R^2 = 0.997$) a la ecuación de una recta:

$$PDe = C_{D1} + C_{D2} \cdot P_{Nmáx} = 0.00053 \cdot P_{Nmáx} - 0.202 \quad (55)$$

Si se repite el proceso anterior para las distintas presiones evaluadas es posible obtener la evolución de la profundidad de material afectado por deformación plástica en función del coeficiente de tracción o, mejor aún, de las tensiones tangenciales para poder comparar directamente con la figura 165.

El ajuste de los resultados obtenidos cuando hay presencia de agua en el contacto se complica un poco más por tres razones: La primera de ellas es la elevada dispersión de los resultados, la segunda el hecho de que los puntos se encuentren básicamente concentrados en la zona correspondiente al coeficiente de tracción estabilizado (altas tensiones tangenciales) y en la correspondiente a muy bajos coeficientes de tracción, con ausencia de puntos intermedios entre ellos para poder reconstruir mejor la evolución de la deformación con el valor de las tensiones tangenciales, y la tercera que la presencia de agua puede cambiar totalmente la respuesta del sistema en lo referente a la deformación al alterar los campos de tensiones que aparecen. No obstante, si se sigue asumiendo una dependencia lineal respecto a las tensiones tangenciales para realizar el ajuste y que las simulaciones realizadas mediante elementos finitos van a ser aplicables a los ensayos con agua, tal y como sucede con los ensayos en seco, es posible obtener unas rectas de ajuste para los datos de deformación de los que se dispone.

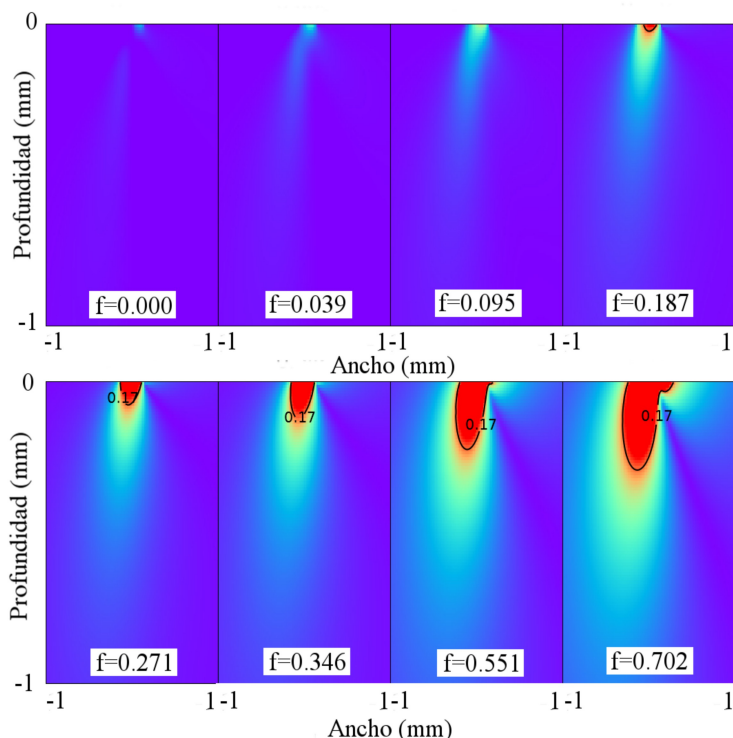


Figura 166.- Evaluación del parámetro PDe bajo la superficie del contacto para los ensayos realizados en seco con una presión normal máxima de 688.5 MPa entre aceros al carbono. Los valores de coeficiente de tracción mostrados corresponden a deslizamientos del 0, 0.10, 0.25, 0.50, 0.75, 1.00, 2.00 y 5.00%

En la figura 167 se han representado los resultados obtenidos usando este procedimiento. Como puede verse, en seco los valores de profundidad máxima a los que aparece deformación plástica calculados a partir de las simulaciones se ajustan bastante bien a las mediciones realizadas, por lo que puede asumirse que la simulación en campo elástico junto con la elección de PDe en base a la ecuación (55) da una buena aproximación al nivel de deformación esperable en los ensayos entre aceros al carbono, medido este como la profundidad máxima a la que se detecta deformación plástica. En agua, como ya se ha comentado y se esperaba, la situación es más compleja y la correspondencia entre las simulaciones y los datos reales es más dudosa por las razones ya aducidas. Aún así, la simulación se ajusta bien a los datos. La razón por la que las curvas “simuladas” no alcanzan valores de tensión tan altos como los que se encuentran en los datos reales está en que para las

simulaciones se han usado como datos de entrada los valores del coeficiente de tracción estabilizado de las tablas del capítulo 5.1, y en ellas ese valor está también influenciado por los obtenidos en los ensayos escalonados, inferiores muchas veces a los procedentes de los ensayos individuales.

En la práctica, las curvas obtenidas a partir de la simulación, aunque presentan una ligera pérdida de pendiente en su parte superior, pueden, por razones de simplificación, asimilarse a la recta (56), lo que corrobora la suposición inicial de que los puntos puedan ajustarse linealmente a la tensión tangencial media $Q_{med}(= T/A)$.

$$Deformación = C_{D3} + C_{D4} \cdot Q_{med} \tag{56}$$

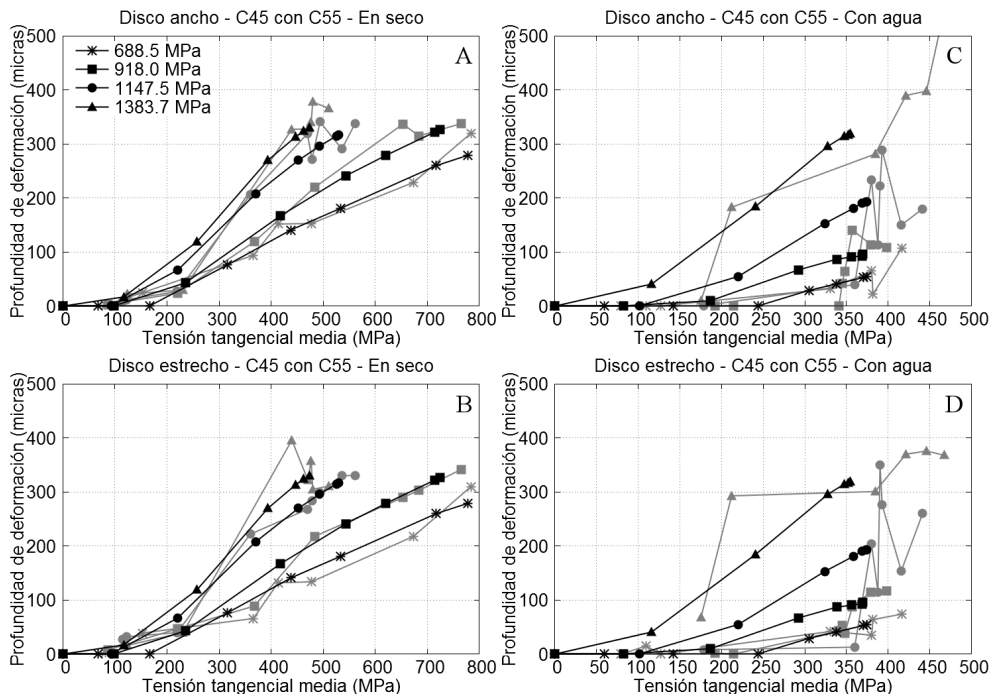


Figura 167.- Comparación entre los valores de deformación obtenidos de los ensayos y los obtenidos mediante simulación para los ensayos entre los aceros C45 y C55.

Las ecuaciones de las rectas ajustadas a partir de los puntos obtenidos en las simulaciones, que se estudiarán con más detalle en el apartado 5.4.4, son las siguientes:

| $P_{N\text{máx}}$ (MPa) | En seco | Con agua |
|-------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|
| 688.5 | $-55.7+0.4372 \cdot Q_{\text{med}}$ | $-84.5+0.3710 \cdot Q_{\text{med}}$ |
| 918.0 | $-81.7+0.5745 \cdot Q_{\text{med}}$ | $-97.7+0.5252 \cdot Q_{\text{med}}$ |
| 1147.5 | $-102.8+0.8067 \cdot Q_{\text{med}}$ | $-143.1+0.9038 \cdot Q_{\text{med}}$ |
| 1383.7 | $-77.3+0.9091 \cdot Q_{\text{med}}$ | $-97.6+1.1830 \cdot Q_{\text{med}}$ |

Tabla 33.- Rectas de ajuste para los datos de deformación subsuperficial.

Una circunstancia adicional que es preciso no olvidar cuando se estudia la deformación subsuperficial es que el perfil de deformaciones es distinto dependiendo de la combinación de tensiones normales y tangenciales. En teoría, las deformaciones deben seguir las curvas presentadas anteriormente en la figura 66 en función del valor del coeficiente de tracción, y exactamente ese mismo comportamiento es el que se encuentra en las simulaciones realizadas, como puede verse en la figura 168, donde se ha representado como evoluciona el campo de tensiones tangenciales (τ_{zx}) bajo la superficie para los ensayos en seco y con agua al ir aumentando la presión normal y con ella el coeficiente de tracción. A partir de esta figura puede estimarse que el cambio en el tipo de perfil se dará alrededor de un valor del coeficiente de tracción cercano a 0.3.

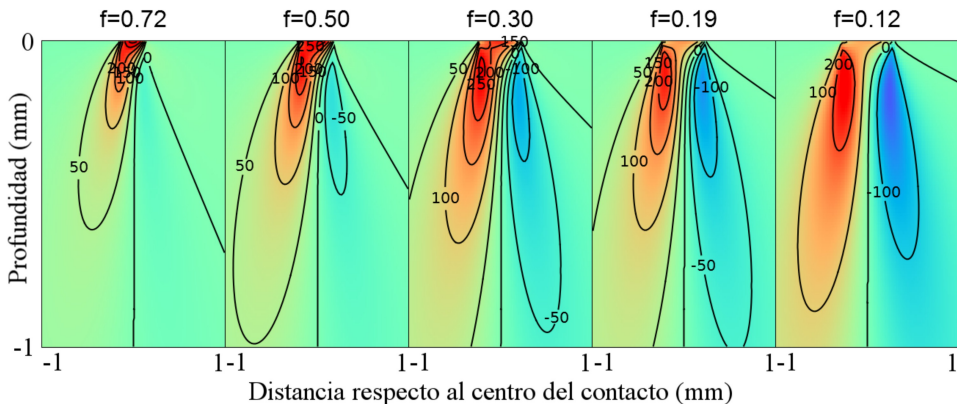


Figura 168.- Simulación del campo de tensiones τ_{zx} bajo la superficie del contacto para varios valores del coeficiente de tracción

Este valor de 0.3, que coincide con el comunmente aceptado como punto de separación entre el una zona de predominio de las deformaciones

superficiales y otra de presomnio de las subsuperficiales (véase, por ejemplo, la figura 40, tomada de [87], o el apartado 2.6.2), corresponde aproximadamente con el valor del coeficiente de tracción que separa los ensayos en seco de los ensayos con agua, de forma que los primeros deberían presentar una deformación máxima en la superficie con una reducción gradual al alejarnos de ella, mientras que en los segundos debería existir un máximo bajo la superficie. Puede decirse que los perfiles de deformación encontrados siguen aproximadamente lo esperado, aunque también es cierto que, tanto en seco como en agua, hay valores de adherencia que están al otro lado del límite marcado por $f=0.3$ sin que por eso el perfil de deformación cambie. Esto se ve con claridad en la figura 169, aunque normalmente la doble deformación que aparece en los ensayos con agua no suele ser tan marcada como la de la imagen. En esta figura, ambos ensayos presentaron un coeficiente de tracción de, aproximadamente, 0.2 y en teoría ambos deberían mostrar un máximo en la superficie y otro bajo ella. No obstante, mientras que el perfil de deformación del ensayo con agua es el correcto, el que presenta el ensayo en seco correspondería a un coeficiente de tracción superior a 0.3 y no a uno de 0.2, sin que se pueda justificar el distinto resultado obtenido.

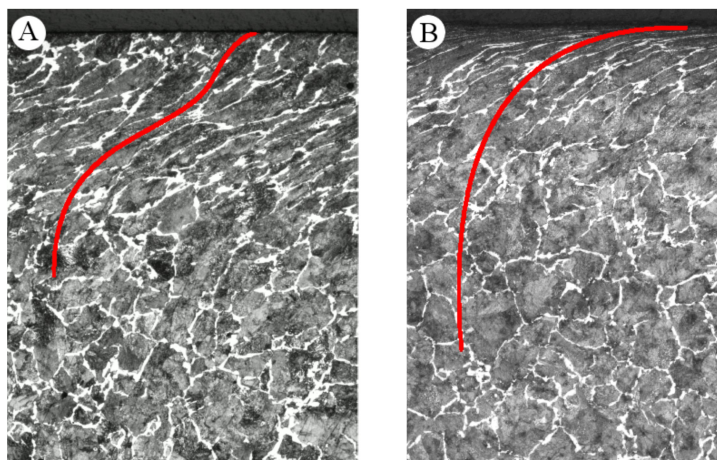


Figura 169.- Evolución de la deformación en profundidad para un ensayo con agua (A) y otro en seco (B). Ambos con un deslizamiento del 0.75% y una presión máxima de 1383.7 MPa

Esto hace evidente que la presencia de una capa de agua cambia, y no poco, el campo de tensiones a que están sometidos los materiales y la repuesta de los mismos. Es por ello que será preciso, en posteriores estudios

que incluyan cálculos de elementos finitos más elaborados, introducir en los cálculos el efecto que la presencia de una capa de agua tiene sobre el campo de tensiones tridimensional que aparece en el contacto.

5.4.3.- **INFLUENCIA DE LOS MATERIALES EN CONTACTO**

Cuando se cambia la dureza de los materiales en contacto es de esperar que la magnitud de la deformación que sufren sea menor si aumenta la dureza, tal y como confirma la figura 170.

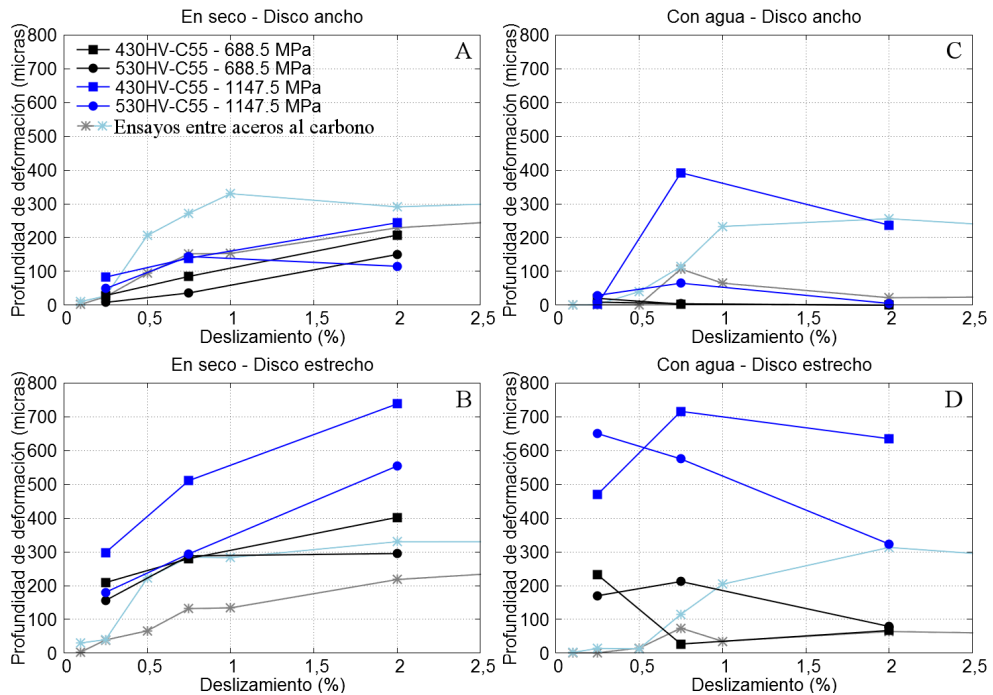


Figura 170.-Variación de la profundidad afectada por la deformación en función de la presión normal y el deslizamiento para ensayos entre los aceros bainíticos y el C55. En colores apagados: ensayos entre aceros al carbono.

En esa figura se puede apreciar como la deformación tangencial bajo la superficie para los discos anchos endurecidos apenas llega en ningún caso a las 200 micras en los ensayos en seco, cuando antes se acercaba a las 400 micras. Lo mismo sucede con los ensayos realizados con agua, donde no se superan las 100 micras, con la notable excepción de los ensayos realizados con el disco endurecido hasta 430 HV, lubricando con agua y a la máxima

presión normal. En este caso, al parecer, las tensiones son lo bastante altas y la dureza lo bastante baja como para deformar el material hasta las 400 micras de profundidad, incluso aunque las tensiones tangenciales apenas superan los 300 MPa.

El efecto sobre el disco estrecho, más blando, es, evidentemente, distinto y lleva a un incremento de la deformación, llegándose a superar las 700 micras en los casos más severos, tanto en agua como en seco.

Como es de esperar, un aumento en la presión de contacto va acompañado del correspondiente aumento en la deformación, como sucedía en los ensayos entre los aceros C45 y C55. Esto es visible sobre todo cuando se alcanza un desgaste de tipo catastrófico en los ensayos con agua, cuando la deformación se sitúa con facilidad entre 500 y 700 μm para el disco estrecho y 1147.5 MPa frente a las 250 micras máximas a las que se llega con 688.5 MPa.

En cuanto a la influencia de la mayor o menor dureza del acero bainítico, la tendencia es a que a más dureza se produzca una reducción en el volumen de material afectado por la deformación. Además, esta reducción tiene lugar incluso en los discos estrechos de C55, cuando sería de esperar que ellos no se viesen afectados por ese cambio.

La representación de la deformación frente a las tensiones tangenciales medias para los ensayos entre un acero al carbono y uno bainítico da origen a la figura 171. En ella se han incluido las rectas de ajuste a los puntos representados para los ensayos en seco (en la tabla 34 se muestran los coeficientes de ajuste). Estos ajustes no se han realizado en base a las simulaciones puesto que, como ya se vio, cuanto más tardía es la estabilización de la curva de adherencia, mucho mayor es la diferencia entre la curva simulada mediante “Contact” y las curvas de adherencia correspondientes a una presión normal máxima de 688.5 MPa se estabilizan muy tarde, aunque se sigue considerando una dependencia lineal con la tensión tangencial. Por su parte, el ajuste de los ensayos con agua carece de sentido con la escasa cantidad de datos disponibles y la dispersión que presentan, incrementada si cabe por la diferencia de dureza y microestructura de los materiales en contacto.

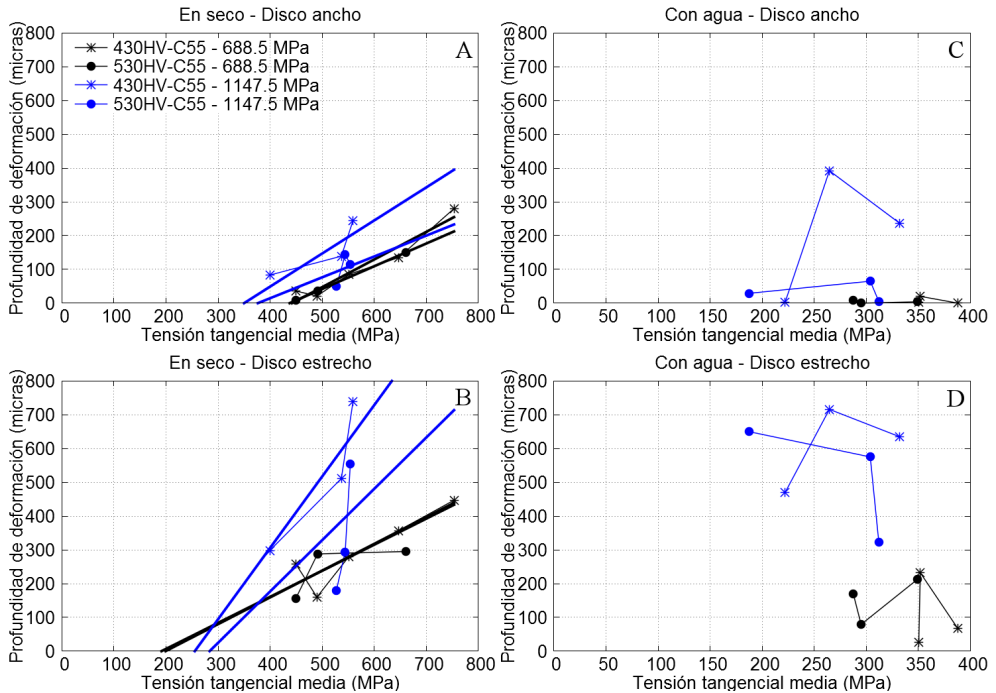


Figura 171.-Valores de deformación en los ensayos entre un acero C55 y uno bainítico. Curvas de ajuste para los ensayos en seco.

| $P_{N\text{m}\acute{a}\text{x}}$ (MPa) | 430HV-C55 en seco | 530HV-C55 en seco |
|--|--------------------------------------|--------------------------------------|
| 688.5 (ancho) | $-361.8+0.8187 \cdot Q_{\text{med}}$ | $-294.2+0.6727 \cdot Q_{\text{med}}$ |
| 1147.5 (ancho) | $-342.6+0.9794 \cdot Q_{\text{med}}$ | $-232.6+0.6182 \cdot Q_{\text{med}}$ |
| 688.5 (estrecho) | $-157.7+0.7925 \cdot Q_{\text{med}}$ | $-147.5+0.7925 \cdot Q_{\text{med}}$ |
| 1147.5 (estrecho) | $-766.3+2.5252 \cdot Q_{\text{med}}$ | $-503.9+1.6628 \cdot Q_{\text{med}}$ |

Tabla 34.- Coeficientes para las rectas de ajuste correspondientes a los ensayos en seco entre un acero al carbono y uno bainítico.

Cuando lo que se emplean en los ensayos son dos aceros endurecidos, el resultado en cuanto a deformación subsuperficial es el que muestra la figura 172. La mayor dureza de ambos materiales hace que la caída en la magnitud de la deformación sea sustancial, con valores que no llegan a superar las 300 micras en seco y muchísimo menos si los ensayos se hacen con agua, caso en el que solamente aparece una deformación de

algo más de 50 micras en el disco estrecho con la presión normal máxima y cuando éste tiene menor dureza que el disco ancho, 430 HV frente a 530 HV. Es en este caso cuando la zona deformada aumenta en el disco estrecho, más blando, y disminuye en el ancho, más duro. Sin embargo, no se puede afirmar que existan diferencias entre los resultados obtenidos cuando ambos discos tienen la misma dureza.

En estos ensayos el efecto de la geometría de los discos, evidente cuando se estudian otros parámetros, no es muy apreciable y, en todo caso, lleva a la conclusión de que la deformación es menor en el disco ancho, lo que no concuerda con el mayor daño que sufren esos discos.

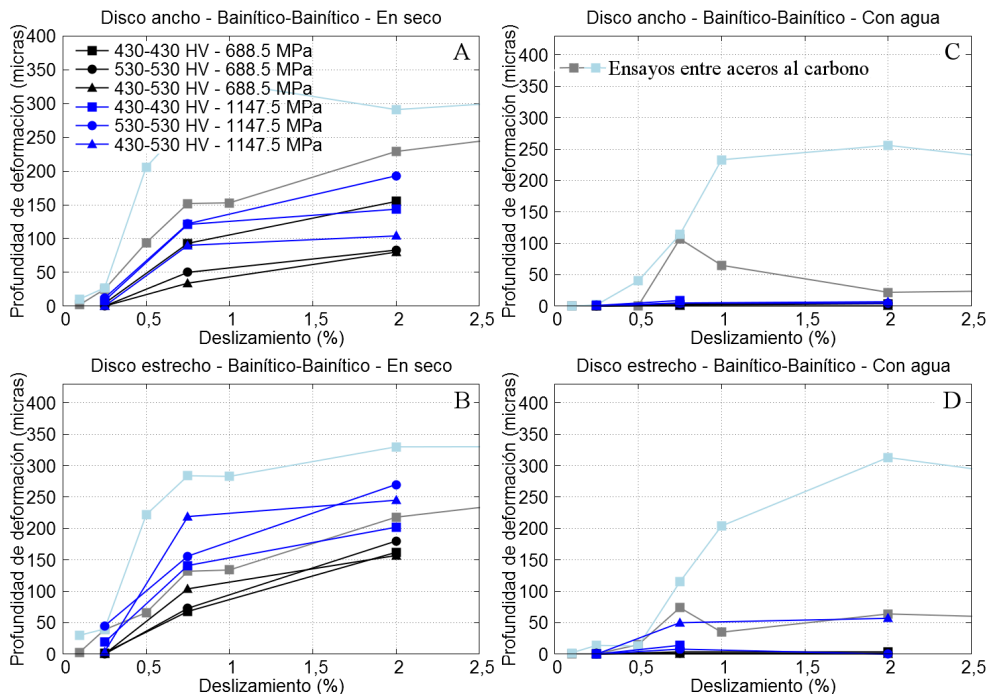


Figura 172.- Variación de la profundidad afectada por la deformación en función de la presión normal y el deslizamiento para ensayos entre aceros bainíticos. En colores apagados: Ensayos entre aceros al carbono.

Pese a este descenso en el nivel de deformación debe recordarse que los valores de velocidad de desgaste en los ensayos entre aceros bainíticos son incluso superiores a los que se dan entre aceros al carbono. Esta circunstancia implica que, aunque haya una clara relación entre deformación

plástica y desgaste, el valor de la profundidad sometida a plasticidad no es el mejor parámetro para estimar el desgaste. Esto es comprensible si se tiene en cuenta que en realidad la aparición de grietas superficiales se relaciona con el ratchetting y que no toda la profundidad sometida a deformación plástica va a estar sometida a ratchetting, que queda limitado a la zona más cercana a la superficie, y éste puede ser más intenso en la zona más superficial de los discos bainíticos que en los fabricados con aceros al carbono. Si a eso se añade que ambos aceros tienen una microestructura muy distinta y que el acero bainítico va a presentar menor resistencia al avance de grieta por su menor tenacidad es cuando queda justificado que un mayor desgaste pueda ir asociado a una menor deformación.

La figura 173 muestra el resultado de la representación de la profundidad de deformación frente a las tensiones tangenciales.

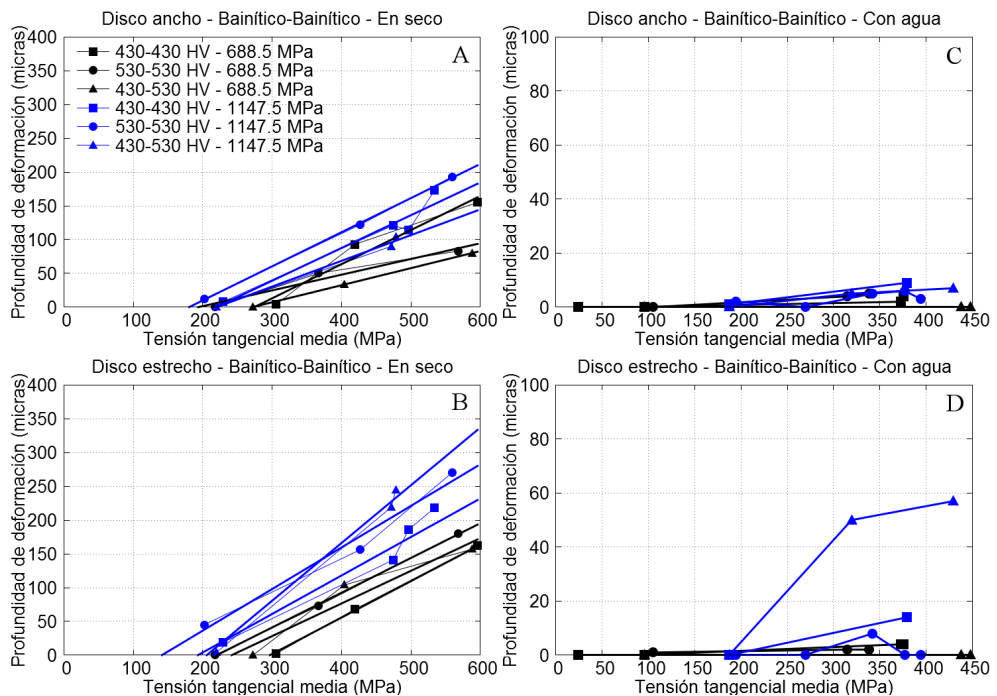


Figura 173.- Profundidad afectada por deformación plástica en los ensayos entre aceros bainíticos. En los ensayos sin lubricación se presentan también las rectas de ajuste a los resultados.

En la figura puede verse como la relación entre las tensiones

tangenciales y la magnitud de la deformación es totalmente lineal, desapareciendo la mayor dispersión de datos que existe cuando un disco está fabricado en un acero bainítico y el otro en C55. Esta circunstancia permite dibujar las rectas de ajuste con bastante precisión, aunque se disponga para ello de escasos puntos.

| $P_{N\text{m}\acute{a}x}$ (MPa) | 430HV-430HV en seco | 530HV-530HV en seco | 530HV-430HV en seco |
|---------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|
| 688.5 (ancho) | $-138.5+0.5054 \cdot Q_{\text{med}}$ | $-45.0+0.2327 \cdot Q_{\text{med}}$ | $-68.7+0.2530 \cdot Q_{\text{med}}$ |
| 688.5 (estrecho) | $-164.5+0.5493 \cdot Q_{\text{med}}$ | $-113.3+0.5145 \cdot Q_{\text{med}}$ | $-116.9+0.4836 \cdot Q_{\text{med}}$ |
| 1147.5 (ancho) | $-106.5+0.4854 \cdot Q_{\text{med}}$ | $-91.1+0.5053 \cdot Q_{\text{med}}$ | $-83.8+0.3810 \cdot Q_{\text{med}}$ |
| 1147.5 (estrecho) | $-127.1+0.6160 \cdot Q_{\text{med}}$ | $-86.9+0.6160 \cdot Q_{\text{med}}$ | $-192.9+0.8950 \cdot Q_{\text{med}}$ |

Tabla 35.- Coeficientes para las rectas de ajuste correspondientes a los ensayos en seco entre dos aceros bainíticos.

5.4.4.- ESTUDIO DE LAS CURVAS DE DEFORMACIÓN

La figura 174 es una representación de la rectas de deformación obtenidas en los apartados anteriores. Al igual que en el apartado 5.3.4, las curvas están codificadas por colores y se han interrumpido cuando se llega a la tensión tangencial máxima alcanzable de acuerdo con las curvas de adherencia descritas en el capítulo 5.1.

En la citada figura no se presentan más rectas que las ajustadas para los ensayos en seco, dado que en la mayor parte de los casos un ajuste de los datos de deformación para los ensayos con agua resulta difícil y no hay seguridad de que se acerque a la realidad.

Como puede verse, no resulta nada sencillo extraer una correlación entre la combinación de materiales ensayada y la deformación encontrada en los discos, estando las distintas curvas bastante mezcladas. Para superar este escollo el estudio de la figura 174 puede dividirse en varias partes y hacerse más accesible.

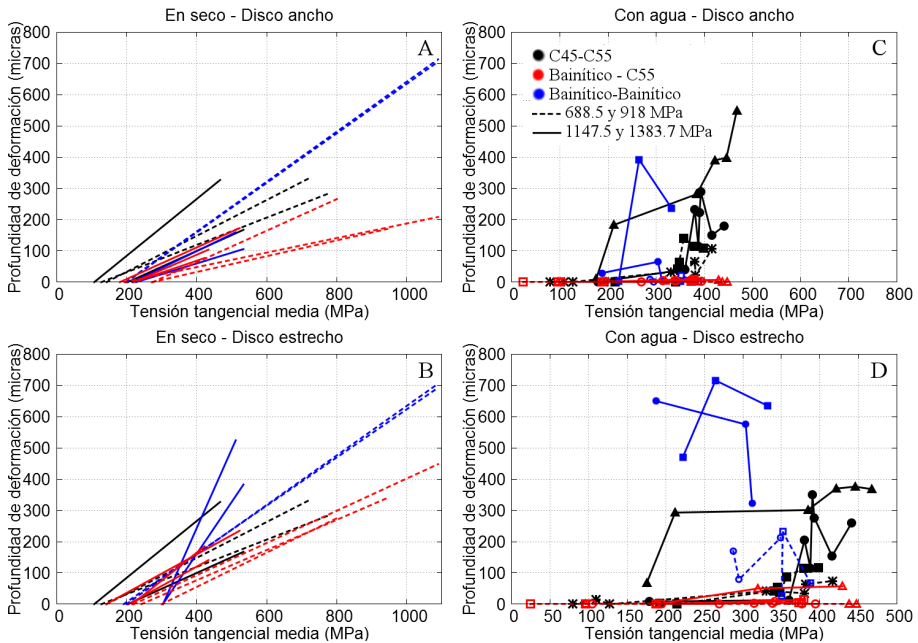


Figura 174.- Rectas de deformación ajustadas para los ensayos en seco y con agua en función de la tensión tangencial media.

La figura 175 corresponde a los valores de tensión tangencial a partir de los cuales aparece una deformación plástica apreciable, siempre teniendo en cuenta que se está trabajando con las rectas ajustadas y no con los datos reales y que siempre va a existir cierta dispersión alrededor de los datos representados.

De acuerdo con esta figura existe, cuando los materiales en contacto son distintos, una importante diferencia en cuanto a los valores a partir de los cuales habrá plasticidad. Si se trata de dos aceros al carbono el disco ancho (C45) presenta valores entre 100 y 150 MPa, con escasa influencia de la presión normal. Recuerdese aquí y en el resto del apartado que las curvas de ajuste en este caso son las mismas para el disco estrecho y para el ancho, circunstancia que se ha justificado anteriormente.

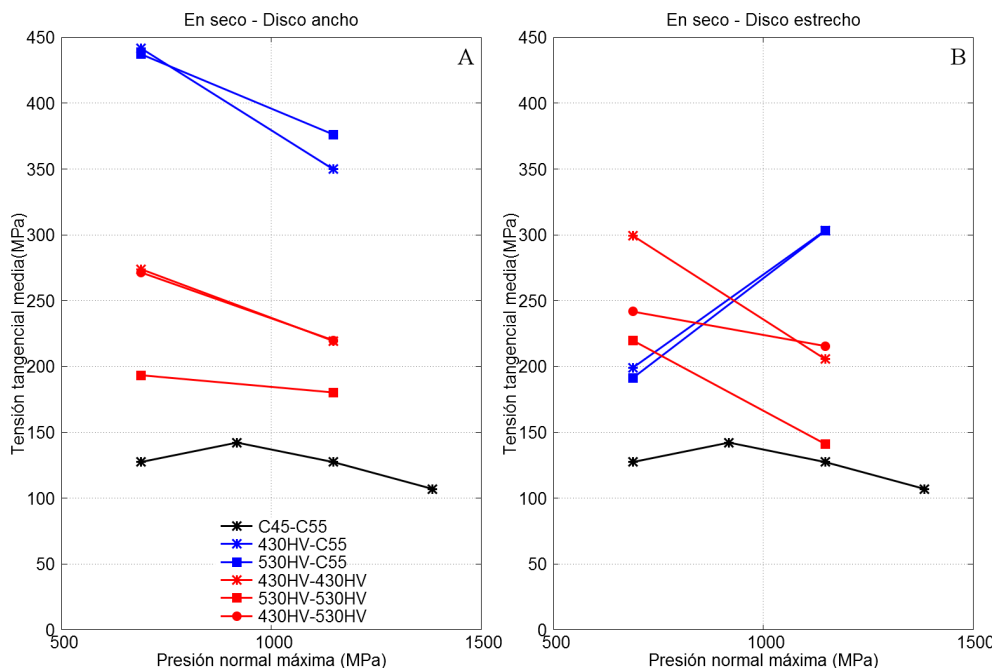


Figura 175.- Valores de tensión tangencial a partir de los cuales se ha encontrado deformación plástica en la superficie de los discos de acuerdo con las rectas ajustadas a los datos reales. A: Disco ancho. B: Disco estrecho.

Cuando uno de los discos es de tipo bainítico y el otro un acero al carbono, el más duro, al estar rodando contra un material mucho más blando que él mismo, no comienza a deformar hasta que se alcanzan tensiones tangenciales entre 350 y 450 MPa, las más altas de todas. En cuanto al disco estrecho, éste tiene un comportamiento distinto a todos los demás, de manera que parte de unos valores solamente un poco inferiores a 200 MPa cuando la presión normal normal máxima es de 688.5 MPa, al ir aumentando la presión la respuesta del disco es tal que se precisan 300 MPa para que haya deformación plástica cuando la presión normal máxima llega a los 1147.5 MPa. Aquí es importante hacer notar que el nivel de endurecimiento dado al acero bainítico no parece tener ninguna influencia sobre el valor umbral de tensiones tangenciales a superar para que exista plasticidad.

Los ensayos entre aceros bainíticos muestran valores que oscilan

entre 150 y 300 MPa, correspondiendo los más bajos a los aceros más endurecidos, en contra de lo que cabría esperar. Lo que no existe son grandes diferencias entre los valores correspondientes a los discos anchos y los estrechos.

En cuanto a la influencia de la presión normal, un aumento de la misma va acompañada de una mayor facilidad para que el material plastifique, pudiendo reducirse hasta en casi un 20% la tensión tangencial necesaria si la normal aumenta un 66%. La única excepción son los ya mencionados discos estrechos fabricados en C55 cuando se ensayan junto a un acero bainítico, aunque, por la dispersión de los puntos correspondientes a estos ensayos, estos datos son inciertos y serían necesarios más ensayos para corroborarlos.

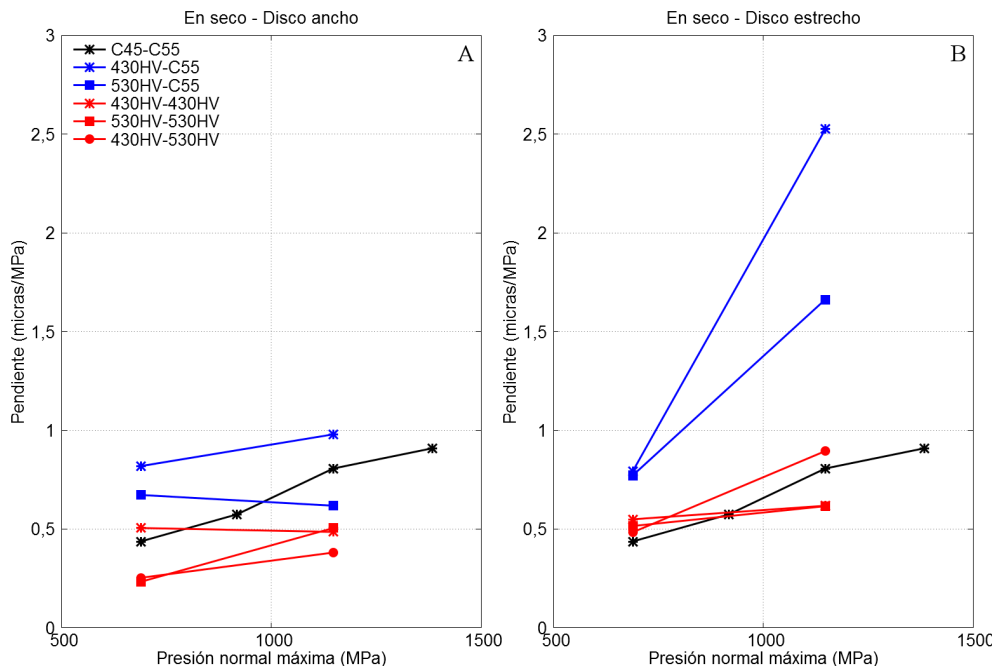


Figura 176.- Valores de las pendientes de las curvas de ajuste para los ensayos en seco.

A: Disco ancho. B: Disco estrecho.

En la figura 176 se puede ver el valor de la pendiente de las rectas de ajuste, es decir, la tasa a la que crece la profundidad de material afectado por deformación plástica cuando aumenta la presión normal. Lo primero que salta a la vista es la limitada influencia que tiene la presión normal sobre la

pendiente en los discos anchos en comparación con los estrechos, aunque en ambos casos la tendencia general es que la pendiente aumente al hacerlo la presión. Si se recuerda lo comentado respecto a la figura 175, eso significa que si bien un aumento de la presión normal retrasará la aparición de deformación plástica, una vez aparezca, la acelerará.

Las menores pendientes corresponden a los ensayos entre aceros bainíticos y las mayores a los realizados entre un acero al carbono y otro bainítico, sobre todo si se trata del disco fabricado en C55, aunque, inesperadamente, también los discos anchos endurecidos presentan en ese grupo de ensayos una pendiente comparativamente alta.

Las rectas correspondientes a los ensayos con los aceros C45 y C55 muestran valores medios de pendiente si el disco es el ancho y son muy similares a las que tienen los aceros bainíticos si se trata de los discos estrechos.

Por último, en la figura 177 se han representado los valores correspondientes a la deformación máxima que puede esperarse encontrar en función de la presión normal para cada una de las series de ensayos en seco. Estos valores se han calculado a partir de las rectas de ajuste deformación-tensión tangencial y de los valores del coeficiente de tracción estabilizado f_{∞} estimados en el capítulo 5.1.

En términos generales puede afirmarse que las mayores deformaciones se alcanzarían en los discos estrechos, con unas diferencias respecto a los anchos que fácilmente llegan a las 100 micras. Solamente los ensayos entre aceros al carbono muestran igualdad en el nivel de deformación alcanzable. En este caso, donde parece que el efecto de la geometría se contrarresta con el mayor contenido en carbono del acero C55 de los discos estrechos, las presiones normales no afectan al valor máximo de deformación alcanzable, el cual se sitúa cerca de 350 micras.

Esta invariancia en la deformación máxima respecto a la presión normal desaparece cuando se cambia la combinación de materiales, momento en el que se ve con claridad como la deformación disminuirá al hacerlo la presión normal. En esos casos la diferencia entre los valores a 688.5 y 1147.5 MPa llega con facilidad a las 100 micras e incluso más.

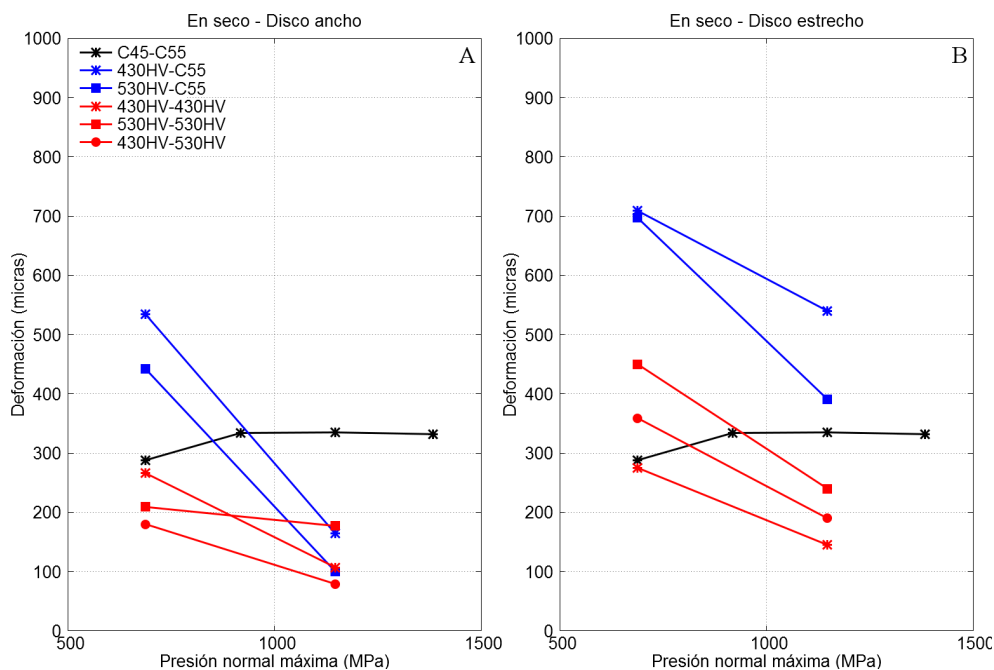


Figura 177.- Deformación máxima alcanzable en los ensayos en seco en función de la presión normal máxima. A: Disco ancho. B: Disco estrecho.

Al igual que en los casos anteriores, la combinación de materiales más desfavorable es la de un acero bainítico y uno al carbono debido a que la gran diferencia en cuanto a sus propiedades perjudica notablemente al material más blando (pudiendo alcanzar valores de 700 micras), aunque incluso el acero bainítico resulta desfavorecido a bajas presiones. En estos ensayos el uso del acero endurecido hasta 530HV se traduce en menores deformaciones que si se usa el endurecido hasta 430HV, aunque este efecto no se mantiene cuando se usan dos aceros bainíticos.

En cuanto a los ensayos con dos aceros bainíticos, las deformaciones máximas se sitúan por debajo de las 300 micras en los discos anchos y por debajo de 450 en los estrechos, indicación de que la geometría del disco estrecho supone una clara desventaja en lo que al control de las deformaciones plásticas se refiere.

Aunque en los párrafos anteriores no se hace mención a los ensayos con agua, es preciso recordar que si bien cuando rueda un disco bainítico

contra otro de la misma naturaleza la deformación encontrada ha sido mínima, el uso de dos aceros al carbono puede elevar el nivel de deformación hasta más de 500 micras si el disco es ancho y hasta 400 si es estrecho, e incluso se puede llegar a las 700 micras si se enfrenta un acero al carbono con uno bainítico.

5.4.5.- RESUMEN

Aunque en los ensayos en los que se ha añadido aceite al contacto no se ha podido medir ninguna deformación, los datos extraídos de los ensayos en seco y con agua han proporcionado una interesante información sobre el efecto de las variables de control sobre el nivel de deformación alcanzado, medido siempre como la profundidad máxima a la que se detecta deformación plástica.

La magnitud de la deformación depende fuertemente de la presión normal y de las tensiones tangenciales. La dependencia respecto a las tensiones tangenciales es lineal, como se ha comprobado tanto a partir de los datos recogidos como mediante una serie de simulaciones de los campos de tensiones y deformaciones subsuperficiales realizadas mediante el programa informático Contact. Estas simulaciones han permitido demostrar que el uso de este programa es totalmente aceptable para el estudio de la rodadura entre aceros al carbono, aunque su uso requiere de mayores ajustes que los usados aquí en los casos en los que el coeficiente de tracción se estabiliza más allá del 2%.

También se ha comprobado que los ensayos en seco presentan un máximo de deformación en la superficie (medida como desplazamiento de los puntos en paralelo a ella) y una reducción progresiva hacia el interior, mientras que los ensayos con agua muestran un pico adicional bajo ella. En teoría este cambio ocurre cuando el coeficiente de tracción baja de 0.3, aunque en este caso no sucede así exactamente y hay algunos ensayos que lo incumplen.

El resto de conclusiones extraídas se resumen a continuación:

- Los niveles de deformación son proporcionales, tanto en seco como con agua, a las tensiones tangenciales, de forma que a bajos deslizamientos, cuando esas tensiones son muy bajas no hay deformación y ésta se

estabiliza cuando lo hace el coeficiente de tracción.

- Un aumento de la presión normal va acompañado de un descenso en el valor de la tensión tangencial necesaria para que aparezca plastificación y de la deformación máxima alcanzable. No obstante, aumenta la pendiente de la recta que describe la ley de dependencia de la deformación con la tensión tangencial.
- Los ensayos entre aceros al carbono no muestran diferencias en cuanto a la deformación ya sean anchos o estrechos. Esto se justifica porque el mayor contenido en carbono de los estrechos compensa el efecto de su geometría, más proclive a la deformación plástica.
- Las máximas deformaciones encontradas en los ensayos entre aceros al carbono se sitúan alrededor de las 400 micras, tanto en agua como en seco.
- El uso de aceros bainíticos para los dos discos reduce notablemente el nivel de deformación superficial situándose en la mayor parte de los casos por debajo de las 200 micras en seco y de las 20 con agua.
- La combinación de un acero bainítico y un acero al carbono resulta en un fuerte incremento de la deformación del disco estrecho más blando, que puede llegar a superar las 700 micras tanto en seco como con agua cuando aparece desgaste de tipo catastrófico, aunque también puede hacer aumentar la deformación del disco bainítico.
- El valor de la tensión tangencial media a partir del cual aparecen deformaciones permanentes en seco se situa entre 150 y 450 MPa, correspondiendo los valores más bajos a los ensayos entre aceros bainíticos y los más altos a los discos estrechos de C55 cuando ruedan contra un acero bainítico.
- El valor de estas tensiones tiende a reducirse al aumentar la presión normal, aunque aumenta para los discos estrechos de C55 cuando ruedan contra un acero bainítico y no parece tener mucha influencia en los ensayos entre aceros al carbono.

- El nivel de endurecimiento de los aceros bainíticos no tiene ningún efecto en la combinación de materiales C55-bainítico, aunque parece ir acompañado de una reducción de la tensión umbral para la aparición de deformación plástica con la combinación bainítico-bainítico.
- Los valores máximos de deformación que se pueden alcanzar en una determinada serie de ensayos se reduce al aumentar la presión normal y la dureza del disco estudiado. Esto parece entrar en contradicción con el hecho de que una mayor presión normal adelanta el inicio de la aparición de la deformación plástica, pero hay que tener en cuenta que la deformación máxima alcanzable viene limitada por el coeficiente de adherencia estabilizado.

A todo lo anterior es preciso añadir que los ensayos realizados entre una cero bainítico y el C55 muestran una dispersión tal que será necesario realizar nuevos ensayos para confirmar las conclusiones encontradas sobre ellos o sustituirlas por otras.

5.5.- ENDURECIMIENTO SUPERFICIAL

El origen del endurecimiento que aparece en el carril de rodadura tiene su origen en la deformación plástica que aparece en la superficie. Se trata por lo tanto de un endurecimiento por acritud con acumulación de dislocaciones, reducción del tamaño de grano y, en el caso de los aceros al carbono, solución sólida de carbono en una matriz de ferrita por destrucción mecánica de las láminas de cementita [25] que antes de la deformación formaban parte de los granos de perlita en la microestructura del acero.

Al igual que ocurre con la deformación o el desgaste, ningún incremento de dureza se ha detectado en los ensayos en los que se ha lubricado el contacto con aceite. Ninguna referencia, por lo tanto, se hará a los mismos en los apartados que siguen.

5.5.1.- MEDICIÓN DE LA DUREZA SUPERFICIAL

La medición de la dureza superficial se realizó con un microdurómetro Vickers (modelo 400 del fabricante Innovatest) usando una carga de 300 gramos y un tiempo de mantenimiento de esa carga de 13 segundos. Se tomaron 5 medidas para cada muestra y se calculó un valor medio con ellas. Dada la elevada dispersión de los resultados que se obtenían, se decidió no eliminar ninguna medida aunque estuviese fuera del rango de ± 2 desviaciones típicas. Esto siempre que la huella obtenida en la superficie de la muestra no mostrase una asimetría excesiva. En tal caso, se procedía a repetir la medida para volver a tener 5 valores válidos.

Aún así, la dispersión encontrada en las medidas es muy grande. Esto se debe a que se tomaron sobre la superficie, lo que incrementa la dificultad de obtener una medida precisa de la dureza debido a las irregularidades (grietas, partículas adheridas, surcos y otro tipo de marcas) que existen en las bandas de rodadura. Como contrapartida se obtiene una medida mucho más representativa del nivel de endurecimiento que llegan a alcanzar las capas más externas de los discos, que son las que están realmente en contacto y aquellas cuyas características tienen más influencia sobre los procesos tribológicos y de adherencia que aparecen.

5.5.2.- **ENDURECIMIENTO EN LOS ENSAYOS C45-C55**

Los resultados obtenidos para los ensayos realizados en la primera fase con los aceros al carbono CK45 y CK55 se muestran en la figura 178 en función del deslizamiento y la presión normal de contacto.

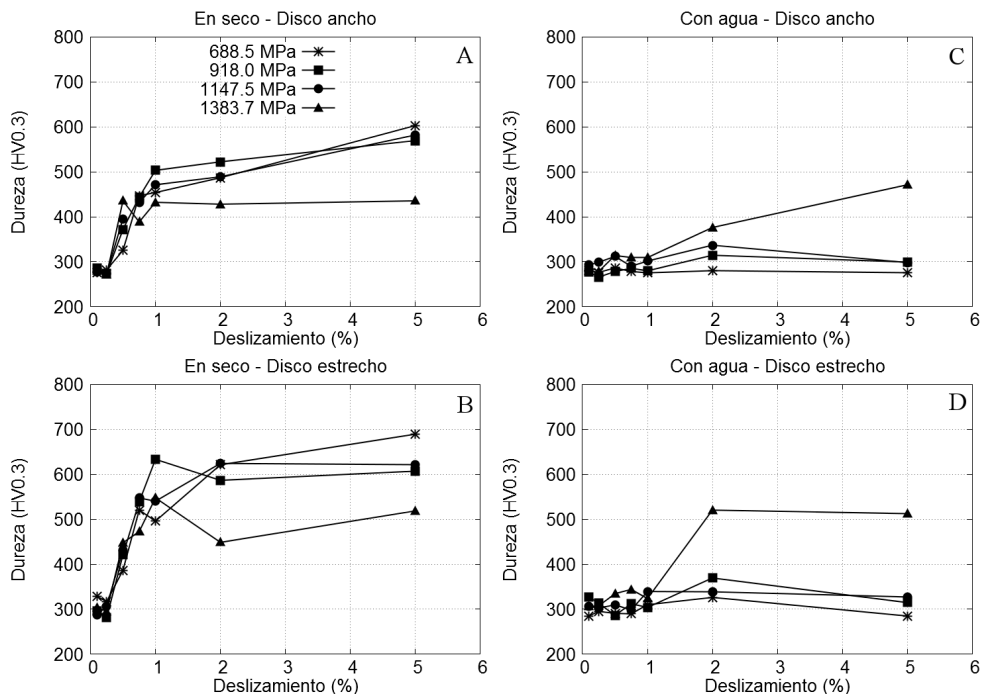


Figura 178.- Dureza tras los ensayos en seco y con agua cuando se usan aceros C45 y C55

Las curvas obtenidas en seco para los dos tipos de disco, el estrecho y el ancho, muestran la misma evolución en función del deslizamiento, pudiendo dividirse la curva en tres zonas:

- Hasta 0.25%, éste incluido.
- Entre 0.5 y 1%.
- Deslizamientos superiores al 1%.

La primera zona de bajos deslizamientos se caracteriza por el hecho de que el endurecimiento es muy limitado o incluso nulo debido al bajo nivel de deformación plástica que aparece. Esta circunstancia indica que,

igual que sucede con el resto de parámetros estudiados con anterioridad, existe un umbral que debe superarse para que pueda aparecer una deformación plástica efectiva en la superficie y, por ende, un endurecimiento medible.

Para valores de deslizamiento del 0.25% es incluso plausible, según la figura 178, que exista un pequeño descenso de la dureza, quizá debido a cambios en la fina capa de material ligeramente endurecido a causa del proceso de mecanizado y rectificado de los discos. En cualquier caso, este efecto es muy pequeño, tal y como las medidas confirman, y podría también estar causado por las desviaciones estadísticas inherentes a todo proceso de medida. Así pues, se requerirá la realización de ensayos y dediciones adicionales para confirmar la existencia de este descenso en la dureza.

De acuerdo con el apartado 5.2.1, esta zona de la gráfica se encuentra asociada con un aspecto de la superficie caracterizado por un aplastamiento de la rugosidad y la presencia de una capa superficial de óxido marrón y brillante, propia de un proceso oxidativo, sin que muestre ningún otro signo de deterioro.

Para deslizamientos entre el 0.5% y el 1% (ambos incluidos) los discos experimentan un endurecimiento superficial proporcional al incremento en el valor del deslizamiento. Se trata de una zona de transición en la que aparece un rápido incremento de la dureza. Para los discos que anchos se alcanzan valores entre 400 y 500 HV al final de esta transición, mientras que para el disco estrecho la dureza se sitúa entre los 500 y los 600 HV, o incluso más. Este rápido incremento de la dureza está directamente relacionado con la mayor deformación plástica que aparece en la superficie y que penetra varias decenas de micras hacia su interior. El mayor valor de dureza que alcanza el disco estrecho puede relacionarse tanto con su mayor contenido en carbono como con la geometría del mismo, al permitir ésta mayores deformaciones que la del disco ancho.

Para deslizamientos por encima del 1% se observa un incremento adicional de la dureza. En el disco estrecho se alcanzan valores entre 600 y 700HV, mientras que en los discos anchos el aumento se queda entre 550 y 600HV para deslizamientos, en ambos casos, del 5%. Este incremento adicional de la dureza más allá del 1% de deslizamiento se produce incluso

aunque el coeficiente de tracción no aumente, indicación de que también el valor del deslizamiento influye sobre la mayor dureza alcanzada, incrementándola. Solamente los discos ensayados a una presión máxima de 1383.7 MPa, la máxima probada, no muestran un aumento adicional de dureza, posiblemente debido a las bajas tensiones tangenciales que aparecen.

Estos valores están al nivel de los encontrados para la martensita y son los que se encuentran frecuentemente en las capas blancas que aparecen en las ruedas debido a un deslizamiento severo durante una frenada, pero no se esperaba encontrarlos tan fácilmente con los deslizamientos probados en los ensayos.

Las tensiones normales también llevan habitualmente a un proceso de endurecimiento a la vez que inducen tensiones residuales en la superficie. No obstante, la intensidad de estos procesos resulta tan baja en este caso que puede despreciarse. Una prueba de ello es el nulo endurecimiento a muy bajos deslizamientos y con tensiones normales altas, cuando por ser las tensiones tangenciales tan bajas no hay endurecimiento alguno.

Respecto a los ensayos en agua, el efecto lubricante del agua hace que el endurecimiento de las superficies pueda considerarse prácticamente despreciable excepto en un caso, cuando se usan las presiones normales más elevadas con deslizamientos del 2 o el 5%. Estos casos coinciden justamente con aquellos en los que el desgaste es de tipo catastrófico debido a la penetración del agua en las grietas.

La figura 179 muestra la dureza que han alcanzado los distintos discos tras los ensayos en función del parámetro de daño PD definido en el capítulo 5.3. Podría simplemente haberse empleado la tensión tangencial con prácticamente el mismo resultado pero se ha considerado más correcto el uso de PD puesto que mientras que el material no alcance su límite de endurecimiento el aumento de dureza va a ser un proceso acumulativo con el número de ciclos de carga que soporta y es exactamente el deslizamiento la variable que tiene en cuenta el número real de ciclos que soportarán los discos.

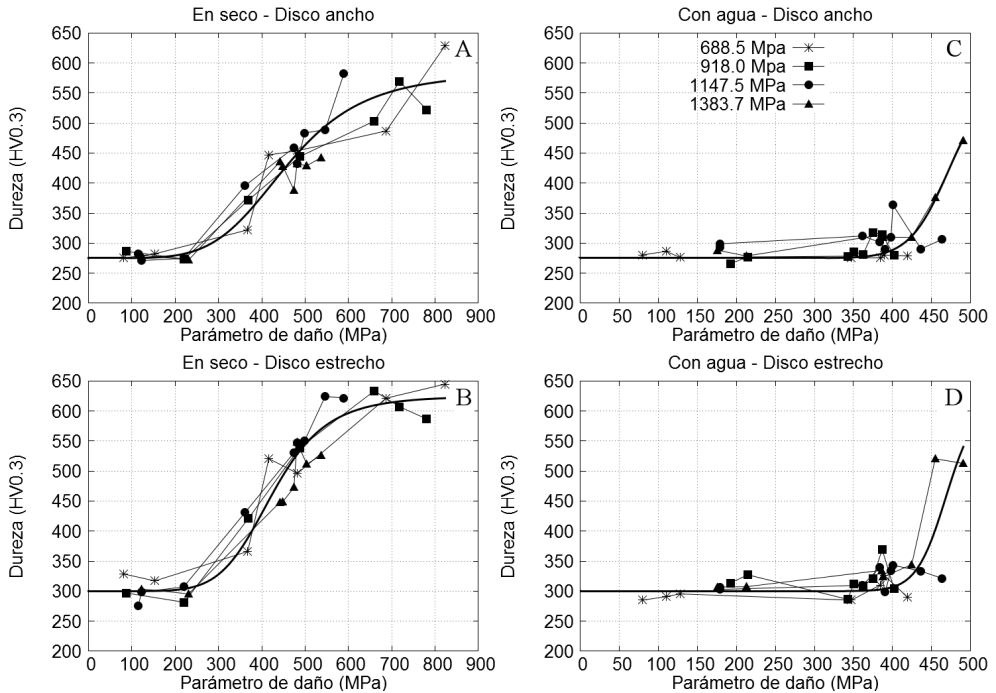


Figura 179.- Dureza de los discos de acero al carbono tras los ensayos entre ellos en función del parámetro de daño. Se presentan también las curvas de ajuste.

Se puede apreciar como la evolución en seco de la dureza con el parámetro de daño adopta una forma de “S” en la que su límite inferior corresponde con la dureza inicial de los discos y su límite superior con el límite de endurecimiento por acritud del acero. Estas curvas pueden ajustarse de forma bastante acertada mediante una función logística como la siguiente:

$$Dureza = H = \frac{H_0 - H_f}{1 + (PD / PD_0)^{p_H}} + H_f \quad (57)$$

donde H_f es el límite superior de la curva (dureza final), H_0 es el límite inferior (dureza antes del ensayo), PD_0 es el valor del parámetro de daño en el que se alcanza el punto medio de la transición entre el nivel alto y el bajo y p_H controla la pendiente de esa transición, siendo más alta cuanto mayor es su valor.

Antes de seguir es preciso aclarar un punto acerca de H_f . Este coeficiente coincide en teoría con el límite de endurecimiento del material por acritud. No obstante, se ha visto que el valor de H_f no depende solamente del material en cuestión sino también de la geometría de los discos y de las condiciones de contacto, sobre todo cuando el disco gira contra otro mucho más duro. Así pues, más que hablar de un límite de endurecimiento por acritud, definido éste como una características intrínseca del material, H_f corresponde a un pseudolímite de endurecimiento, cuyo valor depende del material en cuestión y de las condiciones de rodadura. Además de lo comentado, debe tenerse en cuenta que el aumento de dureza está causado también por fenómenos que van más allá de la mera acumulación de dislocaciones por acritud, como puede ser la aparición de carburos o la transformación a martensita de la austenita retenida bajo altas presiones en los aceros bainíticos.

La tabla 36 muestra los coeficientes de ajuste de los datos a la función logística seleccionada.

| | H_0 | H_f | PD_0 | p_H |
|----------------|-------|-------|--------|-------|
| C45 – En seco | 275 | 585 | 459 | 5,1 |
| C55 – En seco | 297 | 625 | 425 | 6,8 |
| C45 – Con agua | 275 | 585 | 475 | 18 |
| C55 – Con agua | 297 | 625 | 470 | 24 |

Tabla 36.- Coeficientes de ajuste para los ensayos entre los aceros al carbono C45 y C55 a la función (57).

Aunque estas curvas se estudiarán con más detalle posteriormente es destacable el hecho de que, al contrario de como se ha venido haciendo hasta ahora, se ha usado una sola curva para representar los datos de cada gráfica y no una distinta por cada valor de la variable de control “presión normal”. Esto es una clara consecuencia de la ya mentada escasa influencia de la presión normal sobre el endurecimiento.

En los ensayos en los que se ha añadido agua al contacto resulta imposible realizar el ajuste a la función (57) por el escaso número de puntos

que muestran una dureza significativamente superior a la inicial. Aún así, se han representado las curvas que se ven en la figura 179 reusando, dado que los materiales son los mismos, los coeficientes de ajuste hallados para los ensayos en seco.

Para terminar este apartado, queda por comentar algo al respecto de la evolución de la dureza superficial con los metros recorridos. Para obtener algún dato a este respecto se optó por parar uno de los ensayos dos veces para tomar medidas de dureza. Como se vió en el apartado 5.1.1, éste fue el correspondiente a una presión normal máxima de 1383.7 MPa y un 0.75 de deslizamiento entre aceros al carbono en seco. Las medidas que se obtuvieron se muestran en la figura junto con la evolución del coeficiente de tracción.

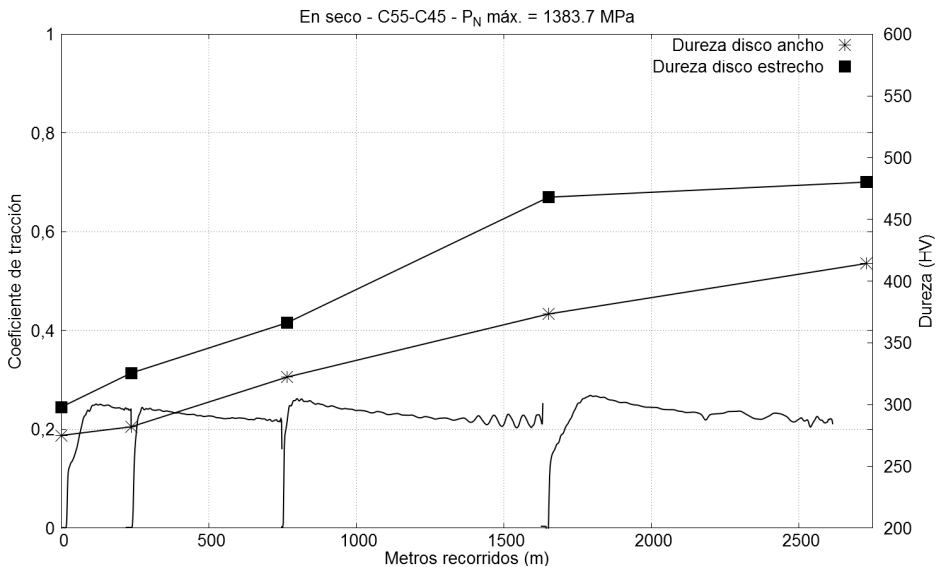


Figura 180.- Evolución de la dureza superficial a lo largo del ensayo entre aceros al carbono con una presión normal máxima de 1383.7 MPa y un 0.75% de deslizamiento.

Como puede verse en la figura, el endurecimiento del material es un proceso lento y progresivo que puede llegar a abarcar toda la duración del ensayo e incluso resultar que ésta es insuficiente para que se alcance la máxima dureza posible. Esto es exactamente lo que sucede con el disco estrecho, cuya dureza parece que pueda seguir aumentando algo más. La del disco ancho, por el contrario, llega a alcanzar la máxima dureza posible.

En cualquier caso, ésta es una investigación que no podía llevarse a cabo en esta tesis y que es digna de recibir una atención futura que permita estudiar la evolución del endurecimiento con la distancia recorrida y la influencia de las variables de control en la forma en que se desarrolle esa evolución.

5.5.3.- INFLUENCIA DE LOS MATERIALES EN CONTACTO

Las durezas medidas cuando los ensayos se hacen entre un acero bainítico y un acero al carbono son las que muestra la figura 181.

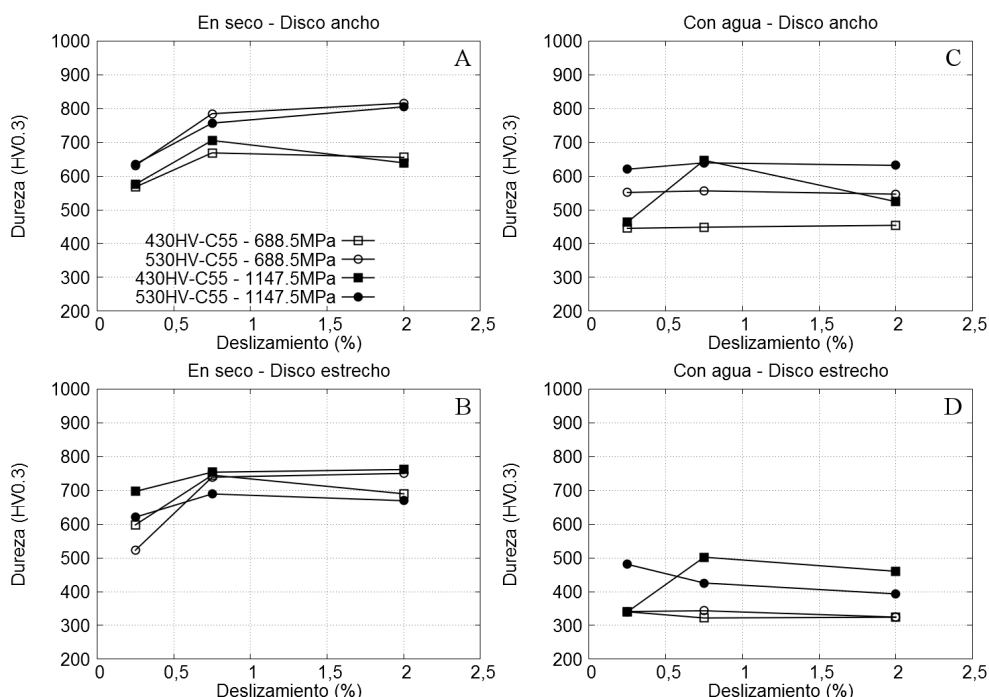


Figura 181.- Dureza tras los ensayos llevados a cabo entre un acero bainítico y un acero al carbono C55.

Si antes los valores máximos de dureza para los ensayos en seco se situaban entre 600 y 700 HV, ahora 600HV representan casi un límite inferior, alcanzándose valores que llegan a superar los 800HV con el acero bainítico. Es preciso resaltar en este momento que la dureza final que alcanza el acero bainítico parece estar directamente relacionada con su valor inicial, aunque el incremento en su valor parece ser independiente de esa dureza. En contraposición y al igual que en los ensayos entre aceros al

carbono, la dureza final de los discos estrechos fabricados en C55 muestra ser insensible a los cambios en la presión normal.

Otro hecho que llamaría la atención si no fuese porque ya se ha visto esta misma circunstancia al estudiar otros parámetros es que en seco ambos discos se endurecen incluso cuando el deslizamiento es del 0.25%, cosa que no sucedía en los ensayos entre aceros al carbono. Esto se relaciona con el mayor desgaste y deformación que también presentan estos ensayos y es preciso atribuirlo a la gran diferencia microestructural y de durezas que hay entre los dos discos en contacto.

En cuanto a los ensayos con agua, en esta ocasión si que hay bastantes puntos que muestran endurecimiento, aunque por desgracia también en este caso ha sido imposible obtener unas curvas de ajuste. En cualquier caso, es posible extraer algunas conclusiones de los datos representados. La más importante de ellas es que en estos ensayos la presión normal si que tiene una gran influencia sobre el endurecimiento, aumentando la dureza a la par que la presión normal, aunque también es cierto que en los ensayos realizados a 1147.5 kN ha habido desgaste catastrófico en los discos estrechos. La única diferencia que existe respecto al resto de ensayos es que los discos sufren un desgaste de tipo catastrófico. Este desgaste lleva a que la superficie de los discos estrechos queden cubiertos de grandes escamas de material metálico poco oxidado y todavía sujetas a los discos (se van desprendiendo para dar origen al elevado desgaste detectado pero son inmediatamente sustituidas por otras). Estas escamas han perdido el soporte tanto inferior como lateral que les ofrecía el material base que las rodeaba inicialmente. Sin ese soporte pueden plastificar con facilidad al ser aplastadas entre los dos discos, de forma que van a endurecer por acritud y ser la causa del endurecimiento encontrado ya que la dureza se mide en ellas, al seguir estando unidas al disco. Un ejemplo de estas escamas es el de la figura 182, donde se ve una escama casi totalmente separada del disco junto con otra bajo ella algo más unida.

Esto no explica el endurecimiento que también se ve en algunos discos anchos bainíticos, de unos 100 HV, para lo cual hay que buscar una justificación que ahora mismo no se tiene, puesto que el nivel de deformación es muy bajo.

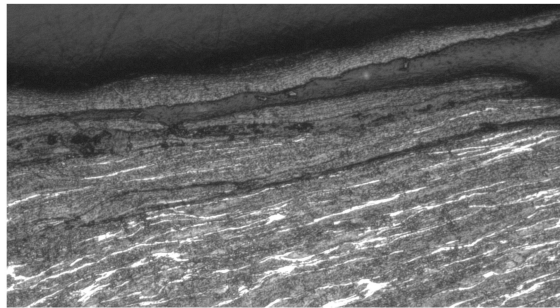


Figura 182.- Escamas en un corte transversal en un discos estrecho fabricado en acero C55 y que ha sufrido desgaste catastrófico (x100).

La figura 183 muestra los datos de dureza en función de PD y su ajuste a la función (57). Los coeficientes de ajuste se dan en la tabla 37.

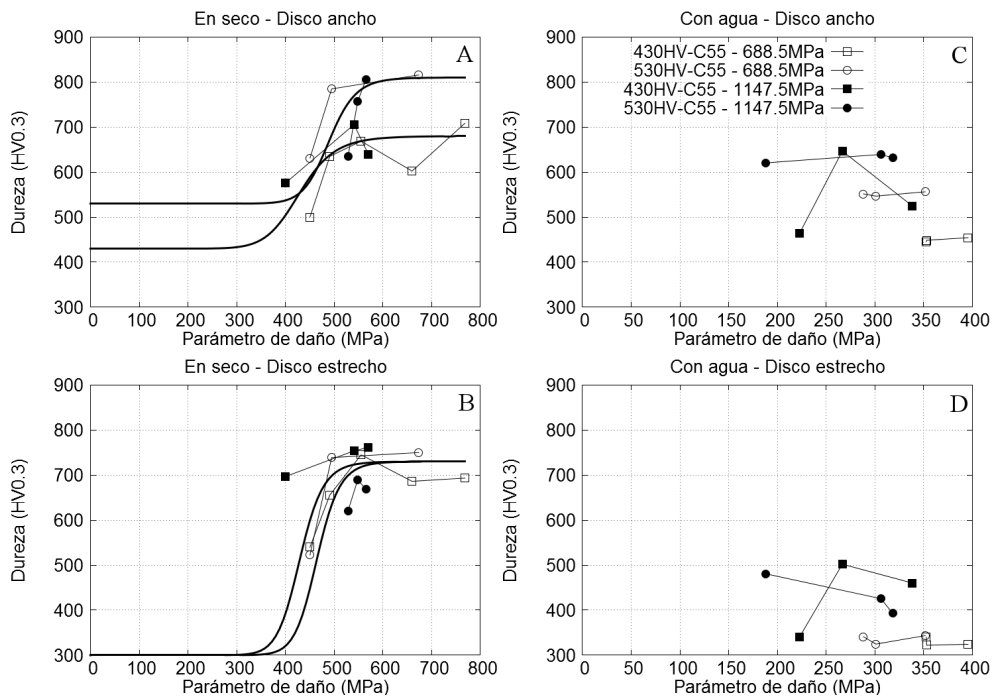


Figura 183.- Valores de dureza en función del parámetro de daño y curvas de ajuste para los ensayos entre una acero bainítico y un C55.

| | H_0 | H_f | PD_0 | p_H |
|--------------------------------|-------|-------|--------|-------|
| 430HV – En seco (A) | 430 | 680 | 430 | 12 |
| 530HV – En seco (A) | 530 | 810 | 490 | 18 |
| C55 – En seco (E) ¹ | 297 | 730 | 430 | 18 |
| C55 – En seco (E) ² | 297 | 730 | 430 | 18 |

Tabla 37.- Coeficientes de ajuste para los ensayos entre el acero C55 y los aceros bainíticos.

Las durezas para los ensayos entre aceros con temple bainítico son las de la figura 184.

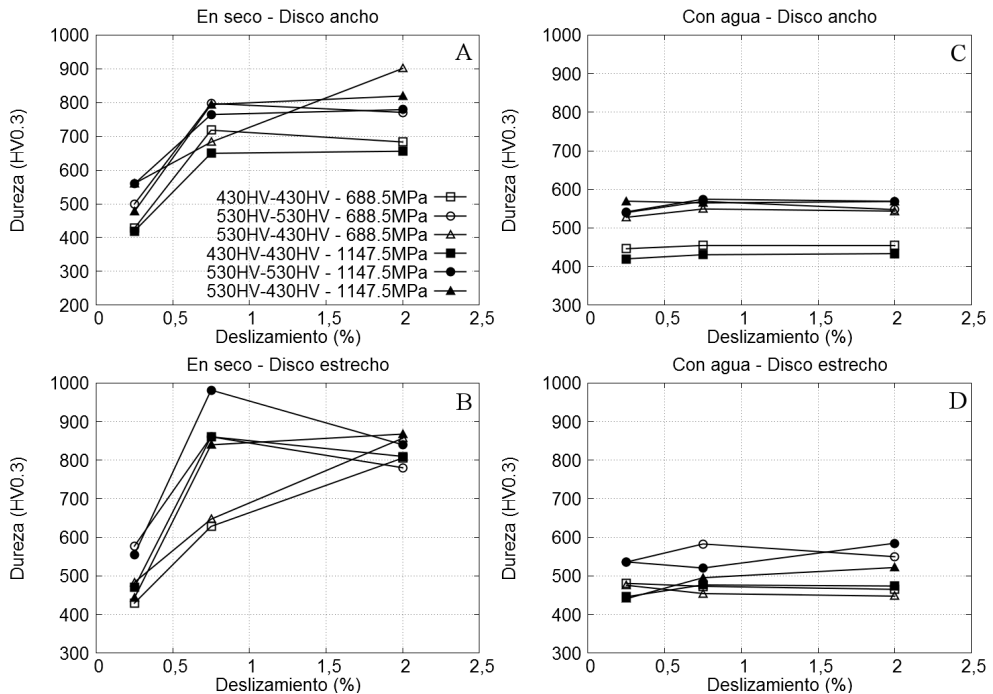


Figura 184.- Valores de dureza para los ensayos entre aceros bainíticos para los distintos desplazamientos y presiones ensayadas.

En esta ocasión las durezas no experimentan ningún aumento realmente apreciable en los ensayos con agua. En todos los ensayos en estas condiciones el desgaste fue muy bajo y las grietas que aparecen no tienen la

suficiente entidad como para que el agua penetrase hacia el interior del material, lo que evitó un aumento de la dureza.

En seco llegan a alcanzarse durezas realmente elevadas, con dos valores pico de 900 y casi 1000HV. La dureza inicial vuelve a manifestarse como uno de los parámetros de los que depende el nivel de endurecimiento final que se alcanza, puesto que los discos anchos menos endurecidos son los que alcanzan una dureza final menor, cercana a los 700HV frente a los más de 800HV que se alcanza con los aceros más endurecidos. Este comportamiento también se manifiesta en los discos estrechos.

La figura 185 muestra el ajuste de los puntos al parámetro de daño y en la tabla 38 pueden consultarse los coeficientes de ajuste a la función (57).

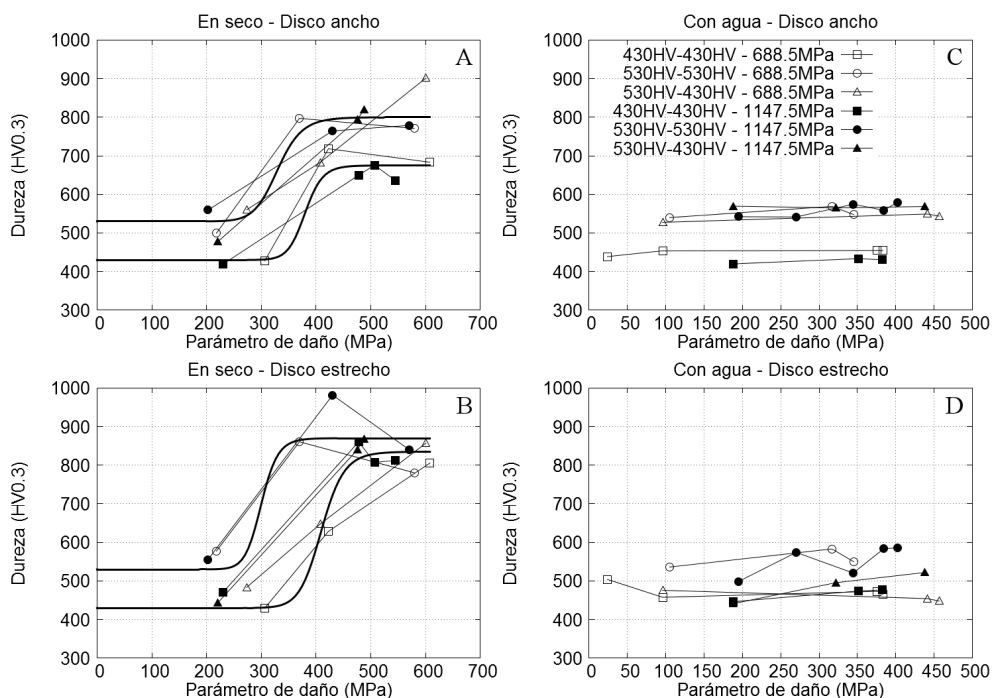


Figura 185.- Valores de dureza en función del parámetro de daño y curvas de ajuste para los ensayos entre dos aceros bainíticos en función del parámetro de daño y de las distintas presiones consideradas.

Resulta interesante ver como aunque en agua se alcanzan valores del parámetro de daño que en seco dan lugar a un notable endurecimiento con

agua no se detecta ninguno. Esto es una evidencia de que aunque las tensiones que aparecen en ambos casos sean las mismas la existencia de una capa de agua que separa los discos introduce unos cambios en el comportamiento y en la respuesta de los mismos que debería ser objeto de un estudio más detallado en el futuro.

| | H_0 | H_f | PD_0 | p_H |
|----------------------|-------|-------|--------|-------|
| 430HV – En seco (A) | 430 | 670 | 430 | 12 |
| 530HV – En seco (A) | 530 | 810 | 490 | 18 |
| 430HV – Con agua (E) | 297 | 730 | 430 | 18 |
| 530HV – Con agua (E) | 297 | 730 | 430 | 18 |

Tabla 38.-Coeficientes de ajuste para los ensayos entre aceros bainíticos.

5.5.4.- ESTUDIO DE LAS CURVAS DE ENDURECIMIENTO

De los 4 coeficientes de ajuste que aparecen en la función (57) solamente H_0 y H_f se pueden ajustar con bastante precisión en todos los casos, cuando se habla de PD_0 y, sobre todo, de p_H el escaso número de puntos disponibles deja, salvo en los ensayos entre aceros al carbono, un margen de elección para su valor que limita su exactitud, que no su validez teniendo en cuenta que definen un rango de valores estimados dentro del cual se encontrarán los reales.

En la figura 186 se han representado los coeficientes A_2 (pseudolímite de endurecimiento) y el incremento de dureza correspondiente a cada material.

Recuerdese que la presión normal no influye en el proceso de endurecimiento, por lo que no se ha incluido en los gráficos ninguna información al respecto.

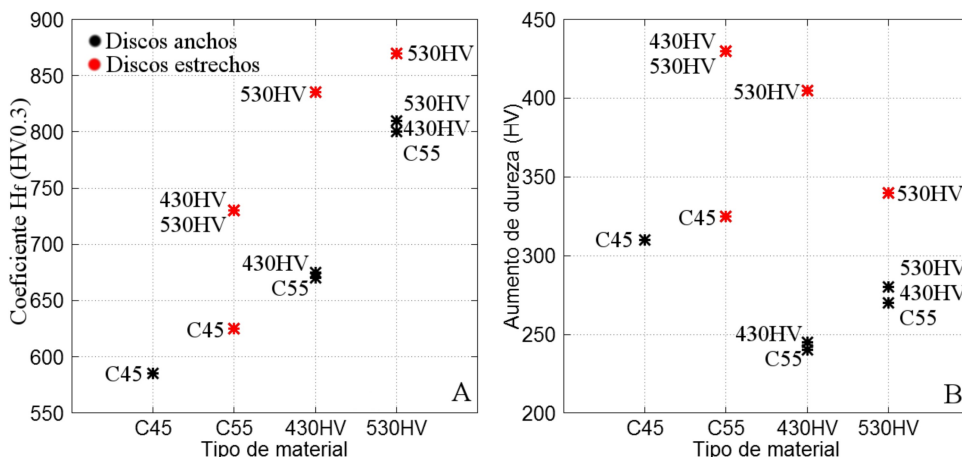


Figura 186.- Límite de pseudoendurecimiento e incremento máximo de dureza para cada material y grupo de ensayos en seco. Dentro de las gráficas se indica el otro material del par por medio de su designación o su dureza.

Tres cosas destacan inmediatamente al observar la gráfica izquierda de la figura:

- El endurecimiento por acritud que llegan a alcanzar los discos, que oscila entre 585HV y 870HV, depende de su dureza inicial. Esta dependencia podría, en términos generales y como primera aproximación, considerarse lineal.
- El nivel de endurecimiento final depende de la geometría de los discos, de forma que los discos estrechos, al no tener restringida la deformación lateral como los anchos, endurecen bastante más.
- La naturaleza del material contra el que está rodando el disco también influye en algunos casos en la dureza final que puede alcanzarse, de forma que, por lo menos en el disco estrecho fabricado en C55, la dureza alcanzada es mucho mayor si gira contra un acero endurecido que contra uno con una dureza similar. Este efecto no se observa en los aceros bainíticos.

El estudio de la gráfica donde se ha representado el aumento de dureza, por su parte, vuelve a mostrar las mismas conclusiones y además permite ver como los valores medios de aumento de dureza están en 275HV

para los discos anchos y en 375 para los estrechos. Además, la apariencia es que a más endurecido esté el material inicialmente, menos margen le queda para seguir aumentando su dureza, algo lógico por otro lado.

Una cuantificación de los niveles de endurecimiento más precisa requerirá de una mayor cantidad de ensayos en los que se incluyan las combinaciones de materiales y anchos de disco no consideradas en esta tesis. Ello permitiría también discernir si la influencia del material se debe a su dureza, a su microestructura o a ambas cosas.

Los valores de PD_0 (punto medio de la transición entre la dureza inicial y la máxima) y del coeficiente p_H que representa la pendiente de la transición se han representado en la figura 187. Los valores de PD_0 se sitúan entre 500 y 300 MPa, con una tendencia a que la transición tenga lugar con valores más bajos a medida que aumenta la dureza del acero o el disco gira contra un acero más duro. Esto puede parecer extraño, pues parece indicar que cuanto más duro es el acero antes comienza a endurecer por deformación plástica, cuando se ha comprobado que más dureza va asociada a menor deformación.

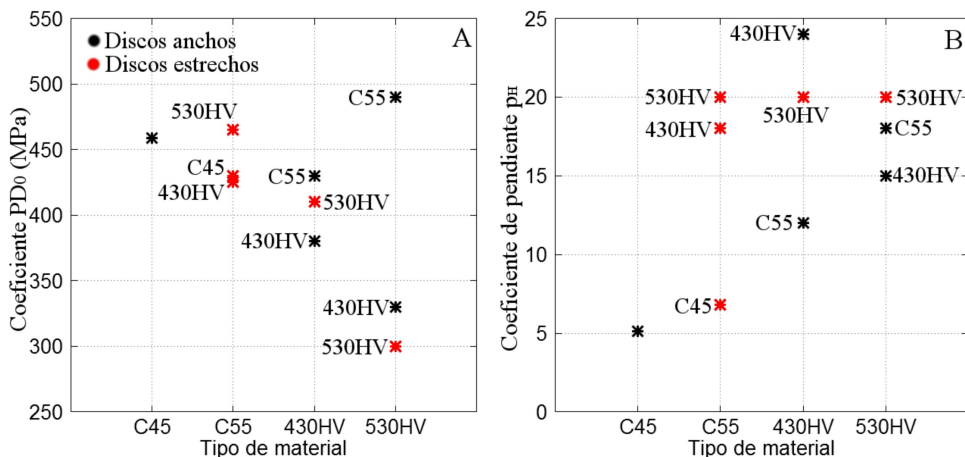


Figura 187.- Valores de los coeficiente de ajuste PD_0 y p_H para cada material y grupo de ensayos en seco. Dentro de las gráficas se indica el otro material del par.

Esta contradicción desaparece si se representa el valor del parámetro de daño a partir del cual se puede considerar que ha comenzado el aumento de dureza. Este valor se ha seleccionado como aquel en el que el valor de la

curva ajustada es un 10% superior a H_0 . En la figura 188 pueden verse los resultados obtenidos.

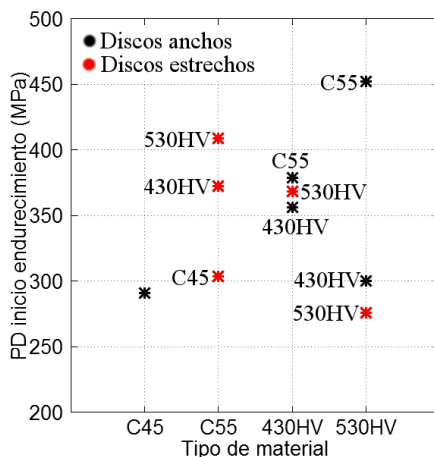


Figura 188.- Valor del parámetro de daño a partir del cual se empieza a detectar endurecimiento en los discos ensayados.

Los valores se sitúan entre 275 y 450 MPa y pueden establecerse dos grupos diferentes. El primero de ellos corresponde a ensayos en los que las características de los dos aceros ensayados son muy similares, sin importar que sean bainíticos o aceros al carbono. En este primer grupo los valores de inicio del endurecimiento están entre 275 y poco más de 350 MPa, aunque en realidad la mayoría se sitúa por debajo o muy cerca de los 300 MPa. El segundo grupo corresponde a los ensayos entre materiales disimilares. En ese caso, todos los puntos se sitúan por encima de 350 MPa, independientemente de que se trate del disco blando o del duro.

Respecto a la pendiente de la transición, la gráfica parece indicar que los materiales más duros experimentan una transición más rápida, aunque será necesario disponer de más puntos para poder determinar con exactitud el valor de p para los ensayos entre un acero al carbono y otro bainítico y para los realizados entre dos aceros bainíticos y corroborar esa apariencia.

5.5.5.- RESUMEN

Los valores de dureza encontrados tras los ensayos en la superficie de los discos se han ajustado con bastante precisión a una curva logística en forma de “S” en función del parámetro de daño. Esta curva viene limitada

por el valor inicial de dureza del disco y por el pseudolímite de endurecimiento por acritud. Estudiar las distintas curvas ajustadas ha permitido obtener con mayor facilidad una serie de conclusiones sobre los resultados, siendo la primera de ellas la falta de influencia de la presión normal sobre el proceso de endurecimiento en los ensayos en seco.

Solamente cuando se lubrica con agua se ha visto que una mayor presión normal puede llevar a un endurecimiento notable (más de 600HV de dureza final). Este endurecimiento va asociado también a un desgaste de tipo catastrófico por lo que se cree que que las grandes escamas que aparecen en la superficie del disco estrecho en esos casos pueden ser las causantes del aumento de dureza al ser aplastadas entre los discos, aunque los discos anchos, sin escamas, también endurecen. Pero no solo eso, sino que en ausencia de desgaste catastrófico los discos no parecen estar sometidos a ningún tipo de endurecimiento independientemente del nivel de deformación o de desgaste que soportan. En cualquier caso, el endurecimiento en estos casos no se ha podido ajustar los resultados a la función (57) bien por falta de puntos, bien por una elevada dispersión de los mismos.

En seco la dureza superficial de los discos comienza a aumentar por deformación plástica una vez el parámetro de daño (prácticamente igual a la tensión tangencial media en los ensayos realizados) supera un valor que oscila entre 275 y 450 MPa. Este valor, además, es menor cuanto más similares son los aceros en contacto, independientemente de su naturaleza. Es decir, dos aceros bainíticos comienzan a endurecer básicamente a los mismos valores del parámetro de daño que dos aceros al carbono mucho más blandos.

Esto no se traduce después en que los discos que han empezado antes a endurecer alcanzan una mayor dureza, puesto que el nivel de endurecimiento que se alcanza viene determinado por su dureza inicial y la diferencia de dureza que existe respecto al disco contra el que gira. En efecto, las durezas más altas se han encontrado en los aceros endurecidos hasta 530HV, llegándose a superar los 850 MPa, mientras que las más bajas corresponden a los discos fabricados en C45, que no llegan a 600HV. Esta dureza aumenta también cuando el disco gira contra otro de mayor dureza, apreciándose sobre todo en los discos de C55 que giran contra aceros

bainíticos.

También la geometría de los discos juega un papel importante en el endurecimiento, de forma que los discos estrechos que no tienen impedida la deformación lateral alcanzan valores de endurecimiento que con facilidad superan en 100HV los medidos para los discos anchos.

5.6.- RUGOSIDAD

En este capítulo se estudian los cambios que se producen en la rugosidad superficial de los materiales.

5.6.1.- PROCEDIMIENTO

La rugosidad se ha medido transversalmente usando un rugosímetro Mahr Pherthometer M2, para lo que se sujetaron las probetas mediante unas pequeñas mordazas, lo que garantizó su estabilidad. El valor final de la rugosidad, cuantificado mediante el parámetro R_a (media aritmética de las desviaciones en el perfil medido) coincide con la media aritmética de 2 medidas.

En cualquier caso es preciso aclarar que resulta difícil, con una medición lineal estimar de forma correcta la rugosidad de las superficies cuando éstas están llenas de escamas y grietas, tanto porque en ocasiones la apertura de las grietas no permite que la punta del rugosímetro penetre bien en ellas como por que las escamas todavía sujetas a las superficies dificultan su correcto desplazamiento. Otra dificultad que debe tenerse en consideración es que en los discos ensayados con agua y afectados de desgaste catastrófico la presencia de grandes escamas metálicas en su superficie hace que la obtención de una medida válida sea complicado, pues son numerosas las ocasiones en las que se sobrepasa la capacidad de medición del rugosímetro. Las mediciones validas que se obtienen en estos casos corresponden a las zonas menos afectadas por la escamación de la banda de rodadura, de forma que estos valores deben entenderse como un límite inferior a la rugosidad real del disco, diferenciándose en eso del resto de datos, que son estimaciones del valor real.

5.6.2.- RUGOSIDAD EN ENSAYOS C45-C55

La figura 189 recoge los valores de las rugosidades medidas para los ensayos entre los aceros al carbono C45 y C55. El valor medio de rugosidad de los discos antes de los ensayos fue de $R_a = 0.26$ micras. Este fue el valor medio encontrado para todos los discos independientemente del material con el que están fabricados ya que depende del tamaño de papel abrasivo empleado para igualar el estado inicial de las superficies antes del ensayo (nº 500). Este valor se representa en las distintas gráficas de este capítulo

mediante una línea horizontal de color gris.

Comenzando por los ensayos en seco, tras los ensayos los valores más altos de rugosidad que se han podido medir se encuentran por debajo de 2.5 micras. El parámetro R_t , diferencia máxima entre picos y valles, resulta ser para los ensayos en seco, y como media, diez veces superior al valor R_a . Por ejemplo en una de las medidas se obtuvo $R_a=0.75$ micras y para ese mismo caso $R_t=6.61$ micras. En los ensayos con agua R_t puede ser hasta más de 20 veces superior a R_a .

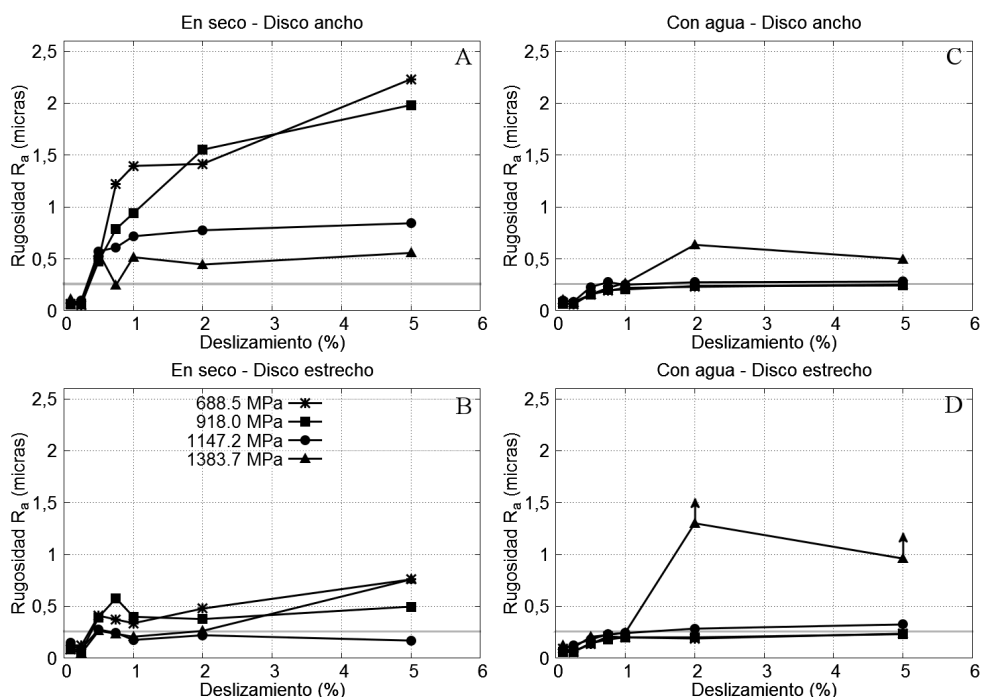


Figura 189.- Valores de rugosidad medidos para los ensayos entre aceros al carbono. La línea gris en cada gráfica representa el valor inicial de rugosidad de los discos. La flecha indica que se trata de valores mínimos.

El valor de la rugosidad de los discos está íntimamente relacionado con los cambios que tienen lugar en su superficie. Así pues, los menores valores de rugosidad corresponden, ya sea en seco, ya con agua, a los ensayos realizados con bajos deslizamientos (del 0.25% o menos) en los que el desgaste es de tipo ligero y los cambios superficiales consisten

simplemente en un aplastamiento de la rugosidad inicial y una oxidación de la superficie. En estos casos la rugosidad puede llegar a bajar hasta $R_a=0.05$ micras, cinco veces inferior a la inicial.

Este comportamiento se invierte en cuanto se pasa a desgaste severo y comienzan a aparecer grietas superficiales y partículas de desgaste que se clavan en la pista de rodadura de los discos anchos dando origen a los cráteres descritos en el apartado 5.2.1. Este cambio lleva a un rápido aumento de la rugosidad que solamente frena su crecimiento cuando el coeficiente de tracción se estabiliza.

Con presencia de agua en el contacto el comportamiento es el mismo, con la salvedad de que los valores de rugosidad que se alcanzan son normalmente mucho más bajos, situándose alrededor del valor inicial antes de los ensayos. La excepción son los discos estrechos cuando aparece desgaste catastrófico. En esas circunstancias, como ya se ha comentado, la presencia de escamas dispara los valores de rugosidad y solamente pueden obtenerse valores mínimos. La causa de este comportamiento esta en que la rugosidad de los discos está controlada por la penetración de agua en las grietas. Si esa penetración no sucede y no hay una aceleración de la velocidad de crecimiento de grietas la rugosidad se mantiene baja. Por el contrario, cuando el agua es capaz de agrandar las grietas la superficie del disco estrecho queda cubierta de grandes escamas metálicas y la rugosidad aumenta de tal manera que resulta muy difícil obtener una medida válida, incluso en las zonas menos deterioradas de la banda de rodadura.

De acuerdo con la figura 189, en seco un aumento de la presión normal tiene el efecto de reducir los valores de rugosidad de igual forma que se reducía el desgaste debido a que mayores presiones normales se traducen en menores tensiones tangenciales, causantes primeras del daño superficial. Esto es lógico si se piensa que un mayor desgaste ha de ir asociado a una mayor rugosidad debido a la mayor presencia de grietas y al aumento del daño causado por las partículas de desgaste que quedan clavadas en la pista de rodadura. Ello es algo que se repetirá también en los ensayos con el resto de combinaciones de materiales.

Un efecto a destacar es la fuerte diferencia en cuanto a rugosidad que se ha encontrado en seco entre los discos anchos y los estrechos. Mientras

que en los ensayos sin lubricación los primeros tienen una rugosidad que puede llegar cerca de los 2.5 μm , los segundos en ningún caso superan 1 μm . Esto se relaciona con las partículas de desgaste que se clavan en el disco ancho y no en el estrecho, lo que lleva a la aparición de cráteres y surcos solamente en el primero. En el segundo, es cierto, las grietas son más visibles, pero al no ser de gran tamaño ni dar origen a escamaciones importantes no se genera un alto nivel de rugosidad, quedando en ocasiones incluso por debajo de la rugosidad inicial a altos deslizamientos si la presión normal es alta (tensiones tangenciales bajas).

En lo que respecta a los ensayos con aceite, estos ensayos dan origen a un aplastamiento de la rugosidad inicial, la cual sigue siendo reconocible en gran parte de los discos ensayados. Este aplastamiento aumenta con la presión normal y el deslizamiento, oscilando R_a entre 0.22 y 0.06 micras, aunque en la mayor parte de los casos se encuentran más cerca del valor inicial que de las 0.06 micras. Estos valores suelen estar por encima de los más bajos que se pueden encontrar en otros ensayos afectados por desgaste ligero, clara indicación del efecto protector del aceite sobre las superficies. Lo mismo sucede con los pocos ensayos que se han llevado a cabo entre aceros de distinta dureza, por lo que no se va a volver a hacer referencia a ellos.

Un estudio más detallado de los resultados obliga a recurrir a la representación de la rugosidad frente a una variable como el parámetro de daño. En la figura 190 pueden verse los resultados que se obtienen.

Pese a la dispersión de los datos puede afirmarse que hay una relación de tipo lineal entre el parámetro de daño y la rugosidad. La influencia de la presión normal que antes se comentaba, y que lleva a un descenso de la rugosidad a bajos deslizamientos, prácticamente desaparece cuando la superficie de los discos comienza a mostrar presencia de grietas, ya que en esa circunstancia, su influencia la ejerce a través de su relación con las tensiones tangenciales, que ahora se representan directamente en el eje X incluidas dentro del parámetro de daño. Las rectas de ajuste que responden a la evolución de la rugosidad son las que se incluyen en la tabla 39. Para los ensayos con agua no se ha hecho ningún ajuste puesto que los datos más elevados corresponden a desgaste severo, que sigue un comportamiento totalmente distinto al resto, y todos los demás puntos

apenas manifiestan una ligera tendencia al aumento con *PD*.

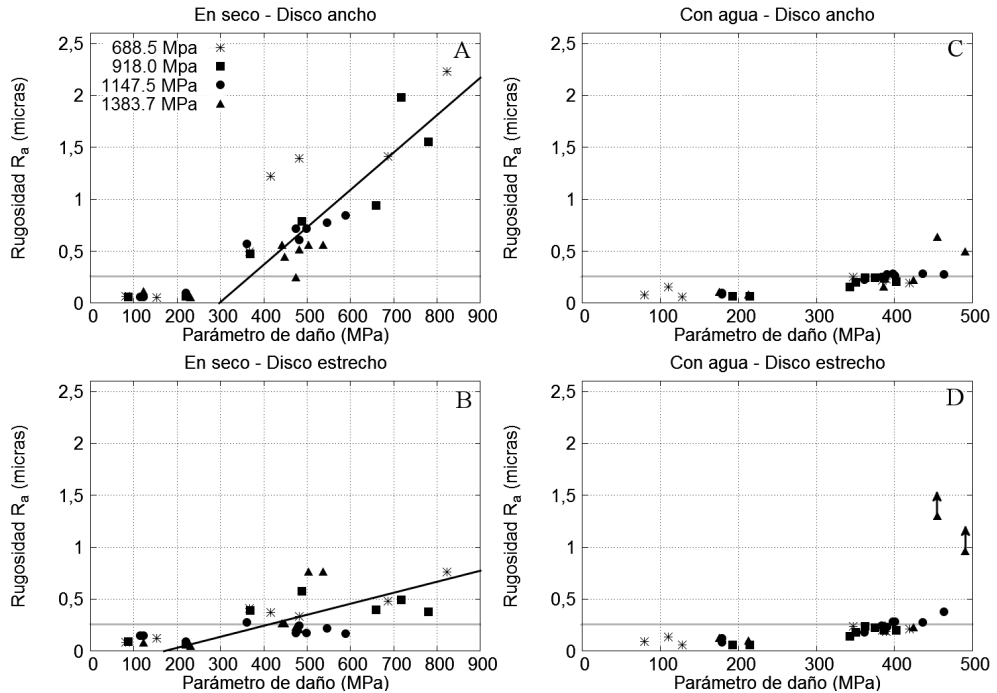


Figura 190.- Valores de rugosidad en función del parámetro de daño y ajuste lineal para los ensayos en seco entre dos aceros al carbono.

| Disco ancho | Disco estrecho |
|--------------------------|---------------------------|
| $0.0036 \cdot PD - 1.07$ | $0.00106 \cdot PD - 0.18$ |

Tabla 39.- Rectas de relación entre el parámetro de daño y la rugosidad para los ensayos en seco entre aceros al carbono

5.6.3.- INFLUENCIA DEL TIPO DE MATERIAL

La figura 191 muestra los resultados, en cuanto a rugosidad, obtenidos para los ensayos entre un acero al carbono y otro bainítico.

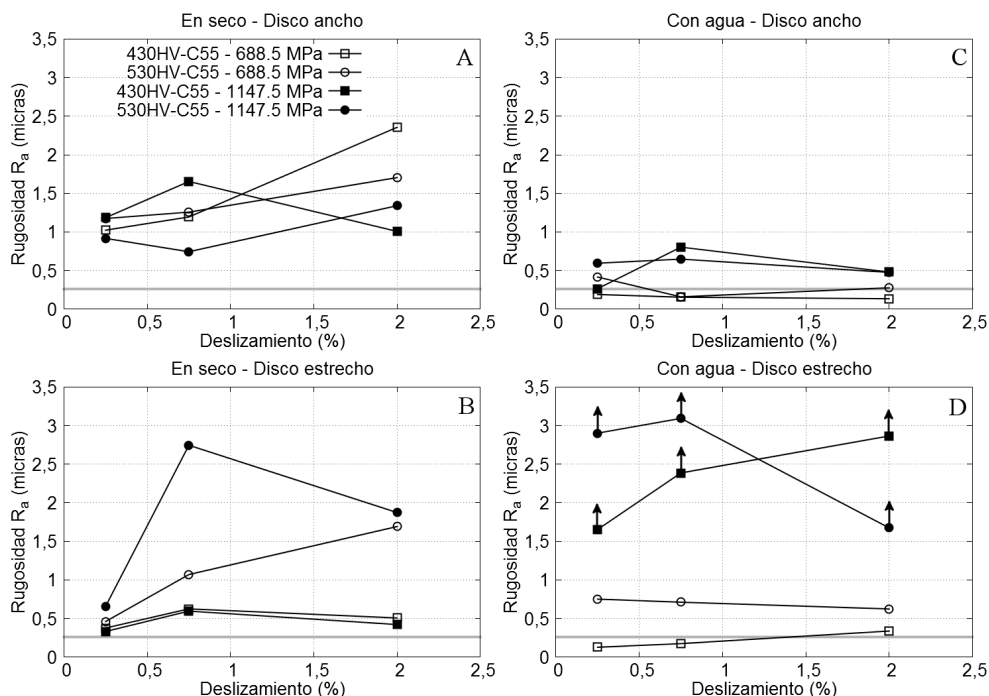


Figura 191.-Valores de rugosidad medidos para los ensayos entre el acero C55 y otro bainítico. La línea gris en cada gráfica representa el valor inicial de rugosidad de los discos.

Como puede verse, las rugosidades medidas difieren de las anteriores debido a la gran diferencia en durezas entre los dos discos. Esa diferencia es la que lleva a que en los ensayos realizados entre estos materiales a bajos deslizamientos, tanto en seco como con agua, los discos estén ya sometidos a cambios superficiales importantes, por lo que, en contra de lo que se encuentra con otras combinaciones de aceros, no es de extrañar que se asocien rugosidades importantes a tan bajos valores de deslizamiento.

De nuevo, esto va en paralelo con el nivel de daño que soportan los discos. En apartados anteriores ya se vio como los discos anchos endurecidos tienen, cuando se ensayan en seco junto a un disco fabricado en C55, un desgaste apenas superior al que presentan en los ensayos entre dos aceros al carbono. Con la rugosidad sucede lo mismo, con valores de R_a entre 0.7 y 2.5 micras.

En los discos estrechos (en seco) se repite la misma situación y el mayor daño que soportan, sobre todo con el disco endurecido hasta 530HV, lleva a un aumento notable de R_a , que supera la micra con facilidad y llega a alcanzar casi 3 micras.

Con agua sucede lo ya comentado anteriormente, a presiones de 1147.5 MPa el agua penetra en las grietas superficiales y acelera su crecimiento para dar origen a una gran escamación y un elevadísima rugosidad de la que solo se pueden da valores mínimos.

La misma relación-desgaste rugosidad se da cuando se ve como el mayor desgaste que aparece en los discos estrechos cuando el desgaste es en seco y la presión máxima es de 1147.5 MPa se traduce en un notable aumento de la rugosidad, elevándose desde 0.5 a valores entre 1 y 2.5 μm .

Por otra parte, aunque el hecho de combinar un acero al carbono con otro bainítico de mayor dureza cambia el comportamiento del sistema rodante de manera drástica, no se puede decir que los valores de rugosidad alcanzados muestren dependencia con el nivel de endurecimiento del disco bainítico, incluso cuando se habla de esos mismos discos.

El ajuste de los datos a una recta cuando se los representa frente al parámetro de daño resulta algo más difícil en este caso. No obstante, si se supone que en seco los puntos obtenidos siguen una evolución similar a la de los otros dos grupos de ensayos (entre aceros al carbono y entre aceros bainíticos) es posible proponer una ecuación que se ajuste bastante bien a los datos.

En la figura 192 puede verse el resultado de los ajustes junto con los puntos en función del parámetro de daño.

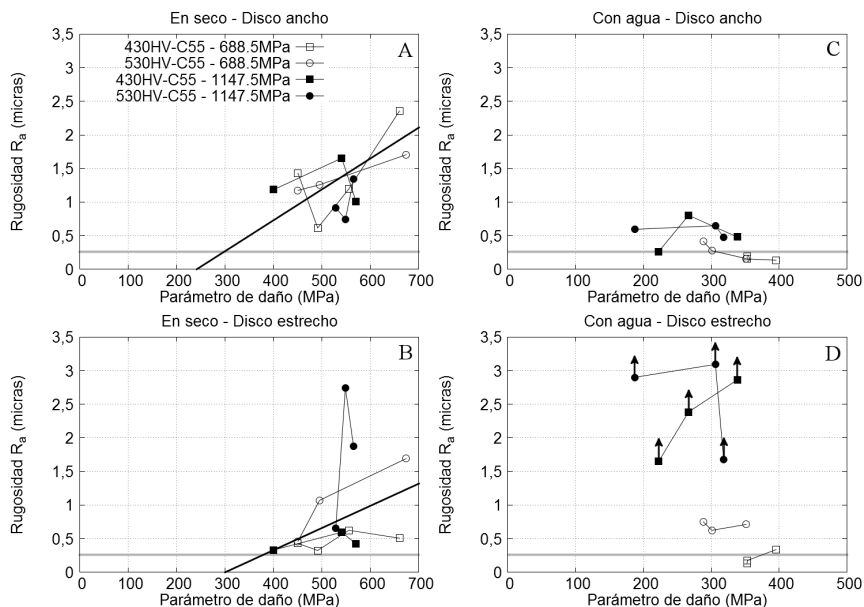


Figura 192.-Valores de rugosidad en función del parámetro de daño y ajuste lineal para los ensayos en seco entre un acero bainítico y un acero C55.

Las curvas ajustadas son:

| Disco ancho | Disco estrecho |
|--------------------------|--------------------------|
| $0.0046 \cdot PD - 1.11$ | $0.0033 \cdot PD - 0.99$ |

Tabla 40.- Rectas de relación entre el parámetro de daño y la rugosidad para los ensayos en seco entre el acero C55 y un acero bainítico.

Si el uso de dos aceros tan diferentes lleva a un aumento de la rugosidad, cuando ambos discos tienen una dureza elevada lo que se produce es un control de la misma, como se aprecia en la figura 193, con valores de rugosidad que no van más allá de las 1.6 micras en el peor de los casos en seco y sólo llegan a 0.4 en agua, estando la mayor parte de los valores por debajo de la rugosidad inicial. Esto es de esperar ya que en ninguno de estos ensayos se obtuvo una velocidad de desgaste importante, sobre todo con agua, cuando el daño que sufren los discos se encuentra bajo mínimos.

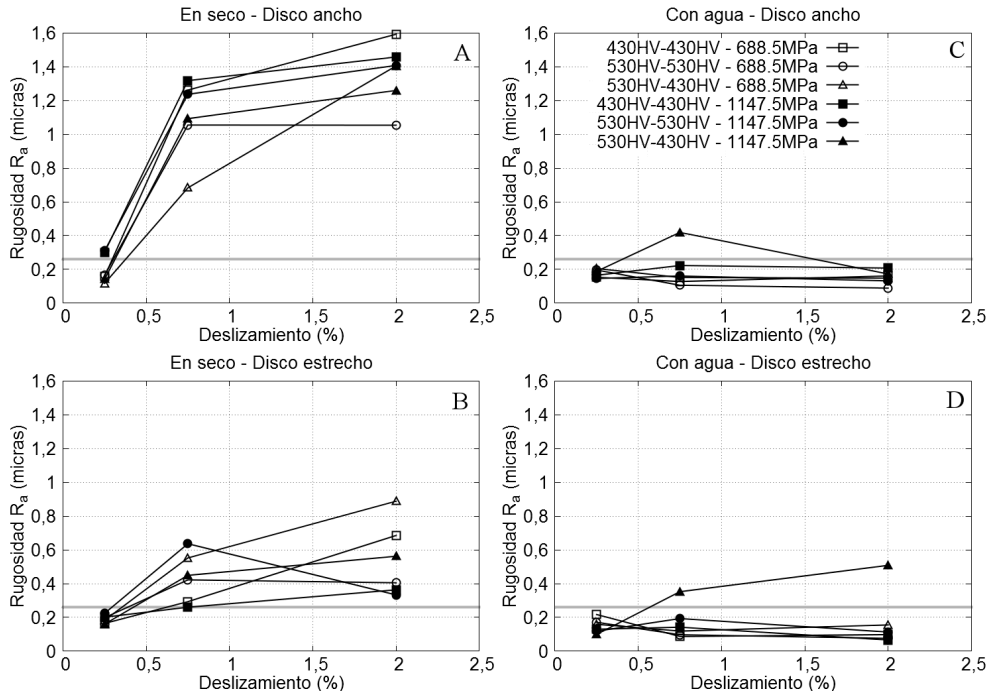


Figura 193.-Valores de rugosidad medidos para los ensayos entre aceros bainíticos. La línea gris en cada gráfica representa el valor inicial de rugosidad de los discos.

En cualquier caso las curvas en seco vuelven a seguir la tendencia marcada por la evolución del coeficiente de tracción y el hecho de que la rugosidad de los discos estrechos sea menor (la mitad) que la de los anchos acaba de confirmar, dado que ambos discos están fabricados en los mismos materiales, la nada despreciable influencia de la geometría sobre la respuesta de los discos a la rodadura.

También en este caso se observa como no existe una influencia del nivel de endurecimiento del acero bainítico sobre la rugosidad o, al menos, ésta no es importante y no se puede apreciar debido a la natural dispersión de los datos.

Una representación en función del parámetro de daño vuelve a poner de manifiesto la dependencia lineal que respecto a este parámetro y en los ensayos en seco tiene la rugosidad. Ésta, partiendo de valores habitualmente inferiores a la rugosidad inicial crece hasta alcanzar valores máximos alrededor de 1.5 micras si hablamos de los discos anchos y sólo de 0.9

micras si se trata de los estrechos. Esta circunstancia, debe recordarse, se debe a las marcas que las partículas de desgaste dejan en los discos anchos al clavarse en ellos.

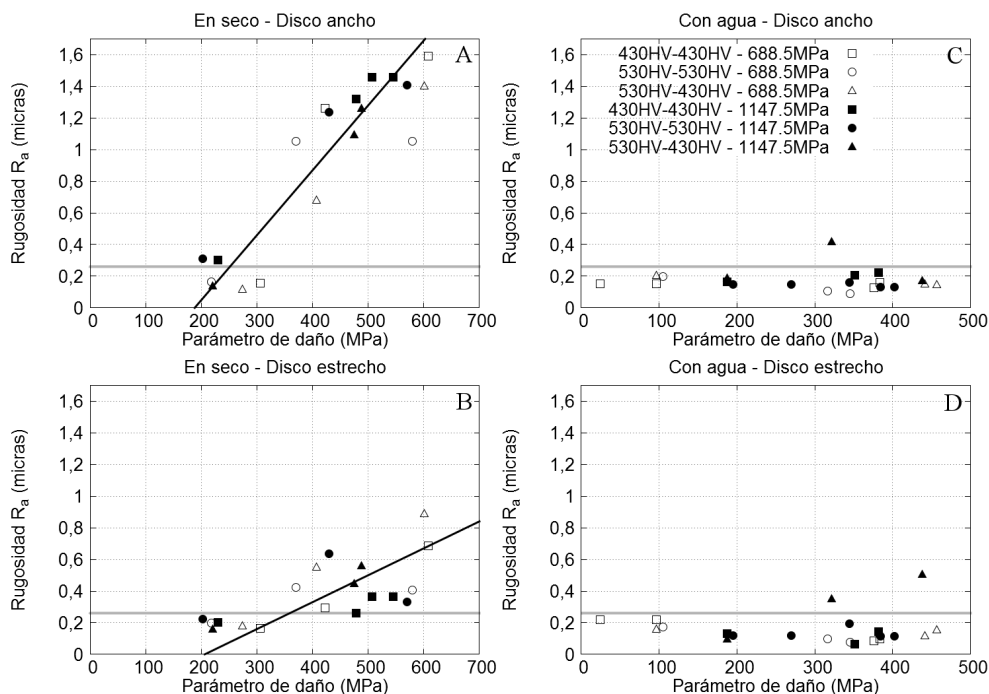


Figura 194.- Valores de rugosidad en función del parámetro de daño y ajuste lineal para los ensayos en seco entre un acero bainítico y un acero C55.

A la vista de la figura 194 se puede afirmar que ni la presión normal ni el valor exacto de dureza que se ha dado a los aceros bainíticos tiene gran influencia sobre la generación de la rugosidad superficial, como ya se comentó al estudiar los ensayos entre los aceros C45 y C55. Las rectas de ajuste son las siguientes:

| Disco ancho | Disco estrecho |
|--------------------------|--------------------------|
| $0.0041 \cdot PD - 0.77$ | $0.0017 \cdot PD - 0.35$ |

Tabla 41.- Rectas de relación entre el parámetro de daño y la rugosidad para los ensayos en seco entre dos aceros bainíticos.

5.6.4.- ESTUDIO DE LAS RECTAS DE RUGOSIDAD

En la figura 195 se han representado los valores de rugosidad medidos en las probetas ensayadas en seco y las rectas de ajuste que llevan asociados.

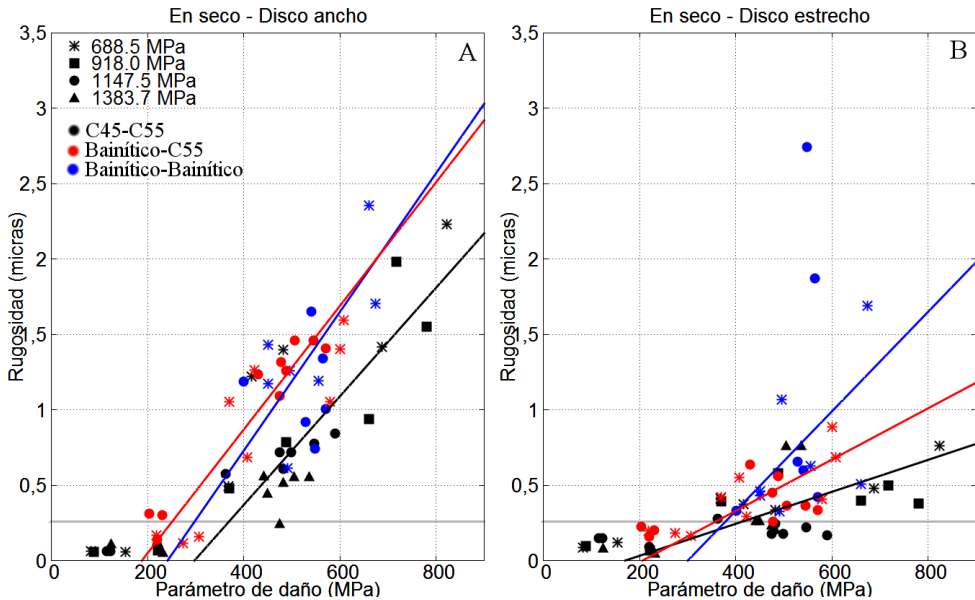


Figura 195.- Evolución de la rugosidad en función del "parámetro de daño".

Ya se trate del disco ancho o del estrecho, las menores rugosidades van a obtenerse siempre con los aceros al carbono y estarán, midiéndolas mediante R_a , por debajo de 3 micras en los discos anchos y por debajo de 1 micra en los estrechos en condiciones normales, aunque puede llegar hasta 3 en las condiciones tan desfavorables que supone ensayar este tipo de acero junto a un acero bainítico notablemente endurecido.

Observando en primer lugar la gráfica correspondiente al disco ancho, las tres rectas son muy similares en su pendiente pero con una mayor rugosidad en los discos bainíticos para el mismo valor del parámetro de daño que en los discos de acero al carbono. Para estos últimos se puede estimar que la rugosidad, que inicialmente siempre desciende, comienza a superar el valor inicial alrededor de un valor del parámetro de daño de 380 MPa, mientras que si el disco es bainítico este umbral baja hasta los 235 MPa. No es de extrañar este resultado, pues está en consonancia con el peor

comportamiento frente al desgaste los aceros con temple bainítico.

El disco estrecho presenta valores habitualmente inferiores a los del ancho, normalmente con R_a inferior a 1 micra, aunque cuando el desgaste es alto, pueden llegar a superarlos y rebasar las 2.5 micras. Esta menor rugosidad va acompañada también de la necesidad de alcanzar mayores valores del parámetro de daño para que se superen los valores iniciales de rugosidad, pudiéndose estimar éste en casi 400 MPa para todos los discos.

Lo que resulta interesante es ver como la pendiente de las rectas es menor en los ensayos entre aceros al carbono que cuando se introduce en el par rodante uno o dos aceros bainíticos, nueva indicación de las desventajas asociadas al uso de aceros bainíticos.

Al igual que se ha hecho en anteriores capítulos, es imprescindible tener en cuenta que el parámetro de daño está limitado en cada serie de ensayos, por lo que la rugosidad máxima esperada será distinta en cada caso. La figura 196 muestra los valores que se obtienen de aplicar el valor máximo del parámetro de daño calculado en función de las curvas de adherencia, suponiendo un deslizamiento del 20%.

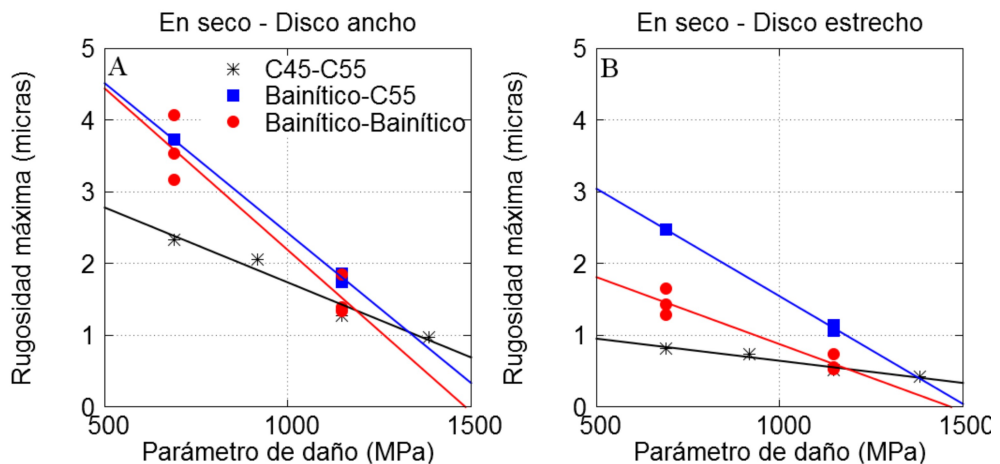


Figura 196.- Valores máximos previstos de rugosidad en función de la presión normal.

Estos valores, meramente estimativos sobre todo en los ensayos entre un acero bainítico y el C55, deben tomarse con cautela puesto que cuando existe desgaste catastrófico la rugosidad se dispara, aunque manifiestan de forma clara cual va a ser la respuesta de los distintos

materiales en la rodadura.

Como puede verse, la rugosidad máxima tiene una dependencia lineal e inversa con la presión normal o, mejor expresado, lineal y directa con las tensiones tangenciales o el parámetro de daño usado en este capítulo. Cuando las tensiones tangenciales son bajas (en la figura 196 presiones normales altas) el daño que puede recibir la superficie de los discos va a ser bajo y la rugosidad, en consecuencia, también lo será. Incluso es factible a altas presiones que la rugosidad sea menor en los aceros bainíticos que en los aceros al carbono. No obstante, al aumentar las tensiones tangenciales y con ellas la rugosidad, en los discos bainíticos van a aparecer más grietas superficiales debido a su menor tenacidad y la rugosidad alcanzará valores más elevados en ellos mientras que se mantendrá en los aceros al carbono. Una excepción a esto son los discos estrechos fabricados en C55 y ensayados junto con los aceros bainíticos, pues muestran una rugosidad muy elevada. Aunque el aspecto de su superficie (con ausencia de fino polvo negro en la superficie) justifica que todavía no se ha alcanzado el desgaste de tipo catastrófico, la velocidad de desgaste medida, bastante por encima del resto de ensayos, indica que no se está lejos de llegar a él. Esta cercanía al desgaste catastrófico es lo que hace que la rugosidad aumente notablemente.

5.6.5.- RESUMEN

La medición de la rugosidad en los discos tras los ensayos ha mostrado que su valor se encuentra íntimamente relacionado con otros parámetros medidos en este estudio, como no podía ser de otra manera, estando el origen del cambio de todos ellos en el daño que soporta la superficie de los discos.

En cuanto a la dependencia de la rugosidad con las variables de control, puede establecerse que:

- A deslizamientos bajos, cuando hay desgaste ligero, la rugosidad desciende notablemente hasta valores inferiores a 0.1 micras, independientemente del resto de variables (contaminante, presión normal,...), por aplastamiento de las crestas de la rugosidad inicial.
- En seco, una vez se alcanza un determinado umbral en el valor del parámetro de daño, de entre 230 y 375 MPa para los discos anchos y de

cerca de 400 MPa para los estrechos la rugosidad vuelve a recuperar su valor inicial y comienza a aumentar linealmente con el parámetro de daño.

- Cuando eso sucede la rugosidad es mayor en los discos anchos debido a que el efecto de las marcas dejadas por las partículas de desgaste en los discos anchos supera al de las grietas visibles en los estrechos.
- Con presencia de agua en el contacto la rugosidad se mantiene por debajo de la original hasta que el agua empieza a ser capaz de penetrar en las grietas superficiales y hace aparecer escamas en la superficie de los discos estrechos. En estas circunstancias la rugosidad se dispara y se hace incluso difícil obtener una medida con el rugosímetro.
- La adición de aceite al contacto hace que la rugosidad descienda y se mantenga en cualquier circunstancia por debajo del valor inicial.
- En seco la rugosidad superficial depende principalmente del valor del parámetro de daño o la tensión tangencial que aparece en el contacto, sin que exista una dependencia con la presión normal adicional más allá de la relación que esta tiene con la tensión tangencial a través de la curva de adherencia y del descenso a bajos deslizamientos de la rugosidad que provoca.
- Esta relación implica que a mayores presiones normales, menores tensiones tangenciales y menor rugosidad.
- Los máximos valores de rugosidad se alcanzan en los discos estrechos afectados por desgaste catastrófico con agua, aunque no se puede dar más que una estimación de los valores mínimos alcanzados, de casi 3 micras.
- La magnitud de la rugosidad depende también del tipo de material con el que se fabrica el disco, aunque no de la dureza exacta del mismo, de forma que los aceros al carbono presentan, para el mismo valor del parámetro de daño, menos rugosidad que los aceros bainíticos.
- Este comportamiento se invierte cuando el parámetro de daño tiene valores muy bajos y se asocia a un dañado muy ligero de la superficie.

5.7.- GRIETAS

Ya se ha comentado en repetidas ocasiones que en los ensayos realizados multitud de parámetros como el desgaste o la rugosidad están íntimamente relacionados con la aparición de grietas superficiales. No ha sido un objetivo de la tesis estudiar en detalle la velocidad de crecimiento de grietas o el momento de su aparición, por lo que no se dispone de demasiada información al respecto, aún así, dada la mencionada relación con el desgaste, es deseable hacer un breve estudio de las características propias que presenta el desarrollo de las grietas en sistemas rodantes y que lo diferencia de otros en los que también hay presencia de agrietamiento superficial.

No se pretende entrar aquí en el estudio de las peculiaridades de los campos de tensiones triaxiales que aparecen en la zona de contacto ni en como se puede cuantificar la aparición de grietas a partir de las cíclicas deformaciones plásticas que generan esos campos de tensiones; tampoco es el objetivo estudiar la nucleación de grietas a partir de los procesos de fatiga ni encontrar el plano crítico en el que crecerán. Todos estos son fenómenos complejos y todavía no bien entendidos (por lo menos en rodadura) que por sí solos ya han sido y siguen siendo objeto de numerosos estudios, los cuales exceden el alcance de la presente tesis. No obstante, como se ha comentado, es importante conocer las particularidades de la evolución de las grietas en rodadura y los procesos únicos que intervienen en esa evolución. Para ello lo más sencillo, práctico y fiable es recurrir a las evidencias que ofrece el estudio de las microfotografías realizadas.

La primera causa del desgaste tanto en seco como con agua es el agotamiento de la plasticidad del material al alcanzarse altas cotas de deformación plástica, llegándose incluso hasta un ciclo de histéresis plástica abierto conocido como ratchetting si las tensiones que aparecen en el área de contacto superan las que llevan al material hasta el límite de endurecimiento por acritud. En efecto, en cada vuelta de los discos la superficie se ve sometida a un ciclo de carga/descarga con tensiones normales y tangenciales tridimensionales que superan con facilidad el límite elástico del material. Esta circunstancia lleva a la aparición del ya descrito fenómeno de la acumulación de deformación plástica unidireccional y al fallo del material. Este fenómeno se ha descrito con más detalle en el apartado 2.4.3.2, aunque hay que tener también en cuenta otros fenómenos.

Además del efecto que puedan tener los mecanismos tradicionales de fatiga que se dan en los discos, al actuar siempre las fuerzas en la misma dirección y no tratarse de fatiga alternante la deformación superficial hace que se rompa totalmente la microestructura original del acero y el material más superficial quede estratificado en capas paralelas (o casi) a la superficie. La unión entre estas capas es más débil que la existente entre los granos de la microestructura original, lo que, junto a la pérdida de tenacidad debido al endurecimiento (véase el capítulo 5.5) hace que su resistencia frente a la fatiga se reduzca aún más de lo esperado, con lo que cualquier grieta originada en una imperfección superficial va a crecer con rapidez y dar origen a un pequeñísimo desconchado. Además, en los aceros al carbono C45 y C55 esta facilidad para el desconchado se ve aumentada por el alineamiento de la ferrita existente en el material, que crea bandas continuas de baja resistencia. La figura 197 muestra como han aparecido gran cantidad de grietas en la superficie estratificada de uno de los discos ensayados, siguiendo exactamente las líneas de deformación. En esa misma figura puede verse el alineamiento de la ferrita paralelamente a la superficie.

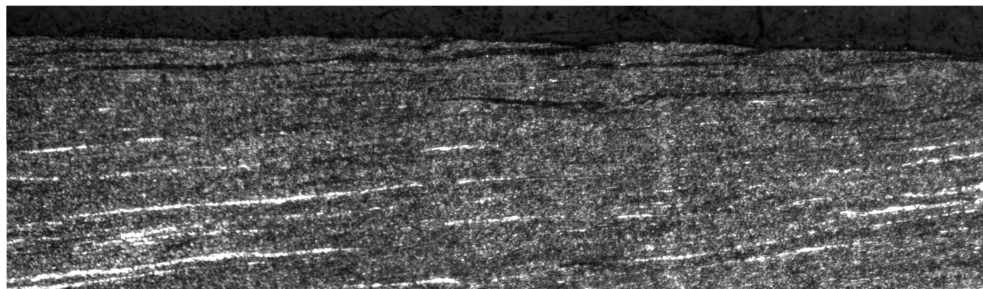


Figura 197.- Aparición de grietas por descohesión en las capas deformadas más externas de los discos

Las grietas que van apareciendo en toda la superficie hacen que la capa de material que ha perdido la cohesión con el material inferior sea más susceptible a las deformaciones plásticas que el que la rodea al no poder oponer resistencia a las fuerzas tangenciales que tiran de ella, tal y como se ve en la figura 198.

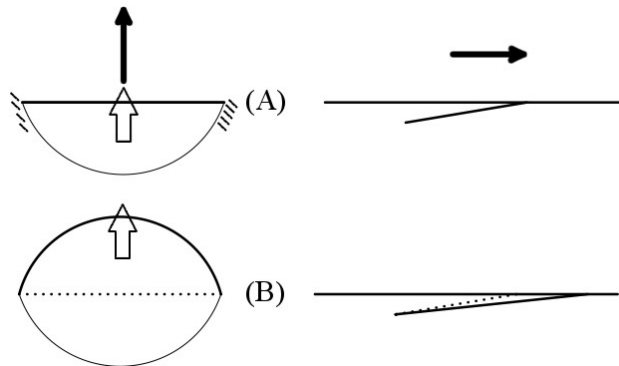


Figura 198.- Creación de una escama por deformación plástica en una grieta. A: Grieta sin deformar. B: Grieta alargada por deformación plástica del material superior.

En la citada figura se describe gráficamente el proceso mediante el cual una grieta puede evolucionar por la deformación plástica (causada por las tensiones tangenciales) del material que hay encima de ella hasta dar origen a una escama. Evidentemente, la grieta sigue creciendo también hacia dentro desde su fondo, pero ese proceso no es el que nos ocupa. El estado inicial de la grieta puede ser el que describe la figura 198-A, con un frente recto y abarcando un área en forma de media luna bajo la superficie, típica del crecimiento de una grieta cualquiera por fatiga. Las flechas negras indican el sentido de acción de las tensiones tangenciales. Aunque estas tensiones actúan por igual sobre toda la superficie abarcada por la grieta, en los laterales de la grieta, en la zona rayada, el material que hay encima de la grieta sigue unido al metal base y eso impide en gran medida su deformación. En la zona central, donde se ha situado una flecha hueca, nada impide que el material, al haber perdido por debajo la unión con el metal base y estar alejado de los anclajes laterales, deforme como si estuviese sometido a tracción y se alargue. Este comportamiento implica que el frente de la grieta terminará adoptando una forma de media luna, tal y como se ve en la figura 198-B.

Este proceso de deformación se traduce en la práctica en una superficie que al microscopio óptico aparece llena de grietas suavemente onduladas, como se aprecia en la figura 199.

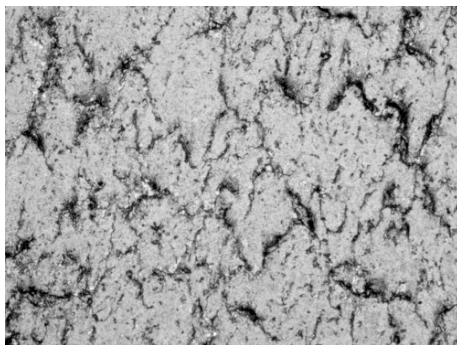


Figura 199.- Grietas onduladas por deformación plástica en una probeta de acero C45 ensayada en seco con un 0.5% de deslizamiento (x100).

También es frecuente encontrar grietas en las que se ha perdido la parte frontal de la escama. El estudio fotográfico de esas escamas aporta pruebas y datos adicionales sobre el proceso descrito. La figura 200 es un ejemplo de estos casos. En ella puede verse el frente de grieta y la zona que cubría la escama rota. Esta zona tiene la forma de la media luna descrita y presenta una serie de marcas lineales que emanan desde el frente visible de la grieta y van hacia la parte exterior del área antes cubierta dándole todo el aspecto de una vieira. Estas marcas no están originadas por el crecimiento de la grieta por fatiga, puesto que son perpendiculares a ese crecimiento, sino por la deformación y el desplazamiento de la lengua de material que hay encima de la grieta tal y como se ha descrito en la figura 198. Las marcas son el resultado del arrastre de las irregularidades de la boca de la grieta sobre la superficie del disco, que termina arañada.

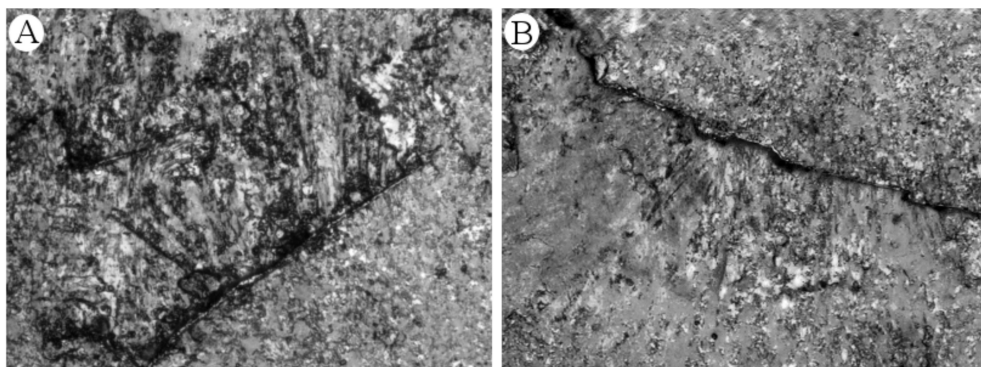


Figura 200.- Grietas donde se ha desprendido la escama formada por deformación plástica y se aprecia la marca en forma de vieira dejada sobre el metal base (x400).

Este proceso de formación de los arañazos descritos esta avalado por el hecho de que la zona arañada esta más baja que la escama, como puede verse en la reconstrucción en 3D realizada de la figura 200-derecha a partir de una serie de fotografías tomadas con distintas distancias de enfoque. Esta técnica no es ni de lejos tan precisa como el uso de un microscopio confocal, pero sirve para comprobar de forma rápida la geometría superficial.

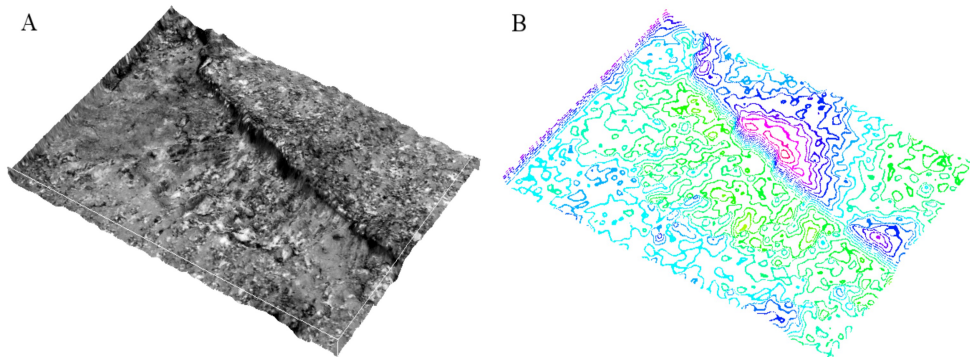


Figura 201.- Reconstrucción 3D (A) de una grieta (figura 200-B) donde parte del material superficial ha sido arrancado (zona izquierda) y mapa de isolíneas asociado (B).

Además aparece un efecto adicional, que también se aprecia en los estudios de otros autores (figura 14): cuando las superficies están limpias aparece adherencia entre ellas, lo que hace que se produzca un tirón en las escamas y aumenta le posibilidad de que se separen del material base generándose una partícula de desgaste o una aceleración del avance de la grieta. Este hecho se ve confirmado por el estudio de la apariencia de la superficie tras el ensayo y por los cortes longitudinales realizados en la pista de rodadura para medir la deformación subsuperficial. La figura 202 muestra como los fenómenos de adherencia son capaces de levantar la capa más externa de la superficie para acelerar el crecimiento de la grieta y el desprendimiento de partículas. En esa figura la escama aparece totalmente levantada y doblada hacia atrás. Junto a la imagen se ha colocado un mapa de alturas obtenido mediante “stack focusing” y un perfil lineal de alturas obtenido a partir del anterior, donde se ve claramente la elevación de la escama y el hoyo que estaba cubriendo inicialmente. El fenómeno de levantamiento de estas escamas se esquematiza en la figura 203.

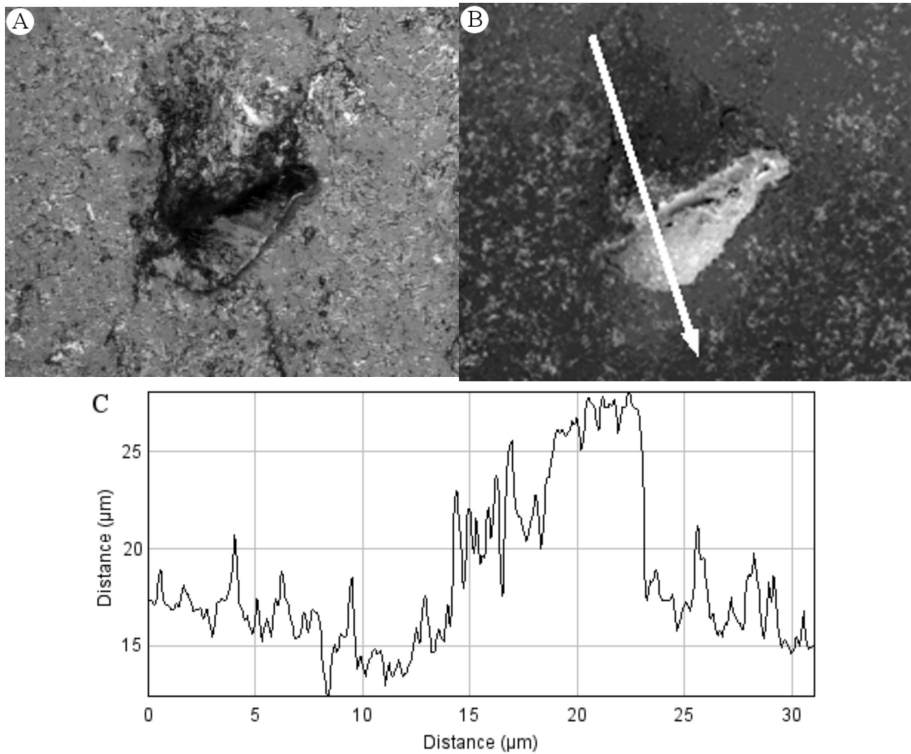


Figura 202.- Lengua de material superficial levantada por adherencia (x400). En este caso aparece incluso doblada hacia detrás. El mapa de alturas elaborado a partir de 10 imágenes de microscopía óptica con variación de foco y el perfil de alturas indicado por la flecha confirman el levantamiento del material que se ve a simple vista.

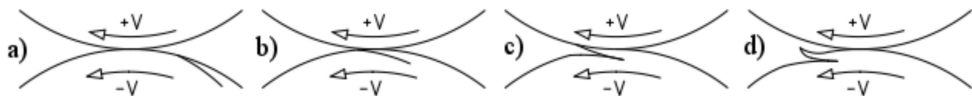


Figura 203.- Crecimiento de una grieta y arranque de partícula por adherencia

Estas lenguas de material son finalmente arrancadas para dar origen a una partícula de desgaste y a una marca en la superficie del carril de rodadura, como puede verse en la figura 204.

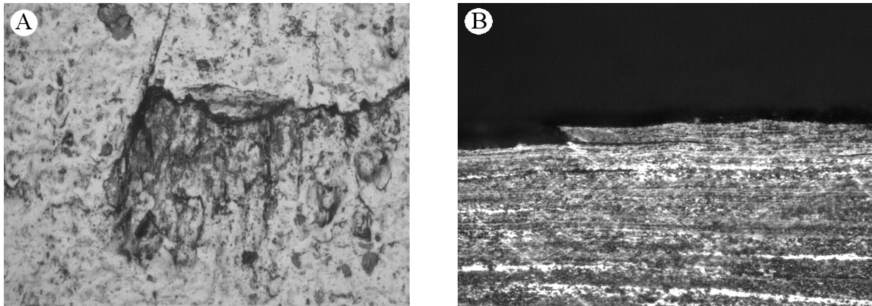


Figura 204.- Aspecto superficial (A, x200) y en corte transversal (B, x400) de una grieta tras haber sido arrancada una parte de la lengua de material en un ensayo en seco.

En cuanto a la diferencia de comportamiento entre los aceros al carbono y los bainíticos, las superficies de los discos fabricados en aceros bainíticos se muestran más cubiertas de grietas que las de los fabricados en los aceros C45 o C55 y además, las escamas que generan las grietas se encuentran más separadas de la superficie, como puede verse en la figura 205.

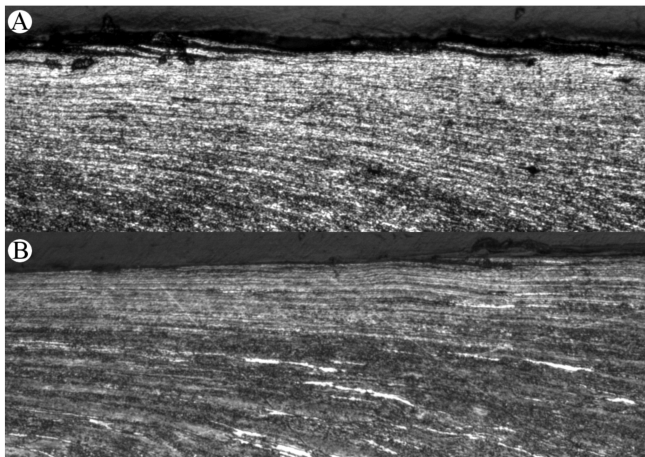


Figura 205.- Aspecto típico de un corte transversal en dos discos estrechos afectados por desgaste severo. Arriba: Acero bainítico (430HV). Abajo: Acero C55

Esta diferencia puede atribuirse a la menor tenacidad de los aceros bainíticos y a la menor presencia de partículas adheridas en la superficie de los discos anchos, lo que hace que la adherencia entre los dos discos tienda a separar las escamas del metal base.

Todo esto es para ensayos realizados en seco. Si se añade agua al contacto el mecanismo cambia. En el apartado 2.4.3.3 ya se comentó la influencia del agua en la velocidad de crecimiento de grietas y, aunque en principio la presencia de agua va a acelerar el crecimiento de grietas, es innegable que va a tener también un efecto lubricante que reducirá su velocidad de nucleación.

Esa reducción del daño que sufren las superficies se evidencia en el bajo desgaste que tienen las superficies de los discos hasta que el agua es capaz de acelerar el crecimiento de las grietas. Recuerdese que con agua la deformación subsuperficial tiene un máximo en la superficie, luego descende hasta formar otro máximo en el interior, de forma que solamente una pequeña parte de material es proclive a que aparezcan grietas superficiales.

Antes de que aparezca desgaste catastrófico también existen grietas en la superficie de los discos (figura 206). No obstante, su longitud y la profundidad que alcanzan no parece ser suficiente como para que el agua pueda penetrar en ellas, quizá debido a que el perfil de deformaciones y tensiones tangenciales no favorece el crecimiento de las grietas, o, si lo hace, el único efecto es la rotura del material de la boca de la grieta, pero no una aceleración de su crecimiento.

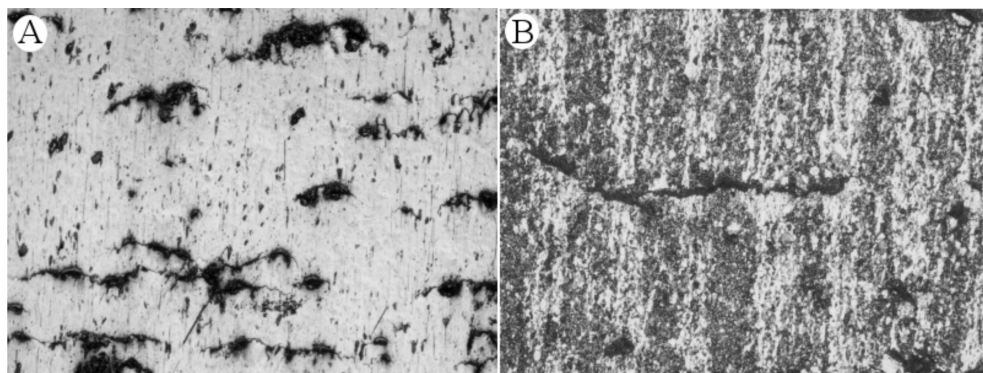


Figura 206.- Grietas aparecidas en la superficie de dos discos ensayados con agua antes de que existiese desgaste catastrófico. A: Acero bainítico. B: Acero al carbono

Esa rotura, junto con la oxidación que tiene lugar por el agua ahí retenida es lo que les confiere el aspecto de la figura 206.

En este punto deben tenerse en cuenta dos cosas. Lo primero de todo es que podría ser que prolongando el tiempo de ensayo la presencia de grietas en la superficie de las probetas aumentase y también lo hiciese la influencia del agua, llegando a un punto en que el crecimiento de las grietas se acelerase. La siguiente circunstancia a considerar es que en los ensayos realizados con agua en la bibliografía suele someterse primero a la probeta a una cierta cantidad de ciclos en seco con el fin de generar grietas en las que el agua pueda penetrar con rapidez, cosa que no se ha hecho en estos ensayos. Por todo ello y por el aspecto que empiezan a tener algunas superficies de las probetas ensayadas con agua conforme aumenta el deslizamiento y la presión de contacto, el autor supone que si se alargan los ensayos en muchos casos se llegará a obtener un fuerte incremento del crecimiento de grietas por efecto del agua. Naturalmente, esto es sólo una suposición que será preciso comprobar experimentalmente.

Centrándonos en el desgaste catastrófico con agua, en esos casos las tensiones normales son bastante más altas que las tangenciales. Eso supone que el cierre de la grieta con el agua dentro va a ser muy bueno y que un aumento de presión va a llevar a un crecimiento acelerado de la grieta por aumento de la presión hidrostática. La figura 207 muestra el aspecto de una grieta en un disco ensayado con agua. Como puede verse, al igual que en el caso de los ensayos en seco, la grieta sigue preferentemente el camino marcado por la deformación, pero se diferencian de los primeros por la presencia de múltiples ramificaciones y un crecimiento más hacia el interior de la rueda. En esa figura incluso se aprecia como una de bifurcaciones de la grieta se desplaza hacia arriba para dar, con el tiempo, origen al desprendimiento de una partícula. La aparición de estas ramificaciones esta causada por las grandes presiones hidrostáticas que aparecen en toda la grieta más que por la distribución de las tensiones de contacto. La presión hidrostática es tan elevada que es capaz de romper la microestructura del acero por sus puntos más débiles, aunque no hay una preferencia por el borde de grano ni por las estructuras intragranulares. Por desgracia no se dispone de discos bainíticos afectados por este proceso para poder estudiar como crecen las grietas en ellos debido al agua.

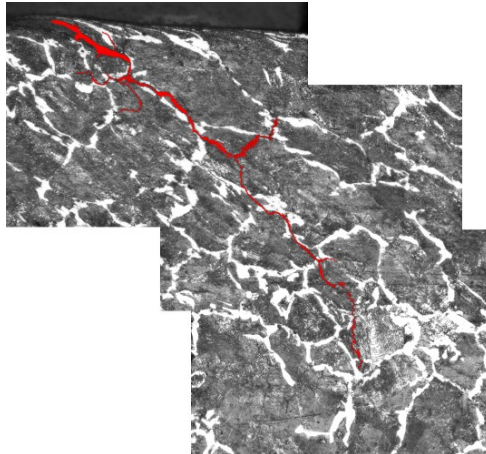


Figura 207.- Aspecto de una grieta en los discos ensayados con agua (x100) a 1500 MPa y un deslizamiento del 5%

Si al efecto del agua se le suma un importante nivel de deformación superficial se llega a grietas como las de la figura 208, que llevan a una aceleración aún mayor del desgaste que la que produce solamente el agua.

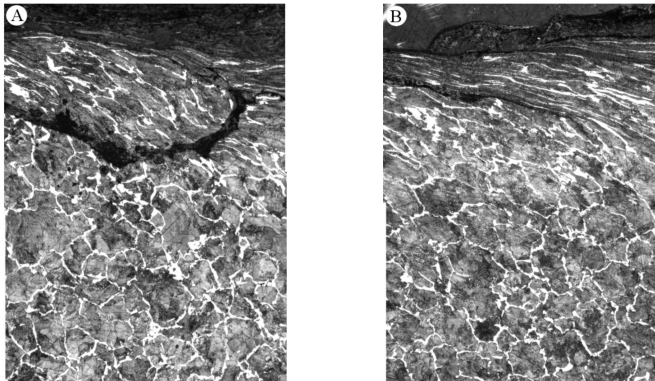


Figura 208.- Aspecto de las grietas bajo la superficie de los discos cuando el agua es capaz de penetrar en ellas (x100). Ensayos entre aceros al carbono con un 5% de deslizamiento y una presión normal máxima de 1383.7 MPa.

5.8.- TEMPERATURA ALCANZADA EN LA SUPERFICIE

En este apartado se estudia solamente el aumento de temperatura medido para los ensayos sin lubricación alguna, por dos razones: primero porque el aporte continuo de agua o aceite lleva al enfriamiento de los discos, eliminando una muy importante cantidad de calor que no puede ser evaluada fácilmente, y segundo porque se forma una capa sobre la superficie de los discos de espesor variable que muchas veces acaba saturada de partículas metálicas de desgaste, lo que hace imposible conocer la reflectividad a usar en la cámara de infrarrojos para proceder a la medida.

El proceso de medida de la temperatura ya se ha descrito en el apartado 4.2, por lo que no se va a repetir aquí.

A la hora de estudiar los datos recogidos sobre los cambios en la temperatura superficial de los discos aparece una importante dificultad, y es que las condiciones en las que se han realizado los ensayos distan mucho, en lo referente a este parámetro, de las ideales, que corresponderían a las de una cámara climática. El equipo de ensayos está emplazado en una pequeña sala en la que el uso del aire acondicionado en los meses más calurosos del año resulta indispensable, no solamente por el calor propio de la estación, sino también por el generado por el ensayo: fricción entre los discos, motores eléctricos y, sobre todo, por el compresor de aceite. A ello hay que añadir que el citado compresor dispone de un ventilador para su propia refrigeración, el cual crea unas corrientes de aire nada despreciables cuando se enciende, y que en la mayor parte de los casos la temperatura de los ejes no se dejaba descender hasta la ambiental entre dos ensayos consecutivos. Todo esto lleva a que la temperatura medida esté sometida al efecto de múltiples variables no controladas ni medidas. De entre ellas se exceptúa la temperatura ambiental que se midió cerca de los discos mediante un termopar y aún así muestra la evolución de la figura 209, donde se aprecia claramente cuando se encendía el ventilador del grupo compresor.

En tales condiciones los datos obtenidos no son fácilmente comparables entre sí, quedando corroborado por la ausencia de correlación con las variables de control o con otros resultados.

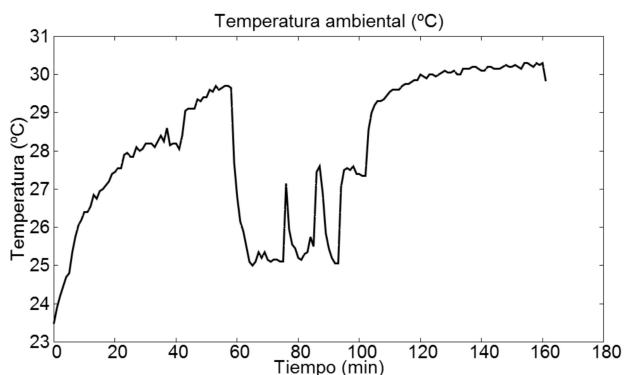


Figura 209.- Caída en la temperatura ambiental debida al funcionamiento del ventilador del grupo compresor de aceite.

Este problema puede superarse, por lo menos en parte, si se usan las medidas de temperatura obtenidas a partir de los ensayos escalonados. En estos casos todos los valores correspondientes a una misma presión normal y combinación de materiales (se varía el deslizamiento) están medidos en el mismo día y en condiciones muy similares, con lo que gran parte de los factores que inducen variabilidad quedan eliminados. Aunque esto no impide que la comparación entre ensayos realizados en distintos días siga siendo dudosa, es muchísimo mejor que si se usaran los ensayos individuales.

Para mejorar un poco más la posibilidad de comparar entre distintas series se ha optado por trabajar con el incremento de temperatura respecto la ambiental cuando la temperatura se ha estabilizado.

En cualquier caso, aunque no sea posible comparar entre distintos ensayos, el rango de temperaturas encontrado para todos es el mismo, con diferencias entre ellos de pocos grados, suficiente para impedir la comparativa entre ellos, pero no es óbice para darlos por buenos en otros estudios.

5.8.1.- TEMPERATURA EN LOS ENSAYOS ENTRE ACEROS AL CARBONO

La elevación de la temperatura sobre la ambiental al final de cada escalón de medida en la banda negra pintada sobre los discos anchos para el par de materiales C45-C55 se resume en la figura 210. Pese a que en la bibliografía se han publicado temperaturas en la banda de rodadura entre

100 y 300°C para ensayos de disco gemelo (apartado 2.6.5), las medidas en los ensayos realizados son mucho menores, principalmente porque, debe recordarse, se ha medido a unos 3 mm de la banda de rodadura. Aún así, los valores obtenidos sirven perfectamente para estudiar la evolución de la temperatura al ir cambiando las condiciones de contacto y confirmar que el rango de temperaturas que se alcanza en condiciones normales no es muy elevado.

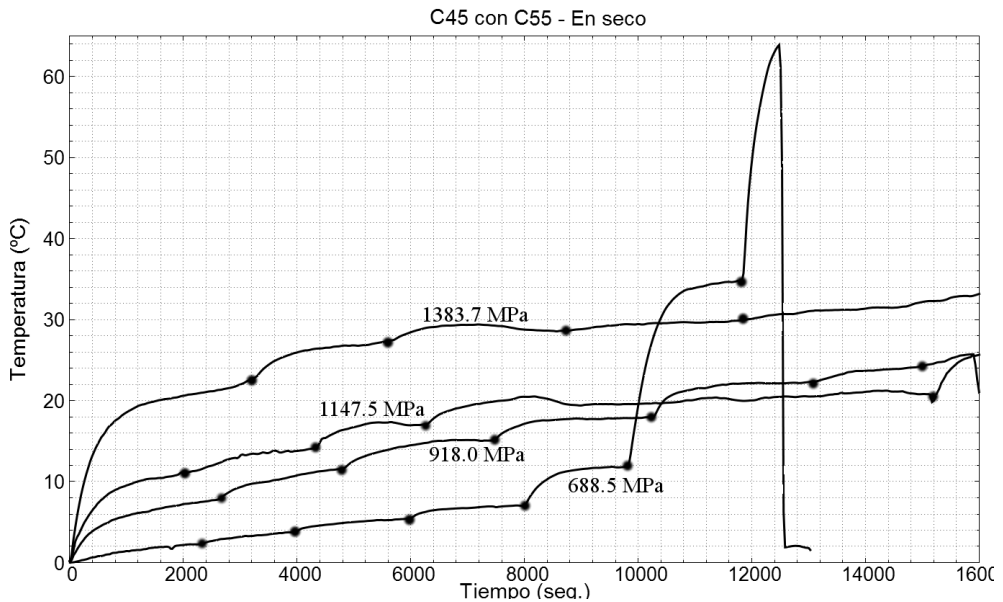


Figura 210.- Evolución del incremento de temperatura respecto a la ambiental para los ensayos realizados entre aceros al carbono. En cada ensayo el deslizamiento se fue variando desde un 0.1% a un 5%.

En los ensayos entre aceros al carbono los valores más habituales de incremento de temperatura oscilan entre los 10 y los 30 °C, aunque se puede llegar a casi 70°C en algún caso extremo, cuando el desgaste es claramente de tipo catastrófico.

Antes de pasar a estudiar los valores de temperatura estabilizada asociados con cada ensayo conviene hablar, aunque sólo sea brevemente, sobre como evoluciona la temperatura en la zona de medida. Como se puede apreciar en la figura 210, la evolución de la temperatura con el tiempo de ensayo sigue una curva de tipo exponencial cuya forma se aprecia mejor en la figura 211, correspondiente a uno de los ensayos individuales.

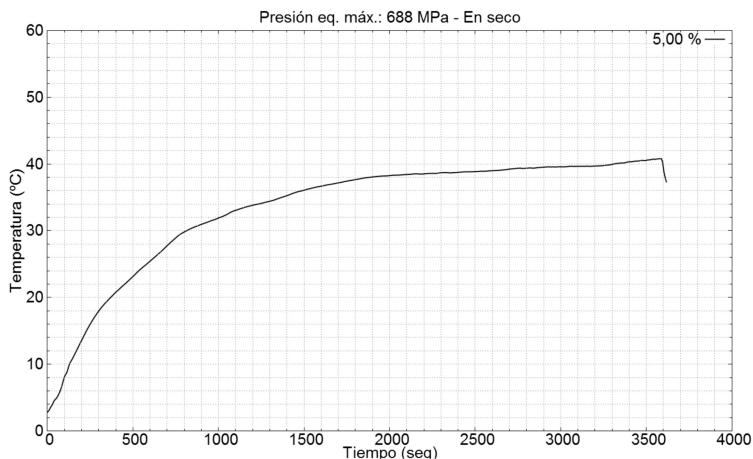


Figura 211.- Aumento de temperatura a lo largo del ensayo entre un acero C55 y otro C45. Presión: 688.5 MPa y deslizamiento: 5%

Estas curvas, que evidencian la lentitud de la estabilización de la temperatura, responden muy bien a un ajuste mediante una exponencial doble como:

$$\Theta(t) = C_{\theta 0} + C_{\theta 1} \cdot (1 - \exp(-t/t_1)) + C_{\theta 2} \cdot (1 - \exp(-t/t_2)) \quad (58)$$

No obstante, como las temperaturas de los ensayos individuales no se han considerado representativas y las curvas de los ensayos escalonados solamente se pueden ajustar cuando el salto entre la temperatura inicial y la final es importante, no se dispone de datos suficientes como para hacer una comparativa entre los distintos coeficientes o características de la función (58), puesto que solamente estarían disponibles para una parte de los ensayos.

Volviendo al aumento de temperatura cuando el sistema rodante ya se ha estabilizado (figura 212), al igual que en todos los demás parámetros estudiados el valor del incremento de temperatura está íntimamente relacionado con el deslizamiento y la curva de adherencia. Quizá la diferencia más importante respecto a esos otros parámetros es que, al contrario de lo que ocurre con la dureza o el desgaste, las curvas muestran ya aumentos notables de temperatura a deslizamientos del 0.1%, cuando ni existe deformación plástica, ni desgaste, ni endurecimiento. En cualquier caso, esto es esperable, pues los fenómenos citados requieren de unos

valores mínimos de tensión tangencial (o parámetro de daño) para hacer acto de presencia, mientras que la temperatura comenzará a subir, aunque sea poco, en cuanto exista un mínimo de liberación energética en el contacto.

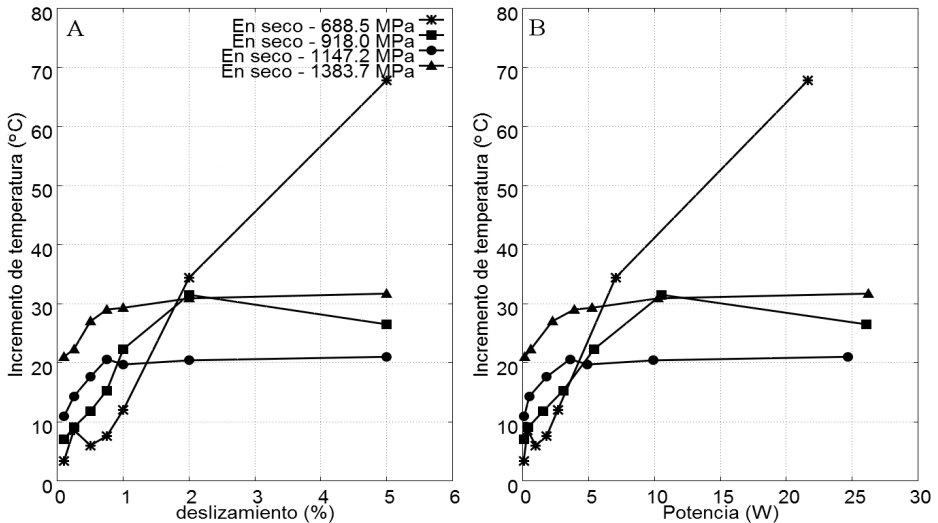


Figura 212.- Aumento de la temperatura superficial para los ensayos en seco entre los aceros C45 y C55

Esta disipación energética puede estimarse de forma aproximada mediante la definición mecánica de potencia, es decir, del producto de fuerza y velocidad. Trasladar ese concepto a rodadura [202] requiere usar la fuerza tangencial T y la velocidad de deslizamiento v_s . Podría pensarse en usar la velocidad de rodadura, pero la energía que se disipa en rodadura pura, aunque va a existir, es muy baja, como evidencia la figura 212-B, por lo que no tiene sentido incluirla en los cálculos. En esto el estudio de la temperatura se diferencia del resto de parámetros, en los que el uso de la velocidad de rodadura da mejores resultados y una explicación física más aceptable para los mismos.

La misma figura 212-B muestra la evolución del incremento de temperatura sobre la temperatura ambiental cuando el sistema se ha estabilizado en función de la potencia, que no energía, disipada en el contacto. Inmediatamente resalta el gran parecido, obviando la escala del eje X, de esa figura con la 212-A, debido a la gran importancia proporcional

que tiene el deslizamiento.

Los valores de potencia disipada están siempre por debajo de los 30 vatios, lo cual coincide bastante bien con el orden de magnitud encontrado por Lewis [202]. Cada valor de potencia no lleva a un único valor de temperatura, sino que esta depende, en apariencia, también de la presión normal, de forma que el incremento máximo en cada serie de ensayos puede oscilar entre los 20 y casi 70°C si existe desgaste catastrófico y la curva muestra una evolución totalmente diferente a las demás .

El aspecto de crecimiento amortiguado que muestran estas curvas indica que podrían ajustarse a una exponencial amortiguada y que, limitando el valor de la potencia como se ha hecho en otros capítulos, se podría hacer un análisis comparativo entre ellas. Por desgracia, ya se ha comentado que la posibilidad de comparar entre distintos ensayos es muy limitada por la imposibilidad de haber asegurado unas condiciones estables entre distintos ensayos para la temperatura. Por ello, no se ha hecho ese ajuste, pues ningún resultado fiable puede extraerse de él que no pueda obtenerse de la figura 212 tal y como se presenta.

En cuanto al efecto de la presión normal sobre la temperatura, si bien no se puede extraer una conclusión clara de la figura en cuanto a comparar entre series por los motivos ya aducidos, es evidente en esa figura y en las correspondientes al resto de combinaciones de materiales que la forma de las curvas cambia totalmente si la presión normal es baja respecto a cuando es alta. En el primero de los casos hay un aumento continuado de la temperatura al aumentar la energía disipada, mientras que en el segundo la temperatura deja de crecer aunque la energía disipada siga aumentando. Esto puede relacionarse claramente, si se recuerda el estudio de otros parámetros, con la aparición de desgaste catastrófico, que implica una mayor generación de calor.

5.8.2.- INFLUENCIA DE LOS MATERIALES EN CONTACTO

La figura 213 presenta los resultados para los pares bainítico-C55, tanto en función del deslizamiento como de la potencia a disipar en el contacto.

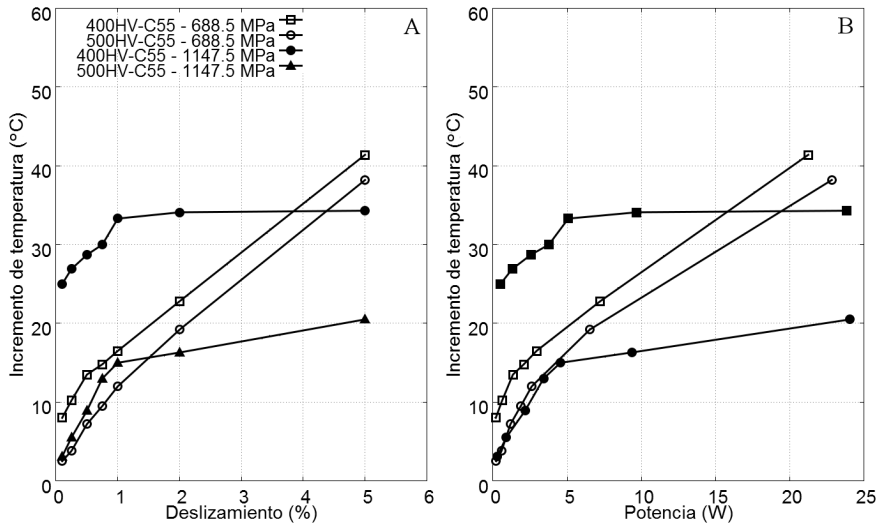


Figura 213.- Evolución de la temperatura superficial para los ensayos en seco entre aceros bainíticos y el acero C55.

En este caso no se alcanzan los aumentos de temperatura a los que se llega en los ensayos entre aceros al carbono y apenas llegan a superar los 40°C, aunque se reproduce un comportamiento similar: presiones normales máximas de 1147.2 MPa implican un aumento de temperatura hasta que el deslizamiento alcanza el 1%, momento en que deja de crecer. Presiones de 688.5 MPa hacen que el aumento de temperatura sea casi totalmente lineal con el deslizamiento. Resulta curiosa la evolución de las curvas a altas temperaturas con su estabilización al 1% cuando el coeficiente de tracción en algunos casos se estabiliza mucho antes. Aunque no se dispone de datos ni referencias con los que elaborar una teoría que lo justifique, en las curvas esos puntos coinciden también con una potencia a disipar de aproximadamente 5 vatios, por lo que es de suponer que ese valor represente una especie de umbral que tenga que ver con la capacidad de disipación de calor del sistema.

También se esperaría que el elevado nivel de desgaste que va asociado a estos ensayos cuando la presión en baja llevase a una elevación de temperatura mayor que la alcanzada cuando se ensayan dos aceros al carbono, pero se quedan bastante por debajo. Es posible justificar esto debido a que la gran cantidad de partículas de desgaste que aparecen se llevan consigo parte del calor generado, rebajando la temperatura de los

discos. También es un hecho destacable que estos discos, pese a su nivel de desgaste, no estén recubiertos de polvo negro como los correspondientes a desgaste catastrófico entre los dos aceros al carbono usado.

Exactamente el mismo comportamiento que se ha encontrado hasta ahora siguen los ensayos realizados entre aceros bainíticos (figura 214): estabilización del aumento de temperatura cerca del 1% de deslizamiento si la presión es de 1147.5 MPa y un crecimiento continuo si es de 688.5 MPa (hay un punto extraño, pero se puede considerar una medida anómala puesto que no concuerda con ningún otro).

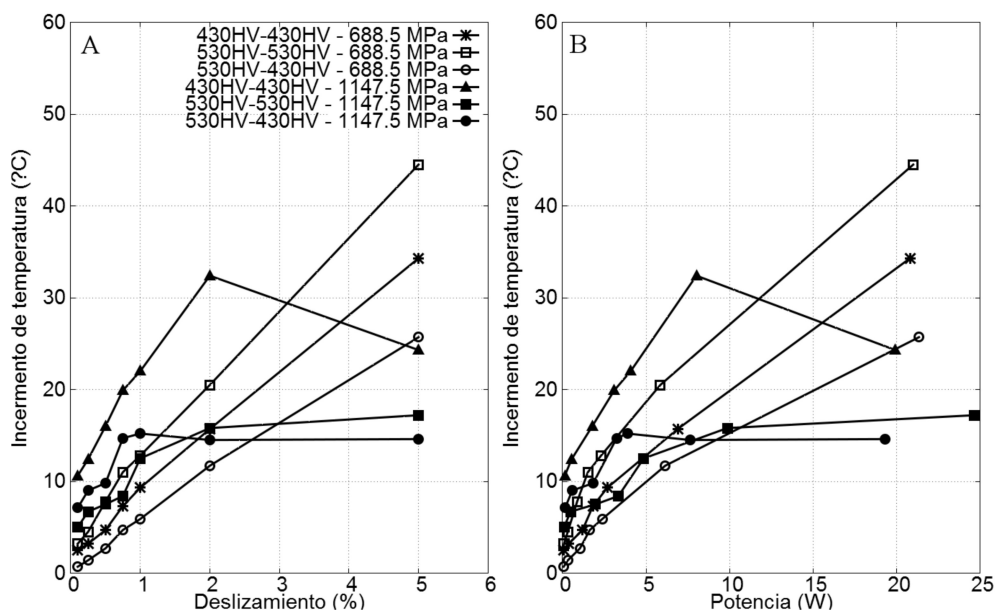


Figura 214.- Evolución de la temperatura superficial para los ensayos en seco entre dos aceros bainíticos en función de la potencia disipada en el contacto.

En cuanto al rango de aumento de temperaturas, éste coincide exactamente con el encontrado en otros casos, con valores normalmente menores de 40°C.

5.8.3.- RESUMEN

Aunque el sistema de medición de temperatura ha mostrado su utilidad y validez, las circunstancias que han rodeado los ensayos en lo

referente a la falta de control de las condiciones de temperatura en la sala donde se han hecho los ensayos ha hecho que los datos recogidos presenten una variabilidad debida a factores no controladas que impide la comparación de los resultados entre distintos ensayos. Aún así, es posible emplear los datos recogidos en los ensayos escalonados, con un rango de valores igual al encontrado en los ensayos individuales pero donde la variación de condiciones entre los escalones de deslizamiento es despreciable para obtener algunas conclusiones.

La evolución de la temperatura para los ensayos en seco (no hay datos para el resto) con el tiempo sigue una función de tipo exponencial amortiguada que con facilidad puede tardar más de media hora en estabilizarse.

En la figura 215 se han recogido los resultados obtenidos para los distintos ensayos en función de la potencia, aunque separándolos en dos gráficas para que se pueda visualizar mejor la diferencia que implica tener una presión normal alta o baja.

Los valores de potencia disipada estimados se encuentran siempre por debajo de 30 vatios y puede decirse que hay dos tipos de comportamiento, independientemente de las características de los materiales empleados en los ensayos. A bajas presiones normales (688.5 y 918 MPa) el aumento de la potencia disipada implica que la temperatura va a aumentar linealmente siguiendo el comportamiento del coeficiente de tracción, mientras que a presiones superiores la temperatura deja de aumentar cuando la potencia supera los 5 vatios. Las causas de este comportamiento se desconocen por el momento, aunque son una clara evidencia de que una combinación de deslizamientos altos y bajas presiones normales va a llevar a una mayor elevación de la temperatura y a un mayor daño superficial, cosa que no sucederá si las presiones normales son elevadas.

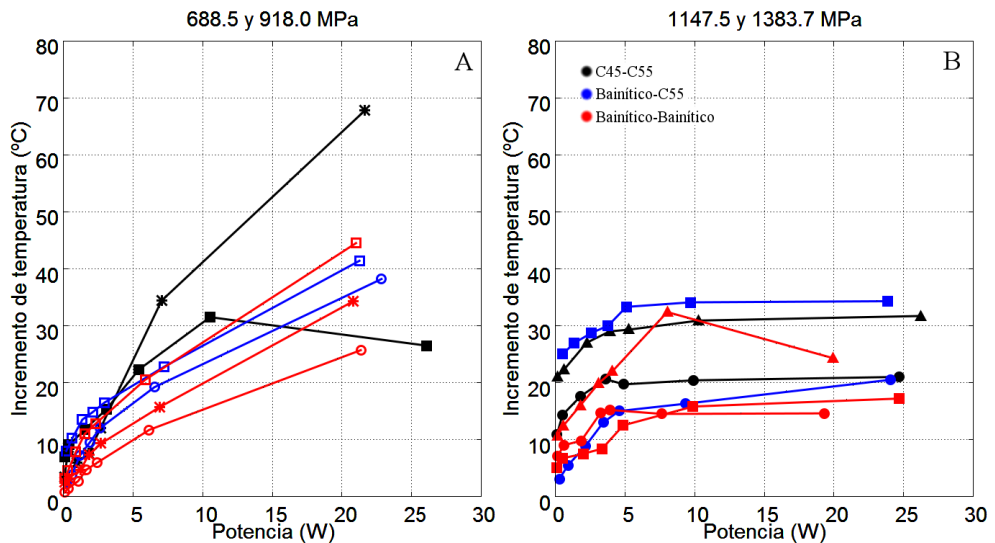


Figura 215.- Aumento de temperatura en función de la potencia a disipar e influencia de la presión normal.

En prácticamente todos los casos el aumento de temperatura ha estado por debajo de los 40°C y solamente en el ensayo más desfavorable entre aceros al carbono, con un elevado desgaste y un aspecto superficial diferente al resto se llega a cerca de 70°C. En los ensayos entre aceros bainíticos y el C55 hay un elevado desgaste, muy superior al que lleva a que se alcancen esa temperatura de 70°C, no obstante, es exactamente esa la mayor pérdida de material caliente la que justifica que la temperatura se mantenga baja.

5.9.- EMISIÓN ACÚSTICA

En el apartado 4.2 dedicado a los sistemas de adquisición de datos empleados en los ensayos ya se hizo referencia a las dificultades que existen a la hora de usar esta técnica cuando los sensores no se pueden colocar directamente sobre el objeto a estudiar, en este caso los discos ensayados. Estas dificultades se manifiestan con total claridad cuando se intentan estudiar los datos recogidos. Ninguna de las señales que se puedan originar en los discos debido a los fenómenos de fricción o de crecimiento de grietas es capaz de llegar hasta los sensores, puesto que tendría que poder transmitirse a través del contacto disco-eje (lo cual es posible, aunque no sin una degradación de la señal) y superando el obstáculo que supone a la transmisión de las ondas de emisión acústica la presencia de los rodamientos que soportan los ejes, y este obstáculo si que es imposible de superar dado el pequeño contacto que existe entre las bolas de los rodamientos y las pistas de rodadura de los mismos.

En definitiva, se están recogiendo las señales procedentes del golpeteo que soporta la mesa debido a las vibraciones generales que soporta todo el equipo de ensayos, básicamente por el contacto mesa-guías y mesa-vástago del cilindro hidráulico usado en la aplicación de las cargas normales y por las señales que aparecen en el conjunto de rodamientos soportados por la mesa.

Aunque todas estas señales están relacionadas con lo que ocurre en el contacto entre los discos, que es donde se generan la parte más importante de las vibraciones que afectan al equipo, su cantidad y características dependen también del apriete que tienen algunos tornillos durante los ensayos (el apriete puede variar durante el ensayo o cuando se desmontan por alguna razón), del estado de los rodamientos y de otra multitud de factores no controlados. Esto ha hecho que un análisis cuantitativo haya sido imposible, de forma que el estudio de la emisión acústica se ha tenido que reducir al de unas pocas características de las curvas del nivel de emisión acústica con el deslizamiento y la presión normal, sin que la comparación de los resultados obtenidos para distintas combinaciones de materiales aporte ningún tipo de información útil.

Para ello se ha partido principalmente de los ensayos escalonados entre aceros al carbono, puesto que al usarse los mismos discos para barrer todas las condiciones de deslizamiento estudiadas se eliminan variables que pueden influir en las señales detectadas.

La figura 216 muestra la cantidad de señales detectadas por segundo a lo largo de los ensayos escalonados llevados a cabo en seco y para las 4 presiones consideradas. En esa misma figura se ha marcado con un punto las transiciones en los escalones de deslizamiento. Como puede verse, los cambios en los valores de deslizamiento se encuentran muchas veces asociados a variaciones en el nivel de emisión acústica, lo que indica que el nivel de señales que se detecta si responde de alguna manera a los cambios en las condiciones de contacto entre los discos.

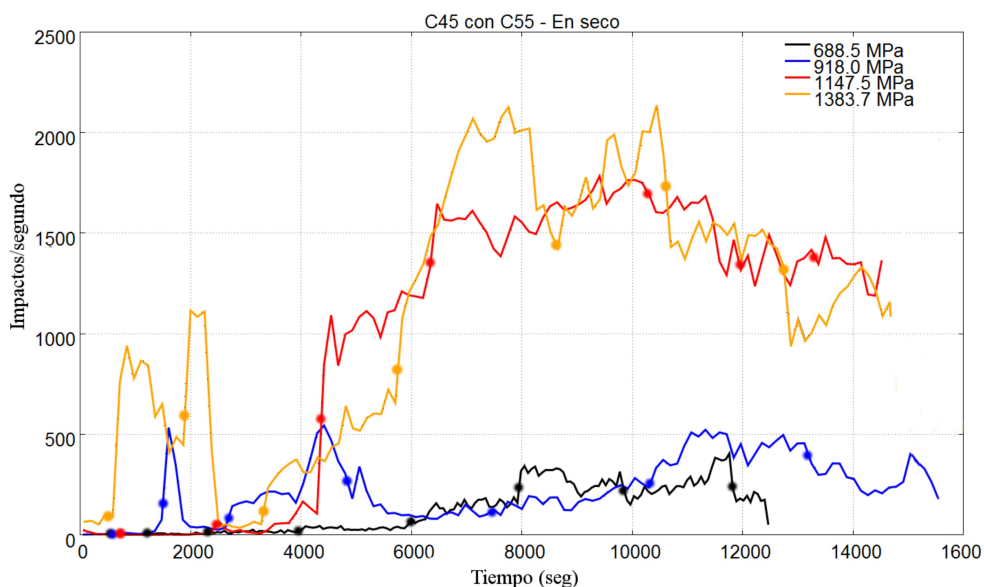


Figura 216.- Número de señales de emisión acústica detectadas por segundo para los ensayos en seco. Los puntos en las líneas indican de forma aproximada los cambios en la velocidad de deslizamiento desde el 0% al 5%.

Por desgracia, las curvas muestran un comportamiento bastante caótico que no sigue un patrón fácil de estudiar. Parece claro que cada vez que se aumenta el deslizamiento cambia la respuesta vibracional del equipo de ensayos y, junto con ella, la cantidad de señales que pueden detectar el

sensor colocado en la mesa deslizante. Aún así, este cambio en algunas ocasiones incluso parece ser transitorio, cambiando los niveles de emisión a medida que avanza el ensayo sin necesidad de variar el deslizamiento.

Resulta interesante ver como la mayor cantidad de señales se recoge para los ensayos con mayor presión normal, aunque en esos casos las tensiones tangenciales y el daño que soportan las probetas son menores, lo cual indica que el sensor, por estar colocado en la mesa deslizante, es mucho más sensible a los cambios en la presión normal que en la tangencial. Esto tampoco debe resultar extraño, pues la mesa es uno de las piezas que ejerce de elemento transmisor de las fuerzas normales entre el cilindro hidráulico de empuje y los discos ensayados, mientras que las fuerzas tangenciales se equilibran en los motores.

Una vez aclarado este punto, la influencia que tiene un aumento del deslizamiento se aprecia en que a bajos deslizamientos la emisión es escasa, mientras que cuando la curva de adherencia se acerca a la estabilización la emisión aumenta y se mantiene en niveles altos. Una clara excepción a esto son los picos de emisión acústica que aparecen a bajos deslizamientos parados de las curvas representadas. No obstante, es un fenómeno conocido la presencia de un alto nivel de emisión acústica en las etapas iniciales de algunos ensayos debido a fenómenos de acoplamiento inicial entre dos superficies. Esto sucede con frecuencia en ensayos de tracción y de flexión y se cree que en este caso el origen de las señales es similar y podría encontrarse en alguna clase de fase de estabilización de todo el sistema. Conocer el origen exacto de esas señales es prácticamente imposible, pues ni aparecen siempre ni están asociadas a una mayor severidad del contacto.

5.10.- RELACIÓN ENTRE RESULTADOS

Los diversos resultados obtenidos a partir de los ensayos realizados se han relacionado con las variables de control: deslizamiento, presión normal, combinación de materiales, contaminantes, e incluso en algunos casos con la geometría de los discos, algo que no estaba previsto inicialmente.

El primer resultado estudiado ha sido el coeficiente de tracción y las curvas de adherencia. A partir de ahí los distintos resultados se han relacionado con el deslizamiento y los coeficientes de tracción o con variables derivadas de ellos, como la fuerza y la tensión tangencial o la definida como “parámetro de daño”. Lo que no se ha hecho es relacionar los distintos resultados entre sí.

Todos los parámetros estudiados siguen, de una forma u otra un comportamiento similar al de la curva de adherencia y en muchos casos se han establecido unas funciones de respuesta a las variaciones de los parámetros de control o, por ofrecer mayor precisión, al “parámetro de daño” u otro similar. En el resto de este capítulo se ofrece un breve estudio de las relaciones existentes entre algunos de los resultados, habiéndose seleccionado para ello aquellas combinaciones más lógicas:

- Deformación-Dureza
- Dureza-desgaste
- Deformación-desgaste
- Desgaste-temperatura

Aunque en las gráficas se han representado a título informativo tanto los puntos obtenidos en seco como los obtenidos con agua, sólo en el caso de los ensayos sin lubricación es posible establecer una relación matemática entre los parámetros representados. Además, para realizar el estudio se ha preferido recurrir a los ajustes matemáticos llevados a cabo en los capítulos anteriores para obtener una función que relacione entre sí los resultados seleccionados y no elegir una nueva función. Esto hace que se introduzcan nuevas condiciones, puesto que ahora los coeficientes de las funciones de ajuste tienen que responder también a las relaciones entre los puntos

correspondientes a los resultados. Estas nuevas condiciones se han usado en los capítulos anteriores para seleccionar los coeficientes de ajuste de las distintas curvas cuando el rango de opciones lo ha permitido.

Con el fin de poder combinar las funciones presentadas en los capítulos anteriores se ha considerado que el parámetro de daño y la tensión tangencial media son iguales, algo admisible, puesto que en los ensayos realizados la diferencia máxima entre ellos es del 5%. Pese a este pequeño error que se introduce, la escasez de puntos que hay en algunos casos para ajustar las curvas y la dispersión que presentan los distintos resultados, los ajustes que se obtienen son lo suficientemente acertados como para poder estudiar la relación entre los resultados seleccionados.

Por último, la extensión de las curvas de ajuste se ha limitado usando para ello los umbrales obtenidos en los capítulos anteriores para los distintos resultados en base a suponer un deslizamiento máximo del 20%.

La primera de las comparaciones puede verse en la figura 217, dedicada a la relación existente entre la profundidad afectada por deformación plástica y el incremento de la dureza.

Esta relación obedece a la ecuación (59), fruto de la combinación de las ecuaciones (56) y (57).

$$\Delta H = \frac{\left(\frac{PD - C_{D3}}{C_{D4} \cdot PD_0} \right)^{p_H} \cdot (H_f - H_0)}{1 + \left(\frac{PD - C_{D3}}{C_{D4} \cdot PD_0} \right)^{p_H}} \quad (59)$$

Como puede verse en la figura, la relación que se encuentra entre la profundidad afectada por deformación plástica y el aumento de dureza responde bastante bien a una curva en forma de S en la que el límite superior corresponde al pseudolímite de endurecimiento, tema del que ya se ha hablado en el capítulo 5.5.

Los puntos representados definen dos grupos con distinto comportamiento: aceros bainíticos por un lado y aceros al carbono por otro. Aunque ambos materiales presentan niveles de aumento de dureza similares,

la profundidad de material afectado por la deformación plástica necesaria para alcanzar un determinado nivel de endurecimiento en los bainíticos es claramente menor.

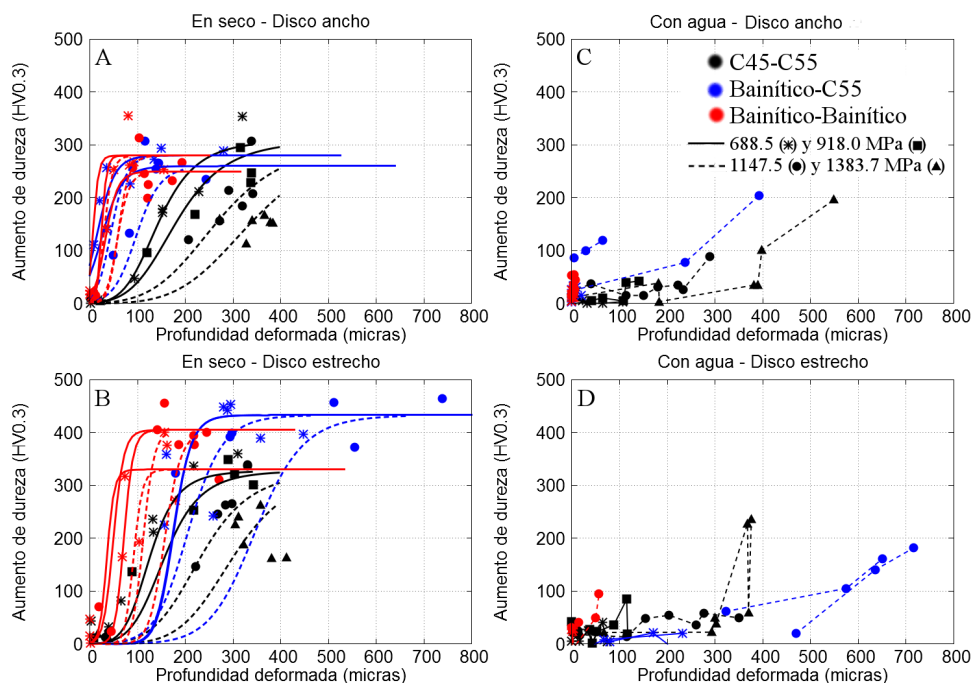


Figura 217.- Relación entre profundidad afectada por deformación plástica y nivel de endurecimiento para los distintos ensayos realizados.

Esta diferencia es una clara consecuencia del mayor límite elástico de estos materiales, que hace que, a igualdad en el campo de tensiones subsuperficiales a una determinada profundidad, en los discos fabricados con aceros al carbono se supere el límite elástico y en los aceros endurecidos no se llegue a alcanzar la zona de deformaciones plásticas. Siendo así, los valores de deformación, tal y como se ha medido, no justifican que los distintos materiales ensayados, pese a sus grandes diferencias, presenten valores de endurecimiento similares y es preciso buscar la justificación en otro lado.

En la superficie, que es donde se mide la dureza, se producen fuertes deformaciones plásticas y se rompe la estructura metalográfica inicial,

quedando como resultado una microestructura bandeada. Como los aceros bainíticos ya están endurecidos era de esperar que su endurecimiento fuese menor que el de los aceros al carbono, incluso cuando es cierto que su dureza queda aún lejos de la que puede alcanzar el material si se temple. Dado que en realidad los aceros bainíticos son aceros C55 tratados isotérmicamente, será preciso recurrir a un análisis detallado de sus características microestructurales en la zona deformada de ambos tipos de materiales para discernir cuáles son los mecanismos que pueden justificar la magnitud del endurecimiento en cada caso, más allá del evidente endurecimiento por acritud.

Volviendo a la figura 217, las curvas que se obtienen no dependen solamente del tipo de material ensayado, sino también de la presión normal, de forma que a igualdad de deformación el mayor endurecimiento se da con las menores presiones normales (mayores coeficientes de tracción y mayores tensiones tangenciales). En este caso tal circunstancia no puede justificarse por una mayor deformación plástica lateral y hay que pensar que, aunque la profundidad que alcanzan las deformaciones plásticas pueda ser la misma, el perfil de deformación con la distancia a la superficie no tiene porque ser el mismo, resultando que la magnitud de la deformación cerca de la superficie es mayor cuanto más bajas son las presiones normales.

Esto se ve con claridad en la figura 218, donde se ha representado la distribución bajo la superficie de los valores del “parámetro de deformación” PDe definido en el capítulo 5.4 para dos casos en los que la profundidad afectada por deformación plástica es similar. Para poder comparar entre las dos gráficas los valores de PDe se han normalizado respecto al valor seleccionado en cada caso para medir la deformación de acuerdo con la tabla 32, de forma que el valor unidad corresponde al límite de la zona plástica. Obsérvese como cerca de la superficie el valor normalizado de PDe es superior a 3 si la presión normal máxima es de 918 MPa, pero inferior si es de 1383.7 MPa, clara evidencia de que la deformación en la superficie, y con ella el endurecimiento, será mayor en el primer caso.

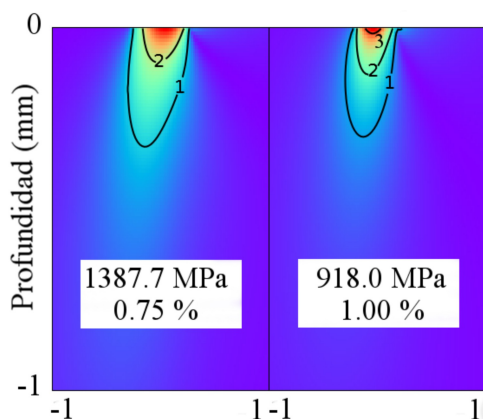


Figura 218.- Campos de distribución del parámetro PDe normalizado bajo la superficie en dos ensayos en los que la profundidad alcanzada por la deformación plástica ha sido similar. La normalización se ha hecho respecto al valor de PDe seleccionado en cada caso para evaluar la profundidad de deformación.

Respecto a los ensayos con agua, es poca la información que puede extraerse de ellos, pero si es destacable que un aumento de la deformación plástica, tal y como se ha medido, no está asociado a un aumento paralelo y lineal del endurecimiento, y que prácticamente no se llegan a superar las 100 unidades Vickers de aumento de dureza hasta que se rebasan las 300 micras de deformación, algo que contrasta con los ensayos en seco, en los que el endurecimiento asociado a la deformación es muy rápido. El hecho de que incluso con deformaciones altas el endurecimiento medido sea muy bajo se justifica atendiendo al perfil de deformaciones asociado a los ensayos con agua que, de acuerdo con las figuras 66 y 169, presentan el máximo de deformación y, por lo tanto de endurecimiento, bajo la superficie y no en ella, lo que hace que la dureza que se ha medido sea menor de lo esperado. La medición del perfil de endurecimiento en profundidad de los discos aportaría nuevos datos sobre este asunto.

La figura 219 muestra la relación entre la profundidad afectada por deformación plástica y la velocidad de desgaste. Al igual que en el caso anterior, hay una clara diferencia entre los aceros bainíticos y los aceros al carbono. En seco los bainíticos presentan una menor deformación pero alcanzan altos valores de desgaste con mayor facilidad, cosa que ya se ha achacado en más ocasiones a su menor tenacidad. Tanto el hecho de que el disco sea ancho como una menor presión normal hacen que la relación entre desgaste y deformación aumente.

La combinación de las funciones de ajuste (53) y (55) permite la obtención de una relación matemática entre el desgaste y la deformación que se ajuste de forma aceptable a los resultados. Esta relación, que resulta ser de tipo potencial, es la siguiente:

$$W = \left(\frac{\text{Deformación} - C_{D3}}{C_{D4} \cdot C_{W1}} \right)^{C_{W2}} \quad (60)$$

Aunque esta relación resulta bastante exacta, debe recordarse que la deformación se evaluó en función de la tensión tangencial media y de la velocidad de desgaste se relacionó con el parámetro de daño. Aquí se ha obviado esa diferencia y se ha asumido la igualdad entre ambas variables, asumiendo el 5% de error, que es la diferencia entre los parámetros impuesta por el valor máximo del deslizamiento. En la figura 219 pueden verse las curvas que se obtienen.

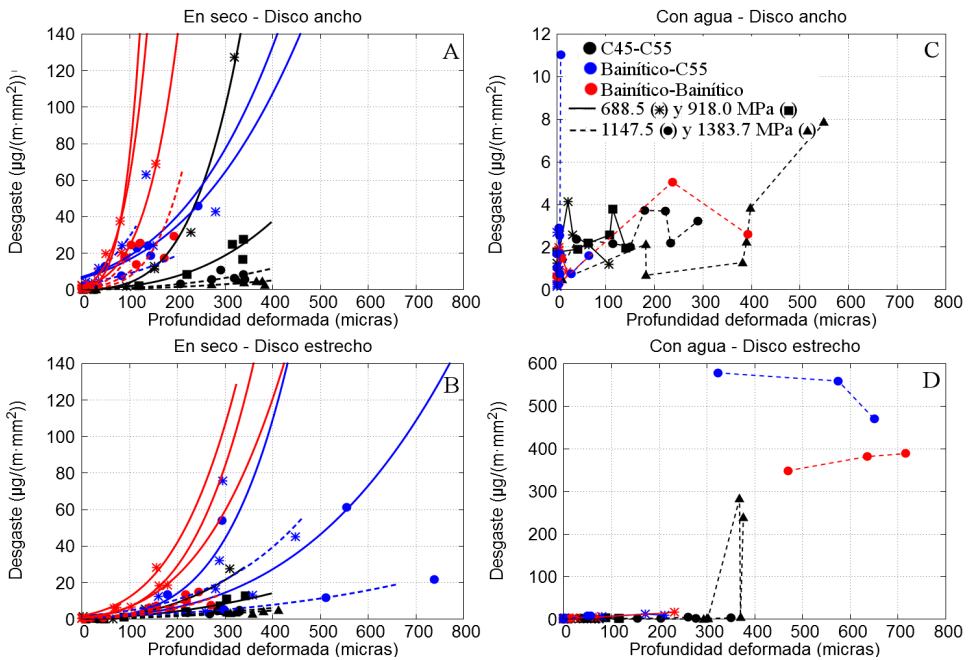


Figura 219.- Relación entre profundidad afectada por deformación plástica y velocidad de desgaste para las distintas presiones y materiales ensayados.

Al igual que en el caso anterior, se aprecia una diferencia de

comportamiento entre los aceros al carbono y los bainíticos, presentando los segundos una velocidad de desgaste notablemente mayor para la misma deformación. Dentro de cada grupo de ensayos las mayores pendientes de las curvas corresponden a las presiones normales más bajas (altas tensiones tangenciales), tanto debido a la pendiente en sí misma como al hecho de que las deformaciones que se pueden llegar a alcanzar son mayores. Este diferente comportamiento implica que el daño que van a sufrir los discos bainíticos, aunque mayor, está muy concentrado en las capas más externas de material.

En cuanto a los ensayos en los que se ha añadido agua al contacto, los mayores valores de desgaste (catastrófico) se encuentran asociados a los discos estrechos y a deformaciones superiores a las 300 micras, pareciendo constituir este valor un punto de inflexión en la respuesta de los discos estrechos fabricados en acero al carbono. Cuando el disco es bainítico o ancho en desgaste se mantiene bajo incluso con deformaciones superiores a las 500 micras. Las razones que se encuentran para esto se centran fundamentalmente en las mismas ya aducidas para explicar el bajo endurecimiento de los discos ensayados con agua cuando la deformación plástica alcanza una notable profundidad, es decir, que éstas se concentran bajo la superficie, de forma que la superficie queda libre de las grandes deformaciones que llevan a la aparición de grietas y al desgaste.

Una gráfica que no puede faltar en el estudio del desgaste es la que relaciona la dureza con la velocidad de desgaste. Esta gráfica es la que corresponde a la figura 220, donde se ha representado la dureza final de los discos tras los ensayos frente al desgaste. La relación más habitual entre el desgaste y la dureza es la ecuación de Archard (ecuación (15)), pero ya se ha comentado que el comportamiento descrito por esta ecuación no es aplicable al desgaste encontrado en los ensayos de rodadura llevados a cabo. La combinación de las funciones (53) y (57) lleva a la obtención de la siguiente relación entre dureza final y desgaste:

$$W = \left[\frac{PD_0}{C_{W1}} \cdot p_H \sqrt{\frac{H - H_0}{H_f - H}} \right]^{C_{W2}} \quad (61)$$

La figura 220 elaborada a partir de esta relación no hace sino

confirmar la imposibilidad de usar la ecuación de Archard, puesto que si esta ecuación predice un menor desgaste al aumentar la dureza, los datos obtenidos muestran por un lado que los aceros bainíticos, más duros, sufren un mayor desgaste y por otro que el aumento de la dureza superficial que se produce durante los ensayos esta asociado a un incremento de la velocidad de desgaste.

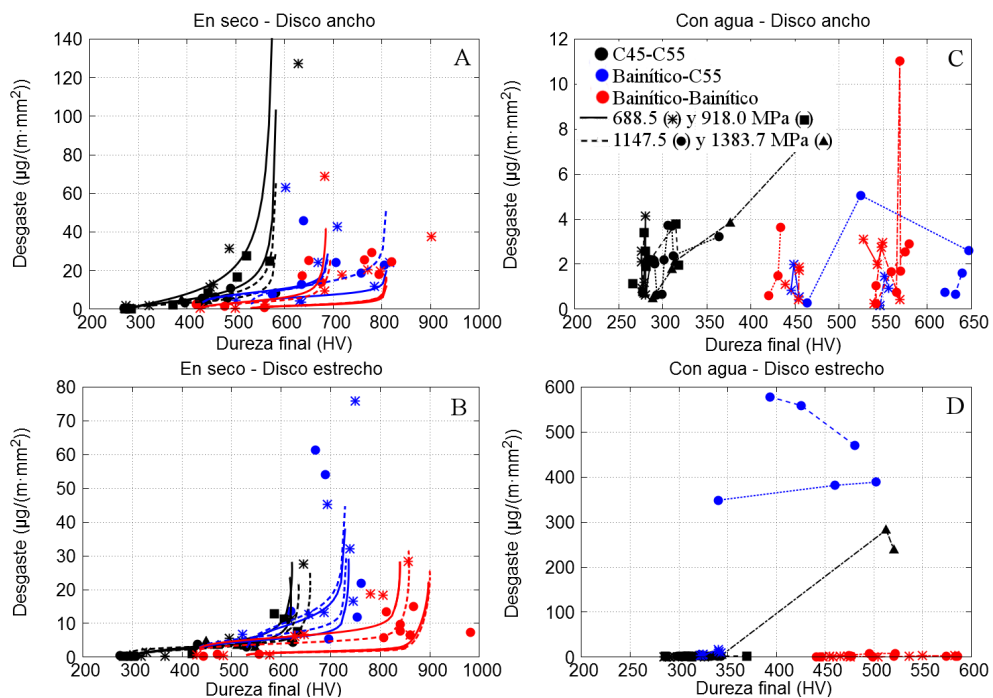


Figura 220.- Desgaste en función de la dureza final.

Esta relación se manifiesta con claridad en la evolución de las curvas representadas, la cual puede dividirse en dos fases. La primera de ellas corresponde al desgaste de tipo severo, en el que el desgaste se mantiene estable pese a que la dureza puede aumentar ostensiblemente. La segunda fase de la curva se corresponde con el desgaste de tipo catastrófico o un desgaste severo muy avanzado, cuando la velocidad de desgaste comienza a aumentar de forma exponencial y se ha alcanzado el límite de endurecimiento. Este comportamiento es lógico si se tiene en cuenta que una vez se alcanza el límite de endurecimiento el material pierde su

capacidad de seguir endureciendo y pasa a estar sometido a ratchetting, circunstancia que se asocia a un fuerte nivel de desgaste debido a que no hay restricción a las deformaciones que pueden aparecer. Los valores del pseudolímite de endurecimiento, tal y como se le llamó en el capítulo 5.5, son independientes de la presión normal, dependiendo básicamente de la dureza inicial del acero y de la geometría del disco (posibilidad o no de deformaciones laterales).

Si se habla de aumentos de dureza, los valores a partir de los cuales el desgaste comienza a entrar en zona catastrófica se sitúan, en función de la dureza inicial y de la geometría de los discos, alrededor de los valores presentados en la siguiente tabla:

| Material | Disco ancho | Disco estrecho |
|------------------|--------------------|-----------------------|
| C45 | 295 HV | - |
| C55 | - | 323 HV |
| Bainítico 430 HV | 250 HV | 290 HV |
| Bainítico 530 HV | 270 HV | 330 HV |

Tabla 42.- Valores aproximados de aumento de dureza a partir de los cuales se alcanzaría un desgaste de tipo catastrófico.

Como puede verse y ya se ha comentado con anterioridad, estos aumentos de dureza son bastante similares entre sí para una geometría dada. Aunque esto lleve a pensar en una escasa influencia del nivel de endurecimiento inicial sobre el aumento de dureza necesario para llegar al pseudolímite de endurecimiento por acritud, tal afirmación es arriesgada y debería ser corroborada por ensayos adicionales y un detallado estudio de los cambios microestructurales asociados a la deformación plástica que tienen lugar en cada caso.

En otro orden de cosas, el mayor incremento de dureza que se precisa en los discos estrechos se debe a que parte del endurecimiento proviene de la deformación plástica lateral que experimenta la superficie de los discos y que no contribuye apreciablemente a la aparición de grietas y a su crecimiento, puesto que su dirección de acción es perpendicular a las

mismas.

En cuanto a los ensayos con agua, nada puede añadirse a lo ya dicho cuando se ha estudiado la relación entre deformación y desgaste, puesto que el mismo comportamiento que allí se ha visto es el que se reproduce también aquí.

Queda por comentar la relación que existe entre la velocidad de desgaste y el aumento de temperatura de los discos ensayados. Esta relación viene dada por la figura 221. En esta figura se ha representado la media de las velocidades de desgaste de ambos discos en contacto frente al incremento de temperatura respecto a la ambiental obtenida en los ensayos escalonados (líneas) y respecto a la obtenida en los ensayos individuales (puntos sueltos).

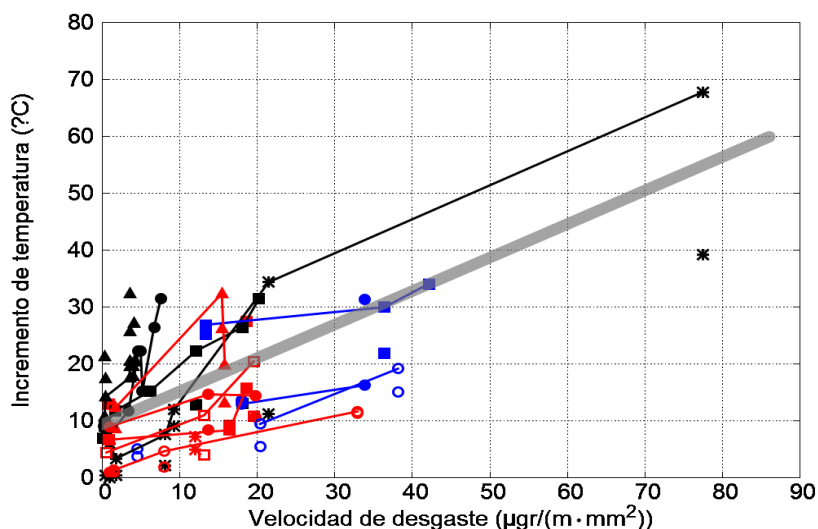


Figura 221.- Relación entre el aumento de temperatura y la velocidad de desgaste.

Dado que es frecuente estudiar el desgaste en base a criterios energéticos, encontrándose frecuentemente una relación lineal entre ambos parámetros, es de esperar que tal relación lineal se repita en este estudio.

En el capítulo 5.8 ya se comentó los problemas asociados a la evaluación de la temperatura superficial de los discos, los cuales dificultaban la comparación entre los distintos resultados, aunque no la

impedían. Pese a este problema, que aquí se plasma en las distintas líneas dibujadas y en la dispersión de los puntos, la tendencia que se observa hace totalmente plausible asumir una dependencia lineal entre la temperatura y el desgaste. Si tal es el caso, los ensayos entre aceros al carbono alcanzarían temperaturas algo superiores a los ensayos en los que al menos uno de los aceros es bainítico. Una justificación a esta circunstancia puede ser que las láminas de cementita de los aceros al carbono ejercen una mejor función como mecanismo retardante de la transmisión del calor que la estructura de tipo bainítico, empeorando ligeramente la evacuación del calor superficial por conducción, que es el principal mecanismo actuante.

A falta de confirmar la diferencia de temperaturas entre los ensayos entre aceros al carbono y el resto con nuevas y más precisas medidas, como media puede estimarse como buena aproximación para el aumento de temperatura la ecuación siguiente, donde la velocidad de desgaste es la correspondiente a la media de la de los dos discos:

$$\Delta \Theta = 9.5 + 0.59 \cdot W \quad (62)$$

Esto supone casi 0.6 °C por cada $\mu\text{g}/\text{m} \cdot \text{mm}^2$ de aumento en la velocidad de desgaste. Evidentemente, esta es una relación empírica, cuya validez queda limitada a los ensayos realizados y a la geometría de los discos usados, aunque puede servir como referencia estimativa en futuros ensayos.

Es también importante como esta recta indica que en ausencia de desgaste, o con desgastes despreciables, va a existir un aumento de temperatura de 9.5°C. Esto no es algo que deba extrañar, puesto que cuando el desgaste es de tipo ligero y prácticamente no se puede medir también existe una cierta cantidad de disipación energética debida al pequeño deslizamiento existente y que se traduce en los cambios oxidativos y de descenso de la rugosidad que tienen lugar en la superficie.

5.10.1.- RESUMEN

De la comparación entre los distintos resultados en seco pueden extraerse las siguientes conclusiones, que complementan a las halladas en los capítulos anteriores para cada uno de los parámetros estudiados:

- La deformación se relaciona con el aumento de dureza de los discos mediante una curva en forma de “S”, siendo los aceros bainíticos los que precisan de menor profundidad de material deformada para endurecer superficialmente una determinada cantidad.
- La velocidad de desgaste se relaciona con la deformación mediante unas curvas exponenciales, siendo los aceros bainíticos los más susceptibles a soportar mayores velocidades de desgaste para una misma profundidad de deformación. Las altas velocidades de desgaste se relacionan siempre con bajas presiones normales.
- El comportamiento descrito en los dos puntos anteriores implica que en los aceros bainíticos la deformación se acumula mucho más en las capas más superficiales.
- El aumento de dureza de los discos no implica un aumento proporcional de la velocidad de desgaste, la cual se mantiene en valores bajos hasta que se alcanza el pseudolímite de endurecimiento. En ese momento la velocidad de desgaste se dispara.
- Los incrementos de dureza asociados al desgaste catastrófico están alrededor de los 270 HV independientemente del material en cuestión para los discos anchos y alrededor de 300 HV para los estrechos.
- El aumento de temperatura de los discos respecto a la ambiental manifiesta una dependencia lineal con la velocidad de desgaste, a razón de casi 0.6°C por $\mu\text{g}/(\text{m}\cdot\text{mm}^2)$. Esta cantidad es un valor medio independiente de las variables de control. El aumento de temperatura puede estimarse en unos 9.5°C para deslizamiento nulo.

6:

CONCLUSIONES

6.- CONCLUSIONES

En este capítulo se presenta un resumen de las conclusiones generales obtenidas en el estudio realizado. Una descripción más detallada de las mismas es la que se da en los apartados finales en cada uno de los capítulos anteriores dedicados a los resultados.

Los resultados generales que pueden extraerse del estudio realizado son las siguientes:

- El uso de aceros al carbono comerciales ha mostrado ser una opción viable y económica para el estudio de la rodadura si se toman determinadas precauciones.
- Se ha caracterizado el comportamiento de los aceros al carbono C45 y C55 frente a la rodadura en un amplio rango de condiciones, comprendiendo variaciones de deslizamiento, presión normal y presencia de agua o aceite en el contacto. Los resultados son comparables a los obtenidos con aceros ferroviarios por otros autores.
- Se ha caracterizado la respuesta de las combinaciones acero al carbono-acero bainítico y acero bainítico-acero bainítico en un rango de condiciones similar al usado para los aceros al carbono.
- De los resultados se extrae que la introducción de aceros bainíticos en el par rodante no mejora la adherencia y empeora el desgaste, aumentando el gasto económico que supondría su uso. La situación más desfavorable se da cuando se combina un acero al carbono con uno bainítico.
- Aunque la diferencia entre los aceros al carbono y los bainíticos son notables, son escasas las que se dan entre los aceros bainíticos de distintas durezas.

A continuación se presentan con más detalle las conclusiones a las que se ha llegado en referencia a los distintos parámetros estudiados.

6.1.- SOBRE EL COEFICIENTE DE TRACCIÓN

- Las curvas de adherencia reproducen el comportamiento teórico, sin que haya pérdida de adherencia una vez se alcanza el máximo, por lo menos hasta el 5% ensayado.
- La estabilización en el tiempo del coeficiente de tracción es más rápida a medida que aumenta la presión normal.
- En las curvas de adherencia la estabilidad se alcanza alrededor del 1% de deslizamiento con presiones normales máximas de 688.5 MPa, aunque se va retrasando al ir aumentando la presión normal. Se estima que a 1383.7 MPa la estabilidad se alcanzaría con deslizamientos superiores al 20%
- El coeficiente de tracción correspondiente a la parte estabilizada de la curva de adherencia se sitúa entre 0.2 y 0.75 para los ensayos en seco, entre 0.13 y 0.4 si se añade agua al contacto y por debajo de 0.1 si se lubrica con aceite.
- Los mayores valores del coeficiente de tracción corresponden a las presiones normales más bajas tanto en seco como con agua o aceite. En todos los casos eso se traduce en un aumento de las tensiones tangenciales.
- El uso de unos u otros materiales no cambia apreciablemente la adherencia que se obtiene, por lo que el uso de unos u otros no afecta a la transmisión de esfuerzos.

6.2.- SOBRE EL ASPECTO SUPERFICIAL DE LOS DISCOS

- El aspecto de los discos tras los ensayos se ha dividido en tres grupos, los cuales se corresponden con los regímenes de desgaste:
 - Grupo 1 (desgaste ligero): En seco la superficie muestra una capa de óxido rojizo. Con agua la superficie puede tener ese mismo aspecto (grupo 1-A) o se pueden ver bandas longitudinales, restos de la capa de óxido inicial (grupo 1-B)
 - Grupo 2 (desgaste severo): En seco la superficie de los discos estrechos aparece limpia y llena de grietas y la de los anchos cubierta de partículas de desgaste adheridas. En agua se aprecian bandas transversales de color oscuro posiblemente relacionadas con el fenómeno del corrugado. En los dos casos hay presencia de grietas.
 - Grupo 3 (desgaste catastrófico): En seco los discos aparecen recubiertos de grietas y un fino polvo de óxido negro en el que se aprecia una fuerte deformación plástica. Con agua la superficie está llena de grandes escamas metálicas todavía sujetas al metal base.
- El grupo 1 corresponde básicamente a deslizamientos inferiores al 0.5%, exceptuando los ensayos entre aceros al carbono y bainíticos, que se engloban casi todos en el grupo 2 o 3.
- En él se engloban el resto de ensayos salvo aquellos con condiciones de contacto extremas. Incluye casi todos los ensayos a muy bajos deslizamientos entre un acero bainítico y el C55.
- El grupo 3 corresponde a siempre a altos deslizamientos, pero a bajas presiones en seco y a altas con agua. Hay dos excepciones: los ensayos entre aceros bainíticos y el C55 con agua. En ese caso a altas presiones el aspecto es del grupo 3 independientemente del deslizamiento.
- En los ensayos con aceite no se producen más cambios que un aplastamiento de la rugosidad inicial.
- El aspecto más deteriorado de los ensayos entre materiales con durezas y microestructuras muy distintas evidencia una peor respuesta frente al desgaste.

6.3.- SOBRE EL DESGASTE

- Los valores de desgaste medidos se sitúan dentro del rango encontrado en bibliografía.
- El mecanismo de desgaste ha sido básicamente la delaminación debida a la aparición de grietas por agotamiento de la deformación plástica superficial.
- Con agua se acelera enormemente el desgaste si el líquido es capaz de penetrar en las grietas. En caso contrario predomina el efecto protector de la lubricación, manteniéndose el desgaste en niveles muy bajos.
- En desgaste ligero la dispersión de las medidas ha sido superior al desgaste propiamente dicho.
- Los valores de desgaste severo han sido inferiores a $80 \mu\text{g}/(\text{m}\cdot\text{mm}^2)$ en seco y a $100 \mu\text{g}/(\text{m}\cdot\text{mm}^2)$ en agua.
- Los valores correspondientes a desgaste catastrófico alcanzan los $130 \mu\text{g}/(\text{m}\cdot\text{mm}^2)$ en seco y casi $600 \mu\text{g}/(\text{m}\cdot\text{mm}^2)$ con agua.
- La presencia de aceite en el contacto ha preservado los discos del desgaste.
- El desgaste catastrófico está asociado a altas tensiones tangenciales y bajas presiones normales en el caso de los ensayos en seco y a altas tensiones tangenciales y normales en el caso de los ensayos con agua, cuando ésta logra penetrar en las grietas.
- La velocidad se relaciona con el definido como "parámetro de daño" mediante una función potencial.
- En seco el desgaste aumenta al bajar la presión normal, cuando se usan aceros bainíticos y también es mayor en los discos anchos que en los estrechos.
- Con agua no se detecta ninguna influencia clara de la presión normal, de la geometría de los discos o del material, aunque es cierto que el desgaste catastrófico solamente aparece en los estrechos fabricados en acero al carbono.
- Los resultados obtenidos predicen la inviabilidad económica de usar aceros con alto contenido en carbono y tratamiento bainítico como

aceros ferroviarios, puesto que su mayor desgaste lleva a la necesidad de un mayor mantenimiento.

6.4.- SOBRE LA DEFORMACIÓN SUBSUPERFICIAL

- La profundidad de material afectado por deformaciones plásticas muestra una relación que puede considerarse lineal con las tensiones tangenciales.
- Las máximas deformaciones medidas en los ensayos entre aceros al carbono se sitúan habitualmente por debajo de las 400 micras, tanto en seco como con agua.
- En los ensayos entre aceros bainíticos y el acero C55 la deformación del bainítico se reduce a 200 micras y la del acero al carbono (disco estrecho) se eleva, pudiendo acercarse a las 800 micras.
- La deformación encontrada en los ensayos entre aceros bainíticos es sensiblemente menor a la que se da en los aceros al carbono, reduciéndose a 200 micras en seco y a 20 micras con agua.
- La lubricación con aceite evita la aparición de deformaciones superficiales al reducir al mínimo las tensiones tangenciales.
- En los ensayos en seco el perfil de deformaciones presenta un máximo en la superficie. Ese máximo se traslada bajo la superficie en los ensayos con agua.
- En los discos estrechos aparece además de la longitudinal, una deformación lateral que está restringida en los discos anchos. Pese a ello, la profundidad alcanzada por las deformaciones plásticas no parece depender de la geometría de los discos.

6.5.- SOBRE EL ENDURECIMIENTO

- Salvo los ensayados con aceite o a muy bajos deslizamientos, todos los discos experimentan un endurecimiento por acritud de similar magnitud, independientemente del material con el que estén fabricados.
- En seco los aceros al carbono pueden llegar a endurecer más de 400HV en las condiciones más desfavorables, aunque lo normal es que su máximo aumento de dureza se sitúe por debajo de 350 HV.
- El endurecimiento se relaciona mediante una curva logística con forma de “S” con el parámetro de daño.
- Los valores del parámetro de daño a partir de los cuales aparece un rápido endurecimiento se sitúan entre 270 y 450 MPa.
- El nivel de endurecimiento de los discos estrechos ha sido mayor que el de los anchos al existir además de una acritud relacionada con la deformación longitudinal otra provocada por la deformación lateral.
- En muchos de los ensayos realizados se ha alcanzado el pseudolímite de acritud, aunque ello no ha supuesto la aparición de un desgaste de tipo catastrófico.
- Con agua el endurecimiento superficial es prácticamente inexistente salvo cuando el agua llega a penetrar en las grietas y aparece desgaste catastrófico. La razón de esto es que las máximas deformaciones tienen lugar bajo la superficie y no en ella.

6.6.- SOBRE LA RUGOSIDAD

- A bajos deslizamientos, cuando el daño superficial es escaso predomina el aplastamiento de la rugosidad.
- Al empeorar las condiciones de contacto la rugosidad vuelve a aumentar debido a la aparición de grietas y se superan los valores iniciales.
- Los valores de rugosidad se relacionan mediante una recta creciente con el parámetro de daño.
- La presión normal no parece influir en la rugosidad una vez han aparecido grietas en la superficie.
- En los discos anchos la rugosidad varía principalmente entre 0.5 y 1.5 micras. En los estrechos suele situarse por debajo de 0.8 micras.
- En seco, en los discos anchos la rugosidad es mayor debido a que las partículas de desgaste se clavan en el carril de rodadura generando hoyos y surcos.
- Con agua la rugosidad se mantiene en niveles bajos hasta que se llega al desgaste catastrófico y aparecen grandes escamas que elevan su valor hasta superarse el rango de medida del rugosímetro usado.

6.7.- SOBRE LA APARICIÓN DE GRIETAS

- Las grietas encontradas son superficiales y siguen las líneas de deformación plástica.
- Los aceros bainíticos presentan mayor cantidad de grietas que los aceros al carbono, posiblemente debido a su menor tenacidad.
- Vistas sobre la superficie aparecen orientadas transversalmente, frecuentemente deformadas en seco y con signos de oxidación si el ensayo se hizo con agua. La rotura de la lengua superior de la grieta deja una marca en forma de vieira.
- Además de los mecanismos clásicos de fatiga y agotamiento de la plasticidad la aparición y crecimiento de las grietas se ve favorecida por:
 - La aparición de estructuras bandeadas en la zona deformada, que constituyen áreas de fácil descohesión.
 - Alargamiento de las lenguas que constituyen la parte superior de las grietas por aplastamiento y estirado debido a la deformación plástica.
 - Adherencia con la superficie del disco opuesto, que tira del material superior de la grieta.
- Con agua y si la longitud de las grietas permite que ésta penetre en su interior, su crecimiento se acelera notablemente debido a la presión hidrostática que aparece, aumentando la penetración de las grietas hacia el interior y dando origen a una serie de ramificaciones.

6.8.- SOBRE EL AUMENTO DE TEMPERATURA SUPERFICIAL

- El aumento de la temperatura superficial cerca de la banda de rodadura respecto a la temperatura ambiental muestra una correlación lineal con la velocidad de desgaste.
- No se han encontrado evidencias claras de la influencia de otros parámetros.
- El aumento de temperatura puede estimarse en casi $0.6 \text{ }^{\circ}\text{C}/(\mu\text{g}/(\text{m}\cdot\text{mm}^2))$.
- Con desgastes nulos es de esperar aumentos de temperatura cercanos a 10°C .
- Los máximos aumentos de temperatura registrados han sido inferiores a 70°C y las máximas potencias disipadas de 25 W , sin que exista una relación directa entre ambos parámetros.

6.9.- SOBRE LA EMISIÓN ACÚSTICA

- La colocación del sensor de emisión acústica sobre la mesa deslizante del equipo de ensayos no ha proporcionado la información esperada sobre el proceso de rodadura.
- Pese a ello es posible identificar cambios en los niveles de emisión que se corresponden con los cambios en el valor del deslizamiento.
- También se ha encontrado que puede asociarse un mayor nivel de emisión acústica a mayores presiones normales, aunque debe confirmarse su relación con la rodadura.
- Aunque en este caso no se han obtenido los resultados esperados, ensayos previos a la tesis realizados para estudiar fenómenos tribológicos han mostrado que la técnica es perfectamente válida para obtener valiosa información sobre estos fenómenos.

6.10.- MEJORA DE LOS ENSAYOS

Los siguientes puntos resumen una serie de medidas que, en vista de la experiencia adquirida, ayudarán a mejorar futuros ensayos:

- El uso de, por lo menos, un sensor adicional de temperatura colocado en la cara interna de los discos o en el centro del eje puede proporcionar los datos necesarios para hacer un estudio mucho más adecuado de la generación de calor en el contacto y su disipación.
- Construir una bancada de mayor rigidez para el equipo evitará buena parte de las vibraciones que afectan al equipo y que generan una gran cantidad de ruido en algunas de las medidas de fuerza y par.
- Para el disco estrecho sería mejor emplear la geometría usada por Dou [49], lo que impedirá la elevada deformación lateral que aparece en los discos estrechos en algunos casos.

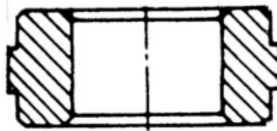


Figura 222.- Geometría empleada por Dou en sus ensayos de discos gemelos [49].

Por otra parte, también es de interés un estudio exhaustivo sobre la influencia de la geometría en la deformación que aparece y el desgaste asociado.

- Los variadores de frecuencia usados para controlar la velocidad de los motores tienen la posibilidad de ser controlados por cable de forma remota. Hacerlo así puede permitir un arranque totalmente simultáneo de los motores y mejorar el comportamiento de los ensayos durante sus primeros segundos.
- Si se desea recoger datos de emisión acústica, debe tenerse en cuenta que no es posible detectar las señales provenientes de los discos. En cualquier caso, se recomienda colocar el sensor fuera de la mesa deslizante y lo más cerca posible de los discos.
- La extensión de los ensayos más allá de un 5% de deslizamiento en los casos en los que la curva de adherencia todavía no se había estabilizado

a ese deslizamiento posibilitaría la obtención de curvas de adherencia completas.

- Por razones similares, es preciso también usar deslizamientos del 5% o más, superiores al máximo del 2% empleado, para verificar las sospechas de que se llegue a desgaste catastrófico cuando se ensayan dos aceros bainíticos entre sí.

6.11.- INVESTIGACIONES FUTURAS

Preciso es dar unas notas sobre las ventanas abiertas por este trabajo a líneas de trabajo que presenten el potencial de aportar adelantos en el conocimiento del sistema rueda-raíl. Los temas que el autor ve más conveniente seguir estudiando son:

- Acumulación de deformación subsuperficial y aparición de grietas. Dado que es la aparición de grietas la principal causa de un desgaste elevado, es primordial conocer las causas que llevan a su aparición, más relacionadas con la acumulación unidireccional de deformación plástica, endurecimiento y alineamiento microestructural que con los mecanismos clásicos de fatiga.
- Influencia del agua en el crecimiento de grietas. Se sabe que, en rodadura, el agua puede acelerar el crecimiento de una grieta y hay una teoría bastante aceptada sobre como lo hace pero, ¿a partir de qué tamaño de grieta? ¿en qué condiciones?.
- Influencia de la presencia de agua en las deformaciones subsuperficiales, ya que se ha visto que a igualdad en los valores de tensiones tangenciales y normales teóricas, los perfiles obtenidos han sido distintos en agua y en seco.
- Influencia de la presencia de agua en el corrugado de los raíles. La aparición de bandas transversales en los ensayos con agua puede tener relación con el fenómeno de la corrugación de raíles. Se trata de una pista que merece la pena seguir.
- Influencia de la geometría en el desgaste. Las diferencias en la respuesta que han tenido los dos discos en contacto hace pensar en que la geometría puede tener una elevada importancia en la respuesta del material. Más allá de pequeñas variaciones en la geometría de los raíles, es importante conocer hasta donde llega esta influencia.
- Regímenes de desgaste. Aunque habitualmente se ha usado la energía liberada en el contacto como parámetro para clasificar los distintos regímenes de desgaste, se ha visto que es mucho más acertado emplear la fuerza tangencial o alguna modificación de la misma. Más cantidad de ensayos y con más combinaciones de materiales puede ser el camino

para concretar la definición de este parámetro y establecer una ley de desgaste más completa que la propuesta.

- Partículas de desgaste. Un estudio detallado de la morfología y las características de las partículas de desgaste puede aportar información interesante sobre los procesos de crecimiento de grieta, máxime cuando se ha visto que en ellas pueden quedar grabadas las marcas de crecimiento de grieta.
- Influencia de la microestructura en el agrietamiento y desgaste. Se ha visto que el comportamiento de los aceros con tratamiento de temple bainítico en lo referente al desgaste es distinto al de los aceros al carbono, con mayor presencia de grietas en las capas más externas de los discos. Un estudio de la influencia de la microestructura en el crecimiento de las grietas es indispensable para conocer las razones de este comportamiento.
- Endurecimiento y microestructura. El estudio de los cambios microestructurales que se producen en cada tipo de material puede aportar datos sobre el nivel de endurecimiento que alcanza cada uno de los materiales.

6.12.- ARTÍCULOS RELACIONADOS CON LA TESIS

A continuación se relacionan una serie de artículos publicados en congresos y revistas científicas relacionados directa o indirectamente con la tesis. Gran parte de ellos corresponden a trabajos realizados previamente para estudiar la aplicabilidad de la emisión acústica en estudios tribológicos.

Nuevos artículos serán publicados en un futuro cercano.

- C. Ferrer, F. Salas y otros. “Aplicación de la emisión acústica para la justificación de los mecanismos de rozamiento estático y dinámico entre el acero de alta embutibilidad según UNE-10130 y un acero templado”. IX Congreso Nacional de Materiales. 2006.
- C. Ferrer, F. Salas, M. Pascual y otros. “Uso de la técnica de emisión acústica para detectar cambios en el régimen de rozamiento entre un acero de embutición DC05 y un inoxidable AISI-420”. XI congreso español de END. 2007.
- C. Ferrer, F. Salas y M. Pascual. “Señales de emisión acústica detectadas durante la transición de rozamiento estático a dinámico en un ensayo de stick-slip”. V Congreso Ibérico de Tribología. 2009.
- C. Ferrer, F. Salas y otros. “Discrete acoustic emission waves during stick-slip friction between steel samples”. Tribology international, vol. 43, nº 1-2, pp. 1-6. 2010.
- C. Ferrer, A. Corbí y F. Salas. “Aplicaciones de la emisión acústica con el objeto de investigar los procesos de deformación plástica, fricción y adhesión”. Revista AEND, nº 50, pp. 20-26. 2010.
- V. Amigó, F. Salas y otros. “Emisión acústica y distribución de tensiones en procesos de stick-slip: Influencia de la rigidez del sistema”. VI Congreso Ibérico de Tribología. 2011.
- C. Ferrer, F. Salas, V. Amigó. “Análisis de distribución de tensiones bidimensionales en los procesos de stick-slip mediante emisión acústica”. Revista AEND, nº 55 p. 40-52. 2011.
- C. Ferrer, F. Salas y V. Amigó. “Aumento de temperatura en ensayos de disco gemelo y relación con el coeficiente de fricción”. VI Congreso Ibérico de Tribología. 2011.

- C. Ferrer, F. Salas, A. Corbí y V. Amigó. “Monitorización indirecta de sistemas tribológicos mediante el uso de la técnica de emisión acústica”. XII Congreso español de END. 2012.
- A. Rovira, P. Salvador, J. Carballeira y F. Salas. “Wear created by the Wheel-Rail Contact in Different Rail Vehicles”. Railways conference. 2014.
- F. Salas, A. Rovira, V. Amigó y otros. “Influence of Normal Pressure and Slip in Surface Hardening in Twin-Disc Tests”. Railways conference. 2014.

7:

BIBLIOGRAFÍA

7.- **BIBLIOGRAFÍA**

- [1] M. Vidaud, E. Litep, and W. Zwanenburg, “Current situation on rolling contact fatigue – a rail wear phenomenon,” in *9th Swiss Transport Research Conference*, 2009.
- [2] J. W. Ringsberg, M. Loo-morrey, and B. L. Josefson, “Prediction of fatigue crack initiation for rolling contact fatigue,” *Int. J. Fatigue*, vol. 22, pp. 205–215, 2000.
- [3] J. Kalousek, “Wheel/rail damage and its relationship to track curvature,” *Wear*, vol. 258, no. 7–8, pp. 1330–1335, Mar. 2005.
- [4] A. Kapoor, A. E. Beagles, and R. Allen, “Management and understanding of rolling contact fatigue,” 2006.
- [5] K. J. Sawley, “Railway wheelset metallurgy,” in *Railway Division Wheelset Seminar*, 1989.
- [6] J. Tunna, J. Sinclair, and J. Perez, “A review of wheel wear and rolling contact fatigue,” *Proc. Inst. Mech. Eng. Part F J. Rail Rapid Transit*, vol. 221, no. 2, pp. 271–289, Jan. 2007.
- [7] D. Meccanica, P. Milano, I. Meccanica, and U. Brescia, “Deep shelling in railway wheels,” in *13th International Wheelset Congress*, 2001.
- [8] M. Clarke, “Wheel rolling contact fatigue (RCF) and rim defects investigation,” 2008.
- [9] K. M. Lee and A. a. Polycarpou, “Wear of conventional pearlitic and improved bainitic rail steels,” *Wear*, vol. 259, no. 1–6, pp. 391–399, Jul. 2005.
- [10] K. Mädler, A. Zoll, R. Heyder, and M. Brehmer, “Rail Materials - Alternatives and Limits,” in *8th World Congress on Railway Research*, 2008, pp. 1–9.
- [11] P. Clayton and N. Jin, “Unlubricated sliding and rolling/sliding wear behavior of continuously cooled, low/medium carbon bainitic steels,” *Wear*, vol. 200, no. 1–2, pp. 74–82, Dec. 1996.
- [12] V. V. Tyagnii, a. P. Stovpchenko, L. V. Chuprina, G. a. Pol’skii, Y. N. Grishchenko, and a. D. Rozhkova, “Current trends in the production

- of railroad wheels and the effect of out-of-furnace treatment of the steel on their properties,” *Metallurgist*, vol. 50, no. 7–8, pp. 426–432, Jul. 2006.
- [13] A. Ekberg and P. Sotkovszki, “Anisotropy and rolling contact fatigue of railway wheels,” *Int. J. Fatigue*, vol. 23, pp. 29–43, 2001.
- [14] Y. Jiang and H. Sehitoglu, “A model for rolling contact failure,” *Wear*, vol. 224, no. 1, pp. 38–49, Jan. 1999.
- [15] P. D. Cassidy, “A new wheel material for the new century,” in *13th International Wheelset Congress*, 2001.
- [16] K. Mädler, “Zur eignung von ADI als alternativer Radwerkstoff,” in *Tagungsband zum ZIATF technical forum*, 1999, pp. 440–447.
- [17] F. T. Barwell, “The tribology of wheel on rail,” *Tribology*, vol. 7, no. 4, pp. 146–150, Aug. 1974.
- [18] “Reevaluating the wheel,” *Eur. rail outlook*, vol. September, pp. 2–8, 2006.
- [19] M. Kuna, M. Springmann, K. Mädler, P. Hübner, and G. Pusch, “Fracture mechanics based design of a railway wheel made of austempered ductile iron,” *Eng. Fract. Mech.*, vol. 72, no. 2, pp. 241–253, Jan. 2005.
- [20] F. Walther and D. Eifler, “Local cyclic deformation behavior and microstructure of railway wheel materials,” *Mater. Sci. Eng. A*, vol. 387–389, pp. 481–485, Dec. 2004.
- [21] T. Uic-codex, E. S. En, T. European, S. En, T. E. Standard, and A. E. Railroads, “Comparison of UIC 860-O and EN 13674-1.” Voestalpine, 2006.
- [22] L. I. Xiao-fei, P. Langenberg, S. Münstermann, and W. Bleck, “Recent Developments of Modern Rail Steels,” in *HSLA Steels 2005 and ISUGS 2005*, 2005, vol. 2.
- [23] K. Sawley and J. Kristan, “Development of bainitic rail steels with potential resistance to rolling contact fatigue,” *Fatigue Fract. Eng. Mater. Struct.*, vol. 26, pp. 1019–1029, 2003.
- [24] P. Clayton, “Tribological aspects of wheel-rail contact: a review of

- recent experimental research,” *Mater. Sci.*, vol. 191, pp. 170–183, 1996.
- [25] K. M. y A. K. M. Ueda, K. Uchino, “Development of HE rails with high wear and damage resistance for heavy raul railways,” 2002.
- [26] M. Takikawa and Y. Iriya, “Laboratory simulations with twin-disc machine on head check,” *Wear*, vol. 265, no. 9–10, pp. 1300–1308, Oct. 2008.
- [27] F. J. Franklin, G.-J. Weeda, a. Kapoor, and E. J. M. Hiensch, “Rolling contact fatigue and wear behaviour of the infrastar two-material rail,” *Wear*, vol. 258, no. 7–8, pp. 1048–1054, Mar. 2005.
- [28] M. Hiensch, P.-O. Larsson, O. Nilsson, D. Levy, A. Kapoor, F. Franklin, J. Nielsen, J. W. Ringsberg, and B. L. Josefson, “Two-material rail development: field test results regarding rolling contact fatigue and squeal noise behaviour,” *Wear*, vol. 258, no. 7–8, pp. 964–972, Mar. 2005.
- [29] A. J. Bevan, “Effect of diferential hardness on wheel/rail wear - literature survey,” *LR MT 006, BR Res.*, 1993.
- [30] “Ueber die Berührung fester elastischer Körper.,” *Journal für die reine und angewandte Mathematik (Crelle’s Journal)*, vol. 1882. 1882.
- [31] S. Iwnicki, *Handbook of railway vehicle dynamics*. 2006.
- [32] K. L. Johnson and J. a Greenwood, “An approximate JKR theory for elliptical contacts,” *J. Phys. D. Appl. Phys.*, vol. 38, no. 7, pp. 1042–1046, Apr. 2005.
- [33] Timoshenko S. y Goodier J.N., *Teoria de la elasticidad*, 1st ed. Palo Alto, California: McGraw-Hill, 1934.
- [34] F. W. Carter, “On the Action of a Locomotive Driving Wheel,” *Proceedings of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*, vol. 112. pp. 151–157, 1926.
- [35] S. Iwnicki, “Simulation of wheel – rail contact forces,” *Fatigue Fract. Eng. Mater. Struct.*, vol. 26, pp. 887–900, 2003.
- [36] D. I. Fletcher and J. H. Beynon, “Development of a Machine for Closely Controlled Rolling Contact Fatigue and Wear Testing,” *J.*

Bibliografía

- Test. Eval.*, vol. 28, no. 4, pp. 267–275, 2000.
- [37] C. Pritchard, “Brakes and wheel/rail adhesion,” in *International Conference on Railway Braking*, 1979, no. September 1979, p. 1.
- [38] O. Arias-cuevas and Z. Li, “Low Adhesion in the Contact between Wheel and Rail,” 2008, pp. 1–10.
- [39] D. J. Haines and E. Ollerton, “Contact stress distributions on elliptical contact surfaces subjected to radial and tangential forces,” *Proc. Instn. Mech. Engrs. Part E*, vol. 177, p. 95, 1963.
- [40] C. Ferrer and V. Amigó, *Tecnología de materiales*. Valencia: Editorial UPV, 2003.
- [41] J. J. Kalker, *Three-dimensional elastic bodies in rolling contact*, 2nd ed. Kluwer Academic Publishers, 1990.
- [42] B. Jacobson and J. J. Kalker, *Rolling contact phenomena*. Springer Wien New York, 2000.
- [43] T. A. Stolarski and S. Tobe, *Rolling contacts*. Professional Engineering Publishing, 2000.
- [44] V. K. Garg and R. V. Dukkipati, *Dynamics of railway vehicles*. Academic press, 1984.
- [45] J.-C. Alacoque and P. Chapas, “Transport ferroviaire : gestion de l’adhérence,” 2006.
- [46] O. Polach, “A Fast Wheel-Rail Forces Calculation Computer Code,” in *PROCEEDINGS OF THE 16TH IAVSD SYMPOSIUM*, 1999.
- [47] O. Polach, “Influence of Locomotive Tractive Effort on the Forces Between Wheel and Rail,” *Veh. Syst. Dyn. Suppl.*, no. 35, pp. 7–22, 2001.
- [48] O. Polach, “Creep forces in simulations of traction vehicles running on adhesion limit,” *Wear*, vol. 258, no. 7–8, pp. 992–1000, Mar. 2005.
- [49] P. Dou, S. Suo, Z. Yang, Y. Li, and D. Chen, “Ratcheting short crack behavior in medium carbon bainitic back-up roll steel under mild tractive rolling contact,” *Wear*, vol. 268, no. 1–2, pp. 302–308, Jan. 2010.

- [50] H. Harrison, T. McCanney, and J. Cotter, "Recent developments in coefficient of friction measurements at the rail/wheel interface," *Wear*, vol. 253, no. 1–2, pp. 114–123, Jul. 2002.
- [51] a. Rovira, a. Roda, R. Lewis, and M. B. Marshall, "Application of Fastsim with variable coefficient of friction using twin disc experimental measurements," *Wear*, vol. 274–275, pp. 109–126, Jan. 2012.
- [52] K. Baek, K. Kyogoku, and T. Nakahara, "An experimental investigation of transient traction characteristics in rolling–sliding wheel/rail contacts under dry–wet conditions," *Wear*, vol. 263, no. 1–6, pp. 169–179, Sep. 2007.
- [53] L. Bureau, T. Baumberger, C. Caroli, and O. Ronsin, "Low velocity friction between macroscopic solids," *Comptes Rendus l'Academie des Sci. IV—Physics*, vol. 2, no. 5C, pp. 699–707, 2001.
- [54] M. Pau, "Estimation of real contact area in a wheel-rail system by means of ultrasonic waves," *Tribol. Int.*, vol. 36, no. 9, pp. 687–690, Sep. 2003.
- [55] J. Jergéus, C. Odenmarck, R. Lundén, and P. Gullers, "Full-scale railway wheel flat experiments," *Proc. Instn. Mech. Engrs. Part F J. Rail Rapid Transit*, vol. 213, pp. 1–13, 1999.
- [56] H. Lagneau, "Wheel Safety." European Rail Research Institute, pp. 3–4, 2001.
- [57] H. Chen and T. Nakahara, "A fundamental study on effect of rust upon adhesion coefficient between wheel and rail," *RTRI Rep.*, vol. 21, no. 12, pp. 1–10, 2007.
- [58] A. Lari, A. Kapoor, and F. Schmid, "An investigation to the combination effect of contact mechanics and operational aspects on the wheel wear rate and patterns of rail vehicles," in *Railway engineering*, 2005.
- [59] P. Bolton, "Wear of six rail steels in rolling/sliding contact with class 'D' tyre steel," in *TM MF 20*, 1981.
- [60] D. I. Fletcher and S. Lewis, "Creep curve measurement to support wear and adhesion modelling, using a continuously variable creep twin

- disc machine,” *Wear*, vol. 298–299, pp. 57–65, Feb. 2013.
- [61] S. Cummings, “Findings of the Wheel Defect Prevention Research Consortium,” in *MARTS Technical Conference*, 2008.
- [62] N. Tassini, X. Quost, R. Lewis, R. Dwyer-Joyce, C. Ariaudo, and N. Kuka, “A numerical model of twin disc test arrangement for the evaluation of railway wheel wear prediction methods,” *Wear*, vol. 268, no. 5–6, pp. 660–667, Feb. 2010.
- [63] R. Lewis, U. Olofsson, and R. I. Hallam, “Wheel Material Wear Mechanisms and Transitions,” in *14th International wheelset congress*, 2005, pp. 17–21.
- [64] I. J. McEwen and F. Harvey, “Interpretation of wheel/rail wear numbers,” 1986.
- [65] M. Buerstow, S. Price, and J. Stow, “A report on the vehicle track interaction on the c2c line,” 2004.
- [66] A. Kapoor, K. L. Johnson, and J. A. Williams, “A model for mild ratcheting wear of metals,” *Wear*, vol. 200, pp. 38–44, 1996.
- [67] J. H. Beynon, J. E. Garnham, and K. J. Sawley, “Rolling contact fatigue of three pearlitic rail steels,” *Wear*, vol. 192, no. 1–2, pp. 94–111, Mar. 1996.
- [68] T. G. Pearce and N. D. Sherratt, “Prediction of wheel wear profile,” *Wear*, vol. 144, pp. 343–351, 1991.
- [69] R. Lewis, F. Braghin, A. Ward, S. Bruni, and R. Dwyer-Jones, “Integrating dynamics and wear modelling to predict railway wheel profile evolution,” in *6th International Conference on Contact mechanics and Wear of Rail/Wheel Systems*, 2003.
- [70] P. Bolton, P. J. Clayton, “Rolling sliding wear damage in rail and tyre steels,” *Wear*, no. 93, pp. 145–165, 1984.
- [71] F. Braghin, R. Lewis, R. S. Dwyer-Joyce, and S. Bruni, “A mathematical model to predict railway wheel profile evolution due to wear,” *Wear*, vol. 261, no. 11–12, pp. 1253–1264, Dec. 2006.
- [72] W. Kik, R. Menssen, and D. Moelle, “Kräfte und verschleiß in der wendeschleife und im abzweig einer weiche,” in *Innotrans*, 2002.

- [73] R. Enblom and M. Berg, "Emerging engineering models for wheel/rail wear simulation," in *Railway engineering*, 2005.
- [74] a. Ramalho, M. Esteves, and P. Marta, "Friction and wear behaviour of rolling–sliding steel contacts," *Wear*, vol. 302, no. 1–2, pp. 1468–1480, Apr. 2013.
- [75] T. Telliskivi, "Simulation of wear in a rolling–sliding contact by a semi-Winkler model and the Archard's wear law," *Wear*, vol. 256, no. 7–8, pp. 817–831, Apr. 2004.
- [76] P. Clayton and D. Danks, "Effect of interlamellar spacing on the wear resistance of eutectoid steels under rolling-sliding conditions," *Wear*, vol. 135, no. 2, pp. 369–389, Jan. 1990.
- [77] A. J. Bevan, "Development of anti-RCF wheel profile," 2005.
- [78] T. Jendel, "Prediction of wheel profile wear—comparisons with field measurements," *Wear*, vol. 253, no. 1–2, pp. 89–99, Jul. 2002.
- [79] A. D. Sarkar, *Friction and Wear*. Londres: Academic press, 1980.
- [80] V. Hegadekatte, S. Kurzenhäuser, N. Huber, and O. Kraft, "A predictive modeling scheme for wear in tribometers," *Tribol. Int.*, vol. 41, no. 11, pp. 1020–1031, Nov. 2008.
- [81] A. Kapoor and F. J. Franklin, "Tribological layers and the wear of ductile materials," *Wear*, vol. 245, pp. 204–215, 2000.
- [82] F. a. M. Alwahdi, a. Kapoor, and F. J. Franklin, "Subsurface microstructural analysis and mechanical properties of pearlitic rail steels in service," *Wear*, vol. 302, no. 1–2, pp. 1453–1460, Apr. 2013.
- [83] A. Ekberg and J. Marais, "Effects of imperfections on fatigue initiation in railway wheels," *Proc. Instn. Mech. Engrs. Part F J. Rail Rapid Transit*, vol. 214, pp. 45–54, 2000.
- [84] A. Blarasin, T. Giunti, P. Gatti, and P. Vanolo, "An approach for fatigue analysis of railway vehicles," in *13th International Wheelset Congress*, 2001, no. September.
- [85] R. Deuce, "Wheel tread damage," 2007.
- [86] J. W. Ringsberg, "Shear mode growth of short surface-breaking RCF

- cracks,” *Wear*, vol. 258, no. 7–8, pp. 955–963, Mar. 2005.
- [87] A. Ekberg and E. Kabo, “Fatigue of railway wheels and rails under rolling contact and thermal loading—an overview,” *Wear*, vol. 258, no. 7–8, pp. 1288–1300, Mar. 2005.
- [88] L. Wang, a Pyzalla, W. Stadlbauer, and E. . Werner, “Microstructure features on rolling surfaces of railway rails subjected to heavy loading,” *Mater. Sci. Eng. A*, vol. 359, no. 1–2, pp. 31–43, Oct. 2003.
- [89] J. Ahlstrom and B. Karlsson, “Microstructural evaluation and interpretation of the mechanically and thermally affected zone under railway wheel flats,” *Wear*, vol. 232, pp. 1–14, 1999.
- [90] A. A. Torrance and A. Cameron, “Surface transformations in scuffing,” *Wear*, vol. 28, no. 3, pp. 299–311, 1974.
- [91] A. R. Savkoor and H. Ouwkerk, “Tribological transitions due to heat dissipation contaminated rails,” *Wear*, vol. 181–183, pp. 391–396, 1995.
- [92] J. Jerges, “Railway Wheel Flats. Martensite Formation, Residual Stresses, and Crack Propagation,” Chalmers tekniska högskola, 1998.
- [93] a. Pyzalla, L. Wang, E. Wild, and T. Wroblewski, “Changes in microstructure, texture and residual stresses on the surface of a rail resulting from friction and wear,” *Wear*, vol. 251, no. 1–12, pp. 901–907, Oct. 2001.
- [94] W. Stadlbauer, “Bainitic Steels for Rails, Dissertation, TU Munich (2001) and VDI-Fortschrittberichte,” *Reihe*, vol. 5, no. 655, 2002.
- [95] J. F. Archard and R. A. Rowntree, “Metallurgical phase transformations in the rubbing of steels,” *Proc. R. Soc. Lond. A*, vol. 418, pp. 405–424, 1988.
- [96] K. J. Sawley, “Calculation of temperatures in a sliding wheel/rail system and implications for wheel steel development,” *Proc. Inst. Mech. Eng. Part F J. Rail Rapid Transit*, vol. 221, no. 4, pp. 455–464, Jan. 2007.
- [97] A. Ekberg, E. Kabo, and H. Andersson, “Predicting rolling contact fatigue of railway wheels,” in *13th International Wheelset Congress*,

- 2001, pp. 1–7.
- [98] F. Demilly, B. Tullies, and C. Sainte Catherine, “Micrographic cleanness in railway wheels. Its measurement, its influence on crack initiation in fracture mechanics.pdf,” in *11th International Wheelset Congress*, 1995, pp. 51–69.
- [99] A. Kapoor, “Wear-fatigue interaction and maintenance strategies,” in *Why failures occur in the wheel-rail system*, 2001.
- [100] B. D.J., W. Dalzell, and P. J. Thayer, “Non-destructive residual stress measurement in rail heads and rolling contact fatigue,” *Insight*, vol. 44, no. 6, pp. 364–368, 2002.
- [101] J. Ringsberg, “Life prediction of rolling contact fatigue crack initiation,” *Int. J. Fatigue*, vol. 23, no. 7, pp. 575–586, Aug. 2001.
- [102] K. J. Miller, “The short crack problem,” *Fatigue Eng. Mater. Struct.*, vol. 5, pp. 223–232, 1982.
- [103] F. D. Fischer, W. Daves, R. Pippan, and P. Pointner, “Some comments on surface cracks in rails,” *Fatigue Fract. Eng. Mater. Struct.*, vol. 29, no. 11, pp. 938–948, Nov. 2006.
- [104] C. Hardwick, R. Lewis, and D. T. Eadie, “Wheel and rail wear—Understanding the effects of water and grease,” *Wear*, vol. 314, no. 1–2, pp. 198–204, Jun. 2014.
- [105] A. Kapoor, “A re-evaluation of the life to rupture of ductile metals by cyclic plastic strain,” *Fatigue Fract. Eng. Mater. Struct.*, vol. 17, no. 2, pp. 201–219, 1994.
- [106] A. Meierhofer, C. Hardwick, R. Lewis, K. Six, and P. Dietmaier, “Third body layer—experimental results and a model describing its influence on the traction coefficient,” *Wear*, vol. 314, no. 1–2, pp. 148–154, Jun. 2014.
- [107] Y. Berthier, S. Descartes, M. Busquet, E. Niccolini, C. Desrayaud, and L. Baillet, “The role and effects of the third body in the wheel – rail interaction,” *Fatigue Fract. Eng. Mater. Struct.*, vol. 27, pp. 423–436, 2004.
- [108] M. Busquet, L. Baillet, C. Bordreuil, and Y. Berthier, “3D finite

- element investigation on the plastic flows of rolling contacts— correlation with railhead microstructural observations,” *Wear*, vol. 258, no. 7–8, pp. 1071–1080, Mar. 2005.
- [109] I. Poschmann, F. Walther, D. Eifler, D.- Bochum, P. O. Box, and D.- Kaiserslautern, “Fatigue behavior of uic-standardized wheel and tire steels,” in *13 th International Wheelset Congress*, 2001.
- [110] W. R. Tyfour, J. H. Beynon, and A. Kapoor, “Deterioration of rolling contact fatigue life of pearlitic rail steel due to dry-wet rolling-sliding line contact,” *Wear*, vol. 197, pp. 255–265, 1996.
- [111] A. F. Bower and K. L. Johnson, “Plastic flow and shakedown of the rail surface in repeated wheel-rail contact,” *Wear*, vol. 144, no. 1–2, pp. 1–18, Apr. 1991.
- [112] S. Way, “Pitting due to rolling contact,” *ASME J. Appl. Mech.*, vol. 2, pp. 49–55, 1935.
- [113] E. Ollerton and J. W. W. Morey, “Fatigue strenght of rail steel in rolling contact,” *Proc. Symp. “Fatigue Roll. contact,”* p. 11, 1963.
- [114] Innotrack, “Improved model for the influence of vehicle conditions (wheel flats , speed , axle load) on the loading and subsequent deterioration of rails,” 2009.
- [115] M. Ishida and N. Abe, “Experimental study on rolling contact fatigue from the aspect of residual stress,” *Wear*, vol. 191, no. 1–2, pp. 65–71, Jan. 1996.
- [116] K. Kondo, K. Yoroizaka, and Y. Sato, “Cause, increase, diagnosis, countermeasures and elimination of Shinkansen shelling,” *Wear*, vol. 191, no. 1–2, pp. 199–203, Jan. 1996.
- [117] J. Kalousek, E. Magel, J. Strasser, W. N. Caldwell, G. Kanevsky, and B. Blevins, “Tribological interrelationship of seasonal fluctuations of freight car wheel wear, contact fatigue shelling and composition brakeshoe consumption,” *Wear*, vol. 191, no. 1–2, pp. 210–218, Jan. 1996.
- [118] D. Fletcher, P. Hyde, and A. Kapoor, “Investigating fluid penetration of rolling contact fatigue cracks in rails using a newly developed full-scale test facility,” *Proc. Inst. Mech. Eng. Part F J. Rail Rapid*

- Transit*, vol. 221, no. 1, pp. 35–44, Jan. 2007.
- [119] P. E. Bold, M. W. Brown, and R. J. Allen, “Shear mode crack growth and rolling contact fatigue,” *Wear*, vol. 144, pp. 307–317, 1991.
- [120] C. Stupnicki and J. Morbarigazzi, “Measurement of microslips of subsurface fatigue cracks faces due to rolling loads,” *J. strain Anal. Eng. Des.*, vol. 39, pp. 161–171, 2004.
- [121] A. F. Bower, “The Influence of Crack Face Friction and Trapped Fluid on Surface Initiated Rolling Contact Fatigue Cracks,” *J. Tribol.*, vol. 110, no. 4, p. 704, 1988.
- [122] V. L. Popov, S. G. Psakhie, and E. V. Shilko, “Friction coefficient in rail wheel-rail contacts as a function of material and loading parameters,” *Phys. Mesomech.*, vol. 5, no. 3, pp. 17–24, 2002.
- [123] P. C. Paris and F. Erdogan, “A critical analysis of crack propagation laws,” *J. Basic Eng.*, vol. 85, pp. 528–534, 1963.
- [124] A. Kapoor and F. J. Franklin, “Tribological layers and the wear of ductile materials,” *Wear*, vol. 245, no. 1–2, pp. 204–215, Oct. 2000.
- [125] A. Ekberg, “Rolling contact fatigue of railway wheels,” Calmers University of Technology, 1995.
- [126] A. Ekberg, “Fatigue propagation - some notes,” *Technology*. pp. 1–10, 1997.
- [127] E. Kabo, “Material defects in rolling contact fatigue - influence of overloads and defect clusters,” *Int. J. Fatigue*, vol. 24, pp. 887–894, 2002.
- [128] Y. Murakami, C. Sakae, and K. Ichimaru, “Three-dimensional fracture mechanics analysis of pit formation mechanism under lubricated rolling-sliding contact loading,” *STL Tribol. Trans.*, vol. 37, no. 3, pp. 445–451, 1994.
- [129] M. Kaneta and Y. Murakami, “Propagation of semi-elliptical surface cracks in lubricated rolling/sliding contact,” *ASME J. Tribol.*, vol. 113, pp. 270–275, 1991.
- [130] D. I. Fletcher and J. H. Beynon, “A simple method of stress intensity factor calculation for inclined fluid-filled surface-breaking cracks

- under contact loading,” *Proc. Inst. Mech. Eng. part J J. Eng. Tribol.*, vol. 213, pp. 299–304, 1999.
- [131] S. Bogdanski and M. W. Brown, “Modelling the three-dimensional behaviour of shallow rolling contact fatigue cracks in rails,” *Wear*, vol. 253, pp. 17–25, 2002.
- [132] J. Ringsberg, “Rolling contact fatigue analysis of rails including numerical simulations of the rail manufacturing process and repeated wheel-rail contact loads,” *Int. J. Fatigue*, vol. 25, no. 6, pp. 547–558, Jun. 2003.
- [133] A. Mechanics, “On propagation of short rolling contact fatigue cracks,” *Fatigue Fract. Eng. Mater. Struct.*, no. January, pp. 969–983, 2003.
- [134] a. F. D. I. Kapoor, “Post Hatfield rolling contact fatigue. The effect of residual stress on contact stress driven crack growth in rail. Literature review,” 2006.
- [135] M. P. B. Allery, “Rolling contact fatigue (squat) site trials at Carpenders Park and Cheddington,” *BR Res. Rep. TM-MF-181*, 1989.
- [136] J. J. Guest, “On the strenght of ductile materials under combined stress,” *Philosophical Mag.*, vol. 50, no. 302, pp. 69–132, 1900.
- [137] A. Ekberg and H. L. Bjarnehed, “Rolling contact fatigue of wheel/rail systems - A literature survey.” Chalmers University of Technology, 1995.
- [138] K. Dang Van, G. Cailletaud, J. F. Flavenot, and A. Le Douaron, “Criterion for hygh cycle fatigue under multiaxial loading,” in *Biaxial and multiaxial fatigue*, Mechanical Engineering Publications, 1989, pp. 459–478.
- [139] E. E. Magel and J. Kalousek, “The influence of creep forces on rolling contact fatigue of wheels,” in *14th International wheelset congress*, 2004.
- [140] K. L. Johnson, “The strenght of surface in rolling contact,” *Proc. Inst. Mech. Eng.*, vol. 203, pp. 151–163, 1989.
- [141] E. Kabo, A. Ekberg, P. T. Torstensson, and T. Vernersson, “Rolling

- contact fatigue prediction for rails and comparisons with test rig results,” *Proc. Inst. Mech. Eng. Part F J. Rail Rapid Transit*, vol. 224, no. 4, pp. 303–317, Jan. 2010.
- [142] M. C. Burstow, “Whole life model application and development for RSSB - Continued development of an RCF damage parameter,” *AEATR Rep. AEATR-ES-2001-880*, vol. 1, 2004.
- [143] P. Clayton and M. B. P. Allery, “Metallurgical aspects of surface damage problems in rails,” *Can. Metall. quarterly*, vol. 21, pp. 31–46, 1982.
- [144] A. H. Collins and C. Pritchard, “Recent research on adhesion,” *Railw. Eng. J.*, vol. 1, pp. 19–29, 1972.
- [145] E. Magel and Y. Liu, “Friction at the wheel-rail interface: an increasing dependency on numerical simulation brings greater urgency to the need to properly measure and implement improved friction models,” *Railw. tracks Struct.*, vol. 12, 2009.
- [146] M. Bernard, E. Jullien, and A. Chrétien, “Utilisation du sable pour l’amélioration de l’adhérence des engins moteurs,” *Rev. Générale des Chemins fer*, vol. Janvier, pp. 46–49, 1973.
- [147] O. Arias-Cuevas, Z. Li, and R. Lewis, “A laboratory investigation on the influence of the particle size and slip during sanding on the adhesion and wear in the wheel–rail contact,” *Wear*, vol. 271, no. 1–2, pp. 14–24, May 2011.
- [148] E. a. Gallardo-Hernandez and R. Lewis, “Twin disc assessment of wheel/rail adhesion,” *Wear*, vol. 265, no. 9–10, pp. 1309–1316, Oct. 2008.
- [149] T. C. R. Program, “Research results digest,” 1997.
- [150] H. I. Andrews, “Improvement of wheel-rail adhesion,” *Rail Eng. Int.*, vol. 3, no. 9, pp. 410–413, 1973.
- [151] T. Ohyama and H. Maruyama, “Prevention of skidding on Shinkansen vehicles by improving fundamental adhesion with special composite sliding blocks on wheel-trends,” *Quarterly reports*, vol. 19, no. 3, pp. 120–125, 1978.

Bibliografía

- [152] W. J. Wang, H. F. Zhang, H. Y. Wang, Q. Y. Liu, and M. H. Zhu, “Study on the adhesion behavior of wheel/rail under oil, water and sanding conditions,” *Wear*, vol. 271, no. 9–10, pp. 2693–2698, Jul. 2011.
- [153] R. Lewis, E. a Gallardo-Hernandez, T. Hilton, and T. Armitage, “Effect of oil and water mixtures on adhesion in the wheel/rail contact,” *Proc. Inst. Mech. Eng. Part F J. Rail Rapid Transit*, vol. 223, no. 3, pp. 275–283, May 2009.
- [154] F. T. Barwell and R. G. Woolacott, “The N.E.L. contribution to adhesion studies,” *Proc. Inst. Mech. Eng.*, vol. 178, pp. 145–160, 1963.
- [155] D. J. Watkins, “Exploring adhesion with british rail’s tribometer train,” *Railw. Eng. J.*, vol. 4, no. 4, pp. 6–13, 1975.
- [156] K.-S. Baek, K. Kyogoku, and T. Nakahara, “An experimental study of transient traction characteristics between rail and wheel under low slip and low speed conditions,” *Wear*, vol. 265, no. 9–10, pp. 1417–1424, Oct. 2008.
- [157] T. Ohyama, “Tribological studies on adhesion phenomena between wheel and rail at high speed,” *Wear*, no. 144, pp. 263–275, 1991.
- [158] R. Nilsson, “Rail wear development - measurements and evaluation,” 2002.
- [159] D. Markov, “Laboratory tests for wear of rail and wheel steels,” *Wear*, vol. 183, pp. 678–686, 1995.
- [160] Z. Li, O. Arias-Cuevas, R. Lewis, and E. a Gallardo-Hernández, “Rolling–Sliding Laboratory Tests of Friction Modifiers in Leaf Contaminated Wheel–Rail Contacts,” *Tribol. Lett.*, vol. 33, no. 2, pp. 97–109, Nov. 2008.
- [161] M. Cassard and Y. Berthier, “Analyse tribologique de la surface de roulement des rails de la zone d’essai d’Epernay,” *Rep. LMC/SNCF*, vol. 6, p. 52, 1996.
- [162] M. Boiteux, “Le problème de l’adhérence en freinage,” *Rev. Générale des Chemins fer*, vol. 452, pp. 28–40, 1998.

- [163] E. Niccolini and Y. Berthier, "Wheel-rail adhesion: laboratory study of 'natural' third body role on locomotives wheels and rails," *Wear*, vol. 258, no. 7-8, pp. 1172-1178, Mar. 2005.
- [164] L. Deters and M. Proksch, "Friction and wear testing of rail and wheel material," *Wear*, vol. 258, no. 7-8, pp. 981-991, Mar. 2005.
- [165] W. Zhang, J. Chen, X. Wu, and X. Jin, "Wheel/rail adhesion and analysis by using full scale roller rig," *Wear*, vol. 253, no. 1-2, pp. 82-88, Jul. 2002.
- [166] P. Clayton and X. Su, "Surface initiated fatigue of pearlitic and bainitic steels under water lubricated rolling/sliding contact," *Wear*, vol. 200, no. 1-2, pp. 63-73, 1996.
- [167] H. Chen, T. Ban, M. Ishida, and T. Nakahara, "Adhesion between rail/wheel under water lubricated contact," *Wear*, vol. 253, no. 1-2, pp. 75-81, Jul. 2002.
- [168] X. S. Jin, W. H. Zhang, J. Zeng, Z. R. Zhou, Q. Y. Liu, and Z. F. Wen, "Adhesion experiment on a wheel/rail system and its numerical analysis," *Proc. Inst. Mech. Eng. Part J J. Eng. Tribol.*, vol. 218, no. 4, pp. 293-304, Jan. 2004.
- [169] K. Hou and J. Kalousek, "Thermal effect on adhesion in wheel/rail interface," in *Fifth international conference on contact mechanics and wear of wheel-rail systems*, 2000, pp. 239-244.
- [170] J. Holland and F. Rick, "Einfluss der kontakttemperatur auf den kraftschlussbeiwert," *Tribol. und schmierungstechnik*, vol. 44, pp. 73-78, 1997.
- [171] U. P. Singh and R. Singh, "Wear investigation of wheel and rail steels under conditions of sliding and rolling-sliding contact with particular regard to microstructural parameters," *Wear*, vol. 170, no. 1, pp. 93-99, Nov. 1993.
- [172] P. Zakharov, S.M., Goryacheva, I.G., "Estimation of the evolution of railway wheel profiles on the basis of tribodynamic simulation," *Tyazheloe Mashinostr.*, no. 3, pp. 19-26, 2007.
- [173] M. Burstow, "Wheel / rail hardness and total ' system ' wear," 2012.

Bibliografía

- [174] R. H. Devine, T.J. y alber, “Wheel flange wear test results in heavy haul service,” in *Proc. 2nd Int. heavy Haul Railway Conf.*, 1982, pp. 633–645.
- [175] P. Clayton, “The relations between wear behaviour and basic material properties of pearlitic steels,” *Wear*, no. 60, pp. 75–93, 1980.
- [176] E. A. Shur and S. M. Trushevsky, “Physical metallurgy aspects of rolling contact fatigues of rail steels,” in *6th International Conference on Contact mechanics and Wear of Rail/Wheel Systems*, 2003, pp. 429–436.
- [177] A. Ghidini and S. Cantini, “Mechanical Comparison between American and European Materials for Railway Wrought Solid Wheels, in Terms of RCF Resistance,” in *14th International wheelset congress*, 2004.
- [178] S. L. Grassie, “Rail corrugation: advances in measurement, understanding and treatment,” *Wear*, vol. 258, no. 7–8, pp. 1224–1234, Mar. 2005.
- [179] G. Girsch, N. Frank, and P. Pointner, “New rail grades - A technical performance overview,” in *proceedings of IHHA Conference*, 2005, pp. 731–738.
- [180] M. Ertz and K. Knothe, “Thermal stresses and shakedown in wheel/rail contact,” *Arch. Appl. Mech.*, vol. 72, no. 10, pp. 715–729, Mar. 2003.
- [181] M. Benson, “Effect of traffic reversals on wheel/rail wear test results,” 1994.
- [182] W. R. Tyfour and J. H. Beynon, “The effect of rolling direction reversal on the wear rate and wear mechanism of pearlitic rail steel,” *Tribol. Int.*, vol. 27, pp. 401–412, 1994.
- [183] W. R. Tyfour and J. H. Beynon, “The effect of rolling direction reversal on fatigue crack morphology and propagation,” *Tribol. Int.*, vol. 27, pp. 273–282, 1994.
- [184] S. Zakharov and I. Zharov, “Simulation of mutual wheel/rail wear,” *Wear*, vol. 253, no. 1–2, pp. 100–106, Jul. 2002.

- [185] G. Donzella, M. Faccoli, A. Ghidini, A. Mazzù, and R. Roberti, “The competitive role of wear and RCF in a rail steel,” *Eng. Fract. Mech.*, vol. 72, no. 2, pp. 287–308, Jan. 2005.
- [186] A. Ekberg, R. Lindqvist, and M. Olofsson, “Multiaxial fatigue—a probabilistic analysis of initiation in cases of defined stress cycles,” in *Proceedings of the Seventh International Fatigue Congress, Fatigue*, 1999, pp. 923–928.
- [187] A. Saulot, S. Descartes, D. Desmyter, D. Levy, and Y. Berthier, “A tribological characterization of the ‘damage mechanism’ of low rail corrugation on sharp curved track,” *Wear*, vol. 260, no. 9–10, pp. 984–995, May 2006.
- [188] Q. Y. Liu, B. Zhang, and Z. R. Zhou, “An experimental study of rail corrugation,” *Wear*, vol. 255, no. 7–12, pp. 1121–1126, Aug. 2003.
- [189] X. Su and P. Clayton, “Ratchetting strain experiments with a pearlitic steel under rolling/sliding contact,” *Wear*, vol. 205, no. 1–2, pp. 137–143, Apr. 1997.
- [190] M. B. Marshall, R. Lewis, R. S. Dwyer-Joyce, U. Olofsson, and S. Björklund, “Experimental Characterization of Wheel-Rail Contact Patch Evolution,” *J. Tribol.*, vol. 128, no. 3, p. 493, 2006.
- [191] A. Kapoor, F. J. Franklin, S. K. Wong, and M. Ishida, “Surface roughness and plastic flow in rail wheel contact,” *Wear*, vol. 253, pp. 257–264, 2002.
- [192] W. R. Tyfour, J. H. Beynon, and a. Kapoor, “The steady state wear behaviour of pearlitic rail steel under dry rolling-sliding contact conditions,” *Wear*, vol. 180, no. 1–2, pp. 79–89, Jan. 1995.
- [193] R. Lewis and U. Olofsson, “Mapping rail wear regimes and transitions,” *Wear*, vol. 257, no. 7–8, pp. 721–729, Oct. 2004.
- [194] H. Blok, “The flash temperature concept,” *Wear*, vol. 6, pp. 483–494, 1963.
- [195] H. C. Carslaw and J. C. Jaeger, *Conduction of heat in solids*. Oxford: Oxford university Press, 1959.
- [196] M. Ertz and K. Knothe, “A comparison of analytical and numerical

- methods for the calculation of temperatures in wheel/rail contact,” *Wear*, vol. 253, no. 3–4, pp. 498–508, Aug. 2002.
- [197] M. A. Tanvir, “Temperature rise due to slip between wheel and rail—an analytical solution for hertzian contact,” *Wear*, vol. 61, no. 2, pp. 295–308, Jun. 1980.
- [198] K. Knothe and S. Liebelt, “Determination of temperatures for sliding contact with applications for wheel-rail systems,” *Wear*, vol. 189, no. 1–2, pp. 91–99, Oct. 1995.
- [199] J. C. Jaeger, “Moving sources of heat and the temperature of sliding contacts.pdf,” *Proc. R. Soc. New South Wales*, no. 76, pp. 203–224, 1943.
- [200] W. J. Oosterkamp, “the heat dissipation in the anode of an x-ray tube,” *Philips Res. Rep.*, vol. 3, pp. 49–59, 1948.
- [201] C. Ferrer, F. Salas, and V. Amigó, “Aumento de temperatura en ensayos de disco gemelo y relación con el coeficiente de fricción,” in *VI Congreso Ibérico de Tribología*, 2011, p. 28.
- [202] E. Gallardohernandez, R. Lewis, and R. Dwyerjoyce, “Temperature in a twin-disc wheel/rail contact simulation,” *Tribol. Int.*, vol. 39, no. 12, pp. 1653–1663, Dec. 2006.
- [203] J. Kaiser, “An investigation into the occurrence of noises in tensile tests or a study of acoustic phenomena in tensile tests,” Technische Hochschule - Munich, 1950.
- [204] T. Kishi, M. Ohtsu, and S. Yuyama, *Acoustic emission - Beyond the millenium*. Tokyo: Elsevier, 2000.
- [205] C. Grosse and M. Ohtsu, *Acoustic emission testing*. Berlin: Springer, 2008.
- [206] C. Ferrer, A. Corbí, and F. Salas, “Aplicaciones de la emisión acústica con el objeto de investigar los procesos de deformación plástica, fricción y adhesión,” *Rev. AEND*, no. 50, pp. 20–26, 2010.
- [207] V. Baranov, E. Kudryavtsev, G. Sarychev, and V. Schavelin, *Acoustic emission in friction*. London: Elsevier, 2007.
- [208] C. . Ramirez-Jimenez, N. Papadakis, N. Reynolds, T. . Gan, P. Purnell,

- and M. Pharaoh, "Identification of failure modes in glass/polypropylene composites by means of the primary frequency content of the acoustic emission event," *Compos. Sci. Technol.*, vol. 64, no. 12, pp. 1819–1827, Sep. 2004.
- [209] C. Ferrer, A. Nadal, F. Parres, and F. Salas, "Investigación del proceso de fractura de morteros de cemento reforzados con EPDM-CR mediante emisión acústica," in *VII Congreso Nacional de Materiales compuesto*, 2007, pp. 177–184.
- [210] T. J. Holroyd, "Acoustic emission as a basis for the condition monitoring of industrial machine," in *18th Machinery Vibration Seminar*, 2000, pp. 125–131.
- [211] M. Ing, S. Austin, and R. Lyons, "Cover zone properties influencing acoustic emission due to corrosion," *Cem. Concr. Res.*, vol. 35, no. 2, pp. 284–295, Feb. 2005.
- [212] H. L. Dunegan, "Prediction Of Earthquakes With AE/MS? Why Not," in *6th Conference on AE/MS Activity in Geologic Structures and Materials*, 1996, pp. 11–13.
- [213] V. Amigó, F. Salas, M. Pascual, and A. Corbí, "Influencia de los parámetros de adquisición en un sistema de emisión acústica en las características de los resultados obtenidos," in *XII Congreso Nacional de END*, 2011, pp. 571–580.
- [214] C. Ferrer, F. Salas, M. Pascual, A. Corbí, and P. Maita, "detección del paso de fricción con superficie contaminada a interferencial a partir del nivel de emisión acústica: Aplicación a ensayos pin-on-disc con pares AISI420-DC05," in *IV congreso Ibérico de tribología*, 2007, p. 58.
- [215] C. Ferrer, F. Salas, M. Pascual, A. Corbí, and P. Maita, "Uso de la técnica de emisión acústica para detectar cambios en el régimen de rozamiento entre un acero de embutición DC05 y un inoxidable AISI420," in *XI Congreso Español de END*, 2007, pp. 243–251.
- [216] C. Ferrer, F. Salas, J. Orozco, and J. Cembrero, "Nivel de emisión acústica en una unión acero templado AISI 1035-acero F1140 sometida a distintos regimenes de fretting," in *XI Congreso Español de END*, 2007, pp. 211–218.

Bibliografía

- [217] C. Ferrer, F. Salas, J. Cembrero, and P. Maita, “Transición entre deslizamiento parcial y total en uniones AISI1035-F1140 afectadas por fretting estudiada por emisión acústica,” in *IV congreso Ibérico de tribología*, 2007, p. 33.
- [218] C. Ferrer, F. Salas, J. Orozco, and P. Maita, “Aplicación de la técnica de emisión acústica al estudio de la fatiga interfacial,” in *XVII Congreso Nacional de Ingeniería Mecánica*, 2008, pp. 821–827.
- [219] C. Ferrer, F. Salas, and V. Amigó, “Análisis de distribución de tensiones bidimensionales en los procesos de stick-slip mediante emisión acústica,” *Rev. AEND*, no. 55, pp. 40–52, 2011.
- [220] C. Ferrer, F. Salas, M. Pascual, and J. Orozco, “Discrete acoustic emission waves during stick–slip friction between steel samples,” *Discret. Acoust. Emiss. waves Dur. stick–slip Frict. between steel samples*, vol. 43, no. 1–2, pp. 1–6, Jan. 2010.
- [221] C. Ferrer, F. Salas, M. Pascual, and P. Maita, “Señales de emisión acústica detectadas durante la transición de rozamiento estático a dinámico en un ensayo de stick-slip,” in *V Congreso Ibérico de Tribología*, 2009, p. 38.
- [222] N. Ashokkumar, “Monitoring of Rail/Wheel Interaction using Acoustic Emission,” Heriot-Watt University, 2009.
- [223] E. Magel, A. Tajaddini, M. Trosino, and J. Kalousek, “Traction, forces, wheel climb and damage in high-speed railway operations,” *Wear*, vol. 265, no. 9–10, pp. 1446–1451, Oct. 2008.
- [224] K. Mädler and M. Bannasch, “Materials used for Wheels on Rolling Stock,” in *7th Whorld Congress on Railway Research*, 2006.
- [225] A. Matsumoto, Y. Sato, H. Ono, Y. Wang, M. Yamamoto, M. Tanimoto, and Y. Oka, “Creep force characteristics between rail and wheel on scaled model,” *Wear*, vol. 253, pp. 199–203, 2002.
- [226] R. Reiff and H. Harrison, “Measuring rail lubrication in the field using a tribometer,” 1991.
- [227] A. J. Amsler, “Abnutzungsmaschine für metalle,” *Z. VDI*, vol. 66, pp. 377–378, 1922.

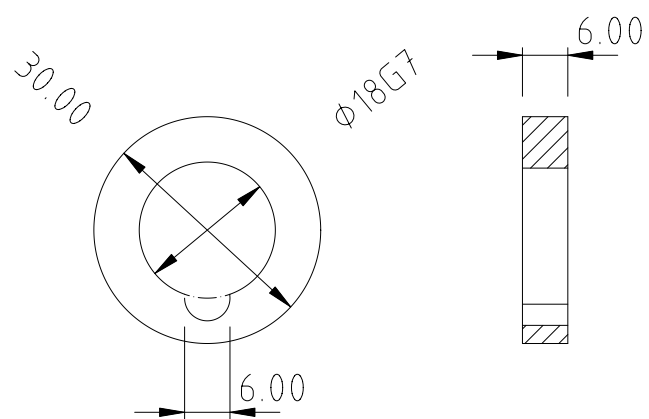
- [228] M. Quillien, “A testing device for rolling – sliding behavior in harsh environments : the twin-disk cryotribometer,” *Tribol. Int.*, vol. 34, pp. 287–292, 2001.
- [229] R. Lewis, J. Lewis, H. Road, M. Street, and A. Engineering, “Wheel/rail contact isolation due to track contamination,” in *6th International Conference on contact Mechanics and Wear of rail/Wheel Systems*, 2003, pp. 1–9.
- [230] A. R. Savkoor and G. H. van der Schoor, “Slip-time history influences on the interaction between friction and wear in contaminated rolling contacts of wheel-rail systems,” *Wear*, vol. 162–164, pp. 980–984, Apr. 1993.
- [231] Y. Zhu, U. Olofsson, and K. Persson, “Investigation of factors influencing wheel–rail adhesion using a mini-traction machine,” *Wear*, vol. 292–293, pp. 218–231, Jul. 2012.
- [232] S. R. Lewis, R. Lewis, G. Evans, and L. E. Buckley-Johnstone, “Assessment of railway curve lubricant performance using a twin-disc tester,” *Wear*, vol. 314, no. 1–2, pp. 205–212, Jun. 2014.
- [233] D. I. Fletcher and J. H. Beynon, “Equilibrium of crack growth and wear rates during unlubricated rolling-sliding contact of pearlitic rail steel,” *Proc. Inst. Mech. Eng. Part F J. Rail Rapid Transit*, vol. 214, no. 2, pp. 93–105, Jan. 2000.
- [234] C. Ferrer, F. Salas, A. Corbí, and V. Amigó, “Monitorización indirecta de sistemas tribológicos mediante el uso de la técnica de emisión acústica,” in *XII Congreso Nacional de END Congreso Español de END*, 2011, pp. 331–340.
- [235] “<http://www.kalkersoftware.org>,” 2014. .
- [236] Z. Wen and X. Jin, “Effect of track lateral geometry defects on corrugations of curved rails,” *Wear*, vol. 259, no. 7–12, pp. 1324–1331, Jul. 2005.
- [237] R. Lewis, M. Cavalletti, R. S. Dwyer-Joyce, and A. Ward, “Railway wheel wear predictions with adams/rail,” in *European MSC.ADAMS User Conference*, 2002.
- [238] M. U. P. Thévenaz, “User-Friendly Semiautomated Assembly of

- Accurate Image Mosaics in Microscopy,” *Microsc. Res. Tech.*, vol. 70, no. 2, pp. 135–146, 2007.
- [239] R. Rezakhaniha, A. Agianniotis, J. T. C. Schrauwen, A. Griffa, D. Sage, C. V. C. Bouten, F. N. van de Vosse, M. Unser, and N. Stergiopoulos, “Experimental investigation of collagen waviness and orientation in the arterial adventitia using confocal laser scanning microscopy,” *Biomech. Model. Mechanobiol.*, vol. 11, no. 3–4, pp. 461–73, Mar. 2012.
- [240] S. Descartes, C. Desrayaud, E. Niccolini, and Y. Berthier, “Presence and role of the third body in a wheel–rail contact,” *Wear*, vol. 258, no. 7–8, pp. 1081–1090, Mar. 2005.
- [241] M. Dembosky and A. Doherty, “Why rails crack - Gauge corner cracking on the British network: Investigation,” *Arup J.*, vol. 3, pp. 37–41, 2005.
- [242] B. Engel, H. P. Beck, and J. Alders, “Verchleibreduzierende radschlupfregelung mit hoher kraftschlussausnutuzung,” *Elektrische bahnen*, vol. 96, pp. 201–209, 1998.
- [243] “The development of a wheel wear and rolling contact fatigue model,” Nov. 2008.
- [244] J. Plu, S. Bondeux, D. Boulanger, and R. Heyder, “Application of fracture mechanics methods to rail design and maintenance,” *Eng. Fract. Mech.*, vol. 76, pp. 2602–2611, 2009.
- [245] O. Polach, “SBB 460 Adhäsionsversuche,” *Techn. Rep. N° 414, SML Wintherthur*, 1991.
- [246] H. Chen, T. Ban, M. Ishida, and T. Nakahara, “Experimental investigation of influential factors on adhesion between wheel and rail under wet conditions,” *Wear*, vol. 265, no. 9–10, pp. 1504–1511, Oct. 2008.
- [247] R. K. Steele and R. P. Reiff, “Rail: its behaviour and relationship to total sys-tem wear,” in *International Heavy Haul Conference*, 1982, pp. 115–164.
- [248] A. Ekberg, B. Åkesson, and E. Kabo, “Wheel/rail rolling contact fatigue – Probe, predict, prevent,” *Wear*, vol. 314, no. 1–2, pp. 2–12,

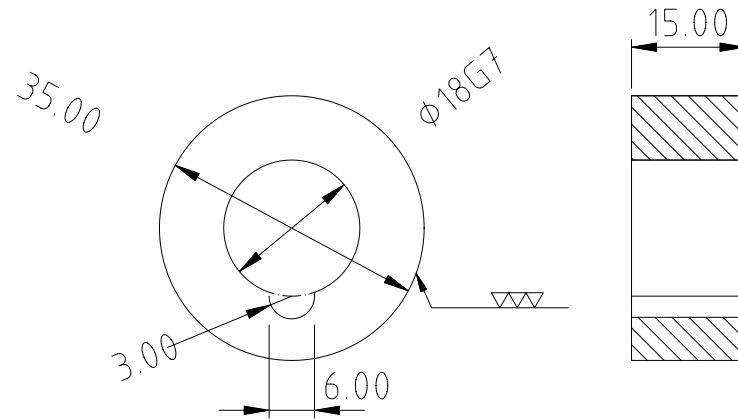
Jun. 2014.

- [249] H. Yamazaki, M. Nagai, and T. Kamada, “A Study of Adhesion Force Model for Wheel Slip Prevention Control,” *JSME Int. J. Ser. C*, vol. 47, no. 2, pp. 496–501, 2004.
- [250] P. Pointer, “The impact of wear rolling contact fatigue on rail- a pragmatic approach,” *ZEVrail Glas. Ann.*, vol. 132, 2008.
- [251] P. Pointner, “High strength rail steels—The importance of material properties in contact mechanics problems,” *Wear*, vol. 265, no. 9–10, pp. 1373–1379, Oct. 2008.
- [252] J. C. O. Nielsen, a Ekberg, and R. Lundén, “Influence of Short-Pitch Wheel/Rail Corrugation on Rolling Contact Fatigue of Railway Wheels,” *Proc. Inst. Mech. Eng. Part F J. Rail Rapid Transit*, vol. 219, no. 3, pp. 177–187, Jun. 2005.
- [253] W. E. Glavin, J. I. Aspebakken, and G. O. Besch, “Heavy haul: the Burlington Northern perspective,” in *Fourth International Heavy Haul Railway Conference*, 1989, pp. 276–285.

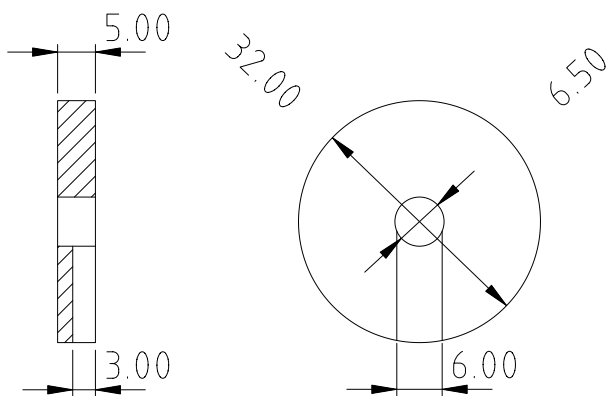
ANEXO 1:
PLANOS Y ELEMENTOS DEL EQUIPO DE
ENSAYOS



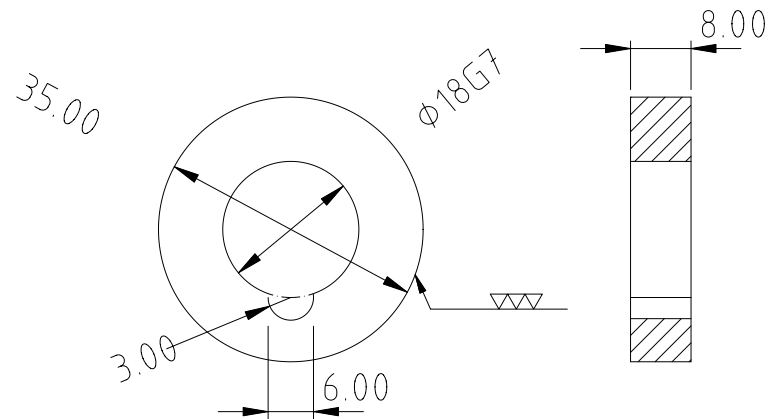
Discos de ajuste para posicionamiento de probeta (S355)



Discos anchos (C45)

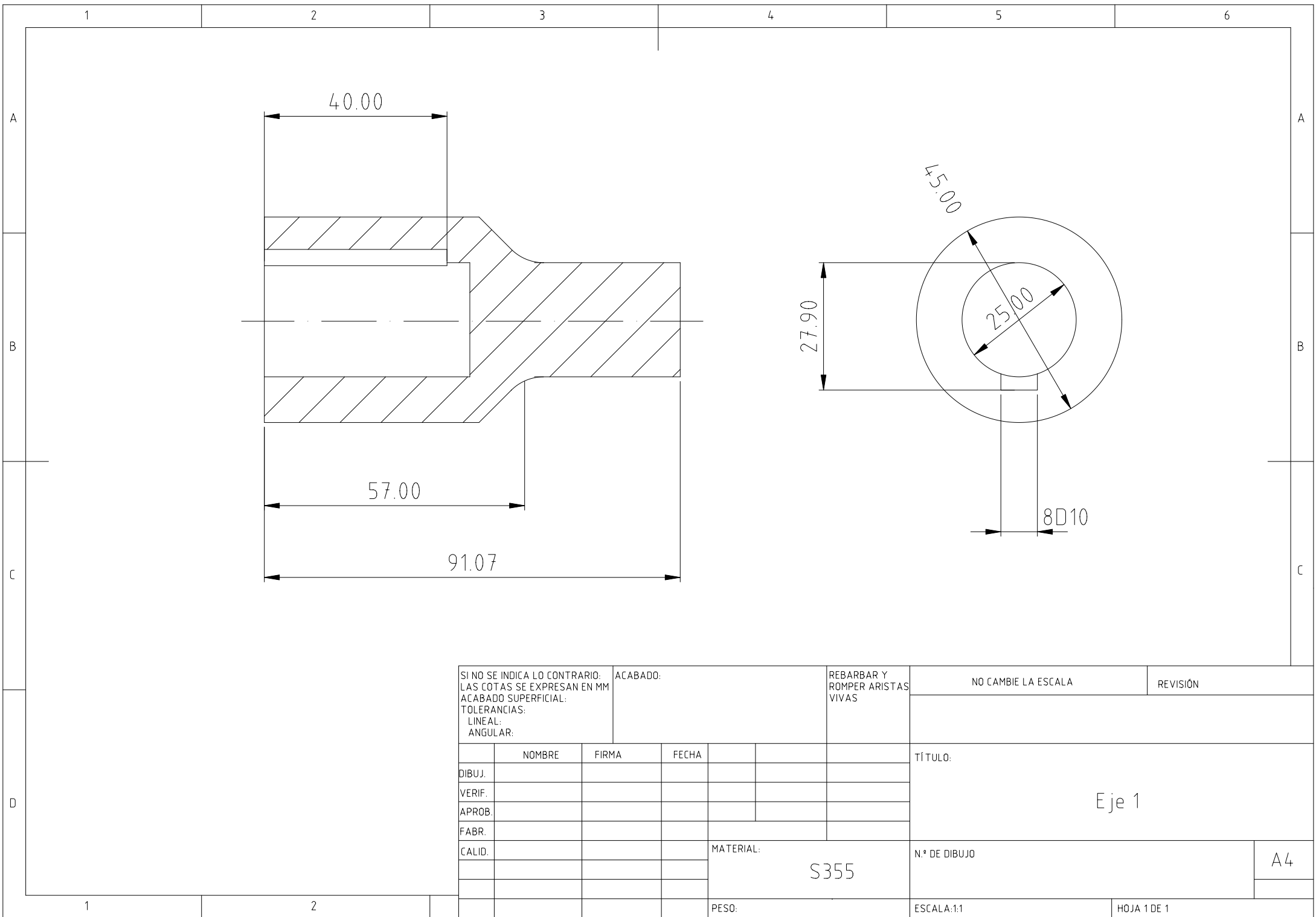


Discos de retención al final del eje (S355)

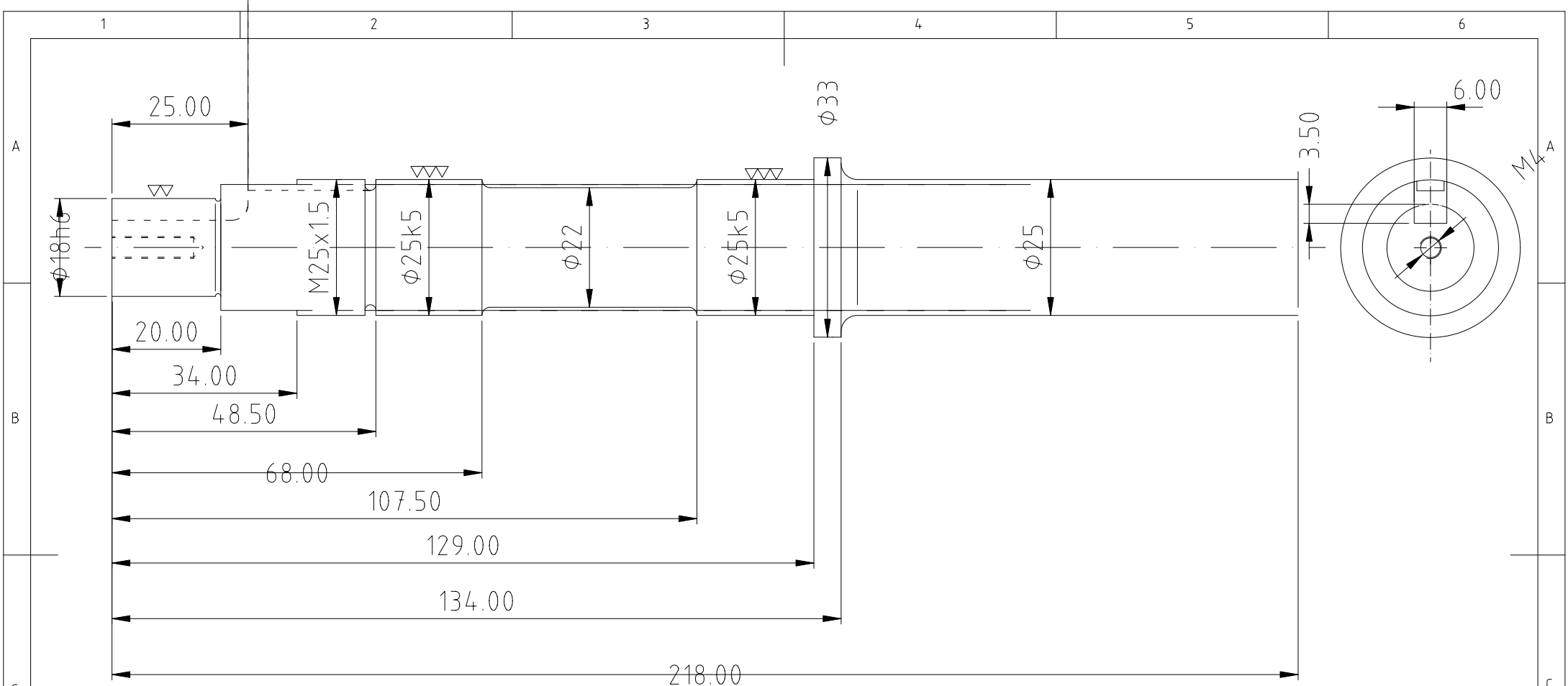


Discos estrechos (C55)

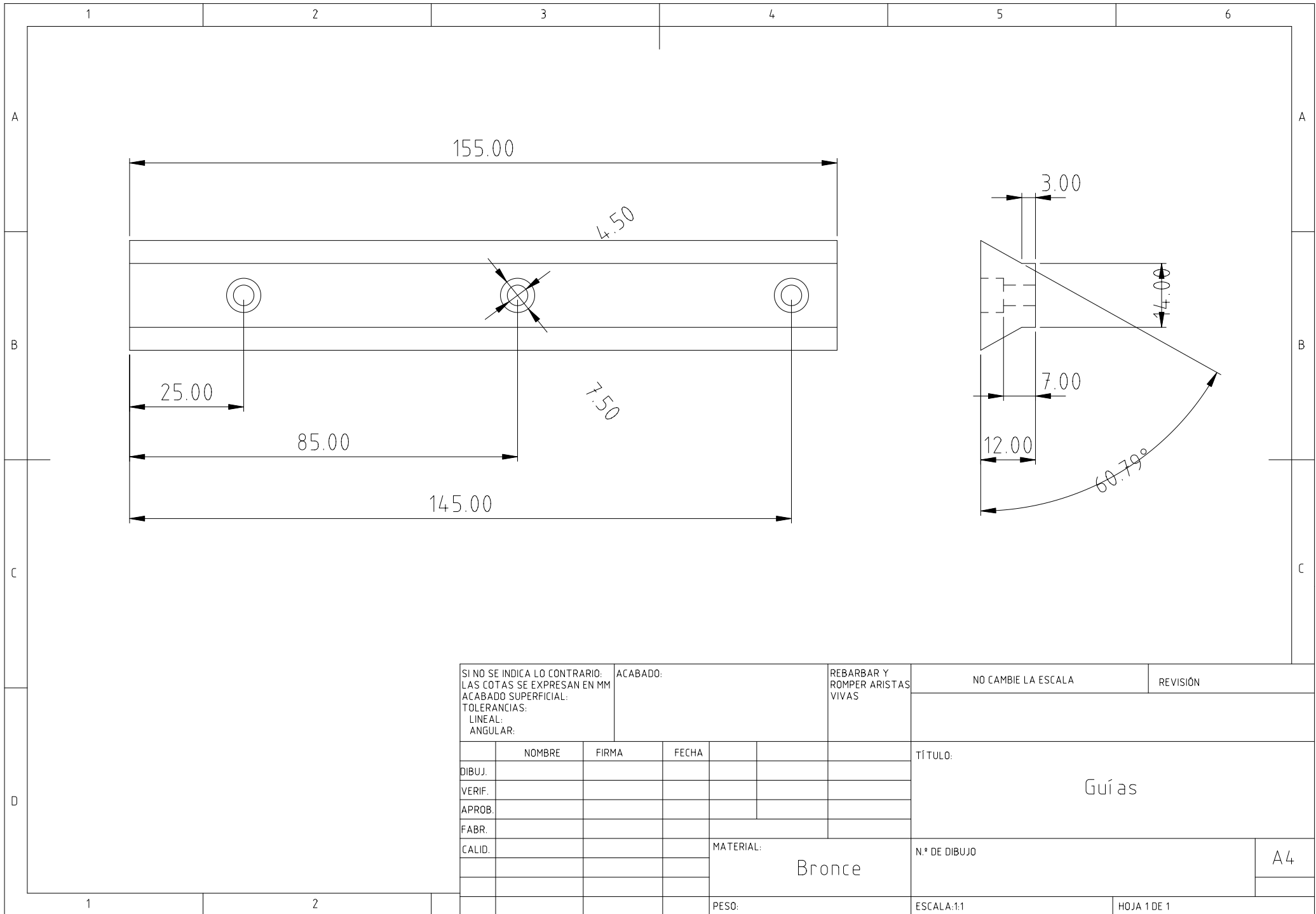
| | | | | | | | | | |
|---|--|----------|--|---------------------------------|--|-----------------------|--|-------------|--|
| SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM ACABADO SUPERFICIAL: TOLERANCIAS: LINEAL: ANGULAR: | | ACABADO: | | REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS | | NO CAMBIE LA ESCALA | | REVISIÓN | |
| DIBUJ. | | FIRMA | | FECHA | | TÍTULO: Discos | | | |
| VERIF. | | | | | | | | | |
| APROB. | | | | | | | | | |
| FABR. | | | | | | | | | |
| CALID. | | | | MATERIAL: Ver dibujos | | N.º DE DIBUJO | | A4 | |
| | | | | PESO: | | ESCALA:1:1 | | HOJA 1 DE 1 | |



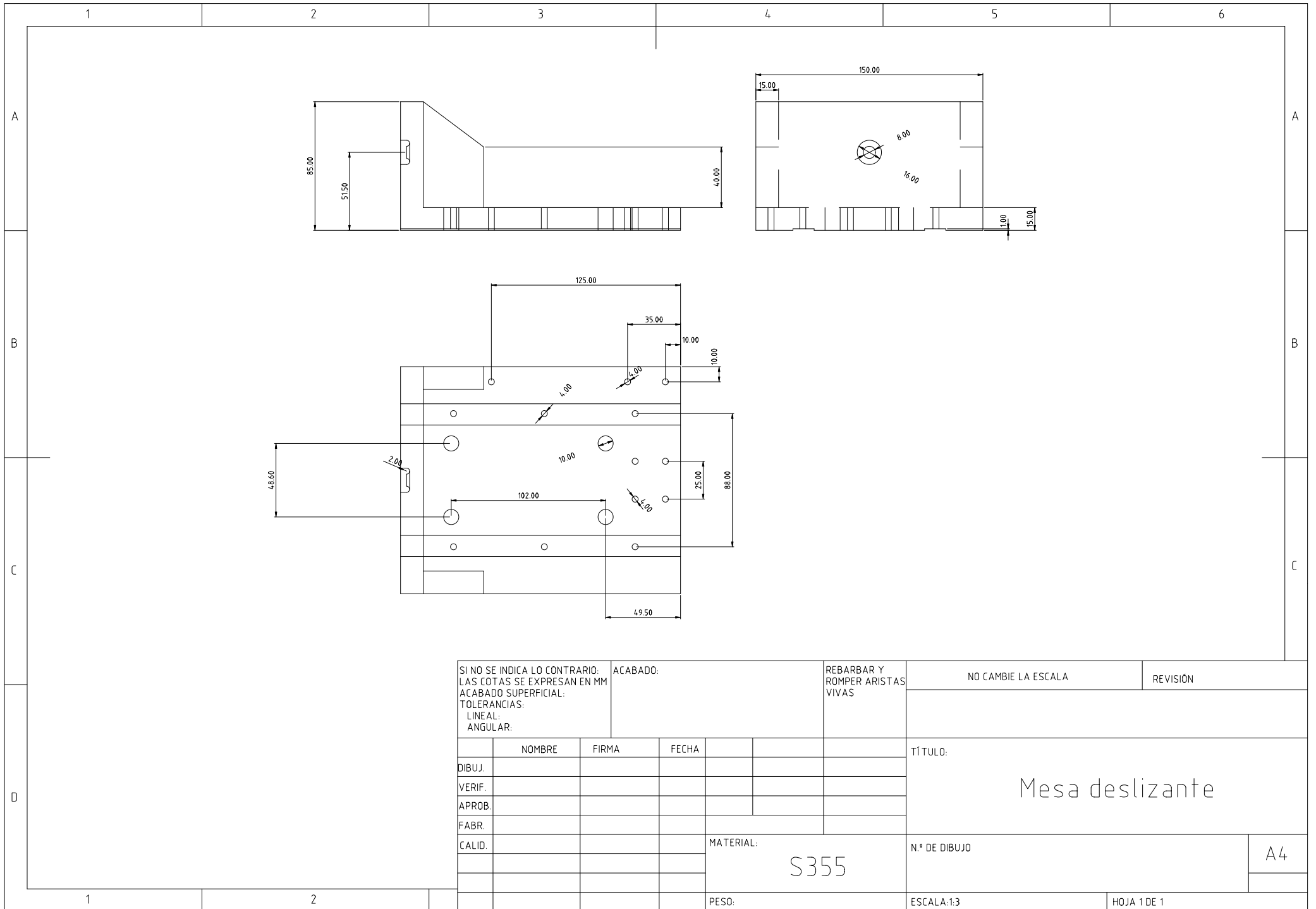
| | | | | | | | | | | |
|---|--------|----------|-------|--|---------------------------------|----------------------|---------------------|-------------|----------|----|
| SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM ACABADO SUPERFICIAL: TOLERANCIAS: LINEAL: ANGULAR: | | ACABADO: | | | REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS | | NO CAMBIE LA ESCALA | | REVISIÓN | |
| | NOMBRE | FIRMA | FECHA | | | TÍTULO: Eje 1 | | | | |
| DIBUJ. | | | | | | | | | | |
| VERIF. | | | | | | | | | | |
| APROB. | | | | | | | | | | |
| FABR. | | | | | | | | | | |
| CALID. | | | | | MATERIAL: S355 | N.º DE DIBUJO | | | | A4 |
| | | | | | PESO: | ESCALA:1:1 | | HOJA 1 DE 1 | | |



| | | | | | | | | | | | |
|---|--|--|----------|--|--|---------------------------------------|--|---------------------|--|---------------|--|
| SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM ACABADO SUPERFICIAL: TOLERANCIAS: LINEAL: ANGULAR: | | | ACABADO: | | | REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS | | NO CAMBIE LA ESCALA | | REVISIÓN | |
| | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | TÍTULO: | |
| DIBUJ. | | | NOMBRE | | | FIRMA | | FECHA | | | |
| VERIF. | | | | | | | | | | | |
| APROB. | | | | | | | | | | | |
| FABR. | | | | | | | | | | | |
| CALID. | | | | | | | | MATERIAL: | | N.º DE DIBUJO | |
| | | | | | | | | S355 | | A4 | |
| | | | | | | | | PESO: | | ESCALA:1:1 | |
| | | | | | | | | | | HOJA 1 DE 1 | |



| | | | | | | | | | | | |
|---|--|--|----------|--|--|---------------------------------------|--|---------------------|---------------|----------|-------------|
| SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM ACABADO SUPERFICIAL: TOLERANCIAS: LINEAL: ANGULAR: | | | ACABADO: | | | REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS | | NO CAMBIE LA ESCALA | | REVISIÓN | |
| DIBUJ. | | | NOMBRE | | | FIRMA | | | TÍTULO: | | |
| VERIF. | | | | | | | | | Guías | | |
| APROB. | | | | | | | | | | | |
| FABR. | | | | | | | | | N.º DE DIBUJO | | |
| CALID. | | | | | | MATERIAL: | | | A4 | | |
| | | | | | | Bronce | | | | | |
| | | | | | | PESO: | | | ESCALA:1:1 | | HOJA 1 DE 1 |



SI NO SE INDICA LO CONTRARIO:
 LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM
 ACABADO SUPERFICIAL:
 TOLERANCIAS:
 LINEAL:
 ANGULAR:

ACABADO:
 REBARBAR Y
 ROMPER ARISTAS
 VIVAS

NO CAMBIE LA ESCALA

REVISIÓN

| | NOMBRE | FIRMA | FECHA | | | |
|--------|--------|-------|-------|--|--|--|
| DIBUJ. | | | | | | |
| VERIF. | | | | | | |
| APROB. | | | | | | |
| FABR. | | | | | | |
| CALID. | | | | | | |

TÍTULO:
 Mesa deslizante

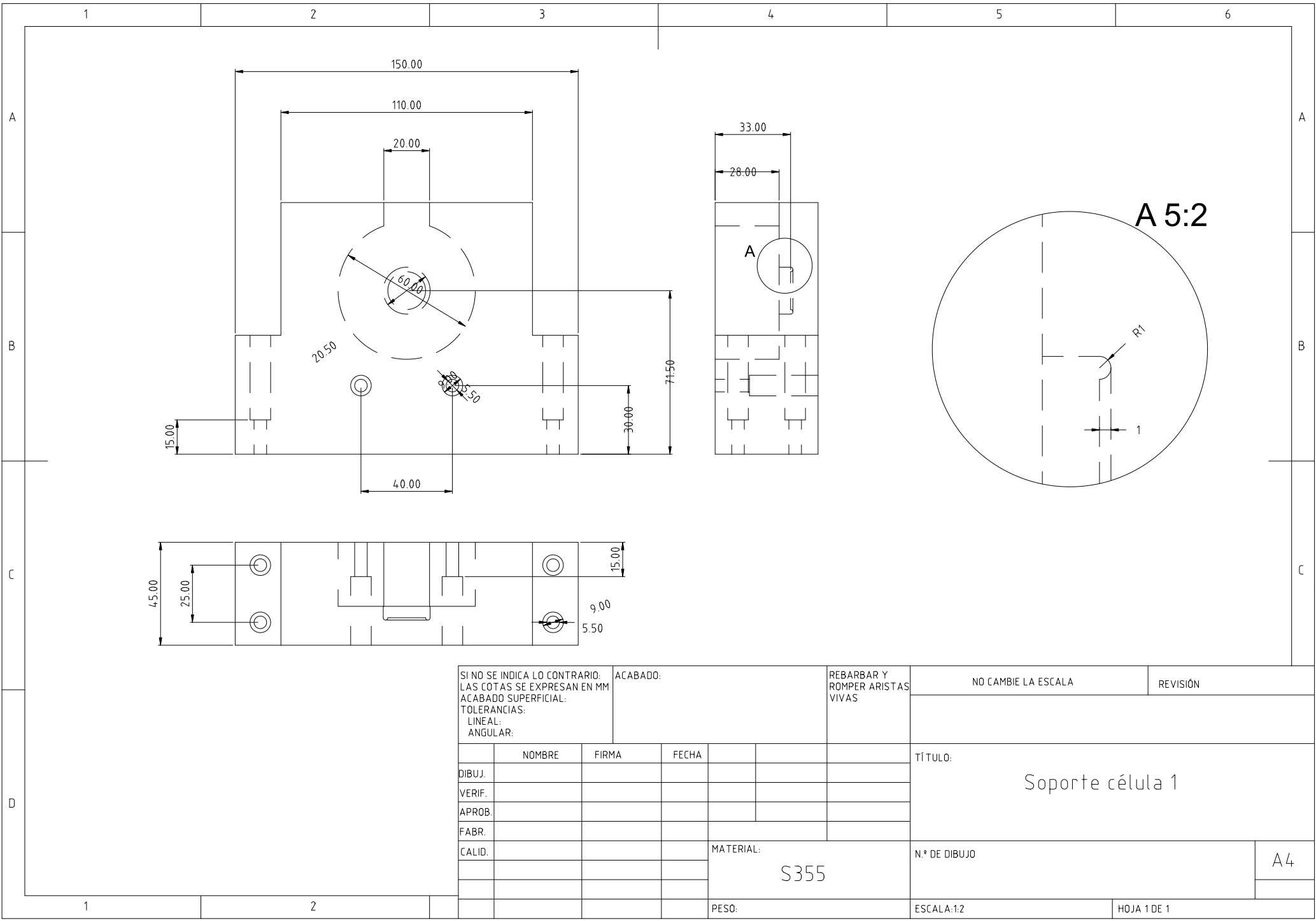
MATERIAL:
 S355

N.º DE DIBUJO
 A4

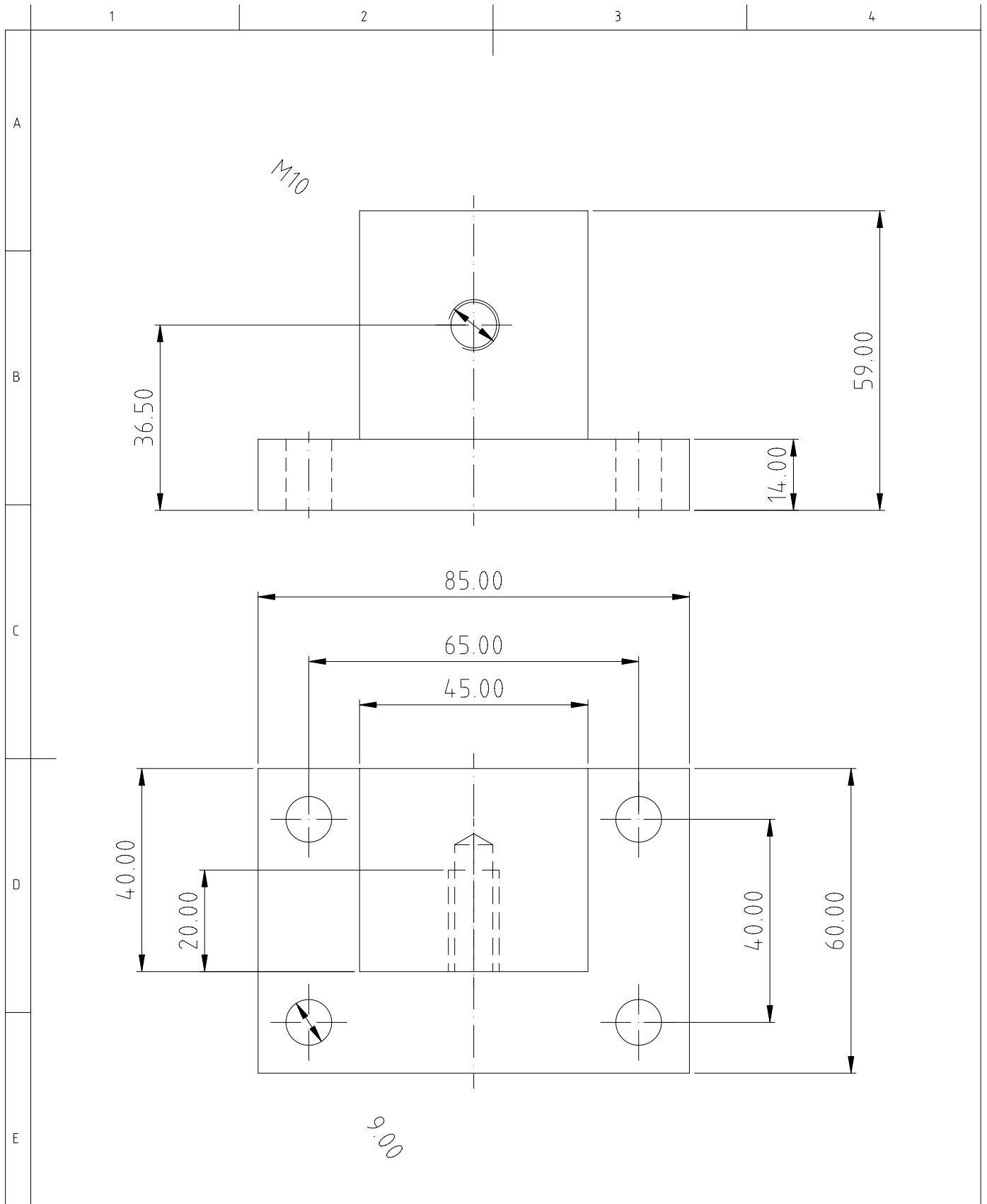
PESO:

ESCALA:1:3

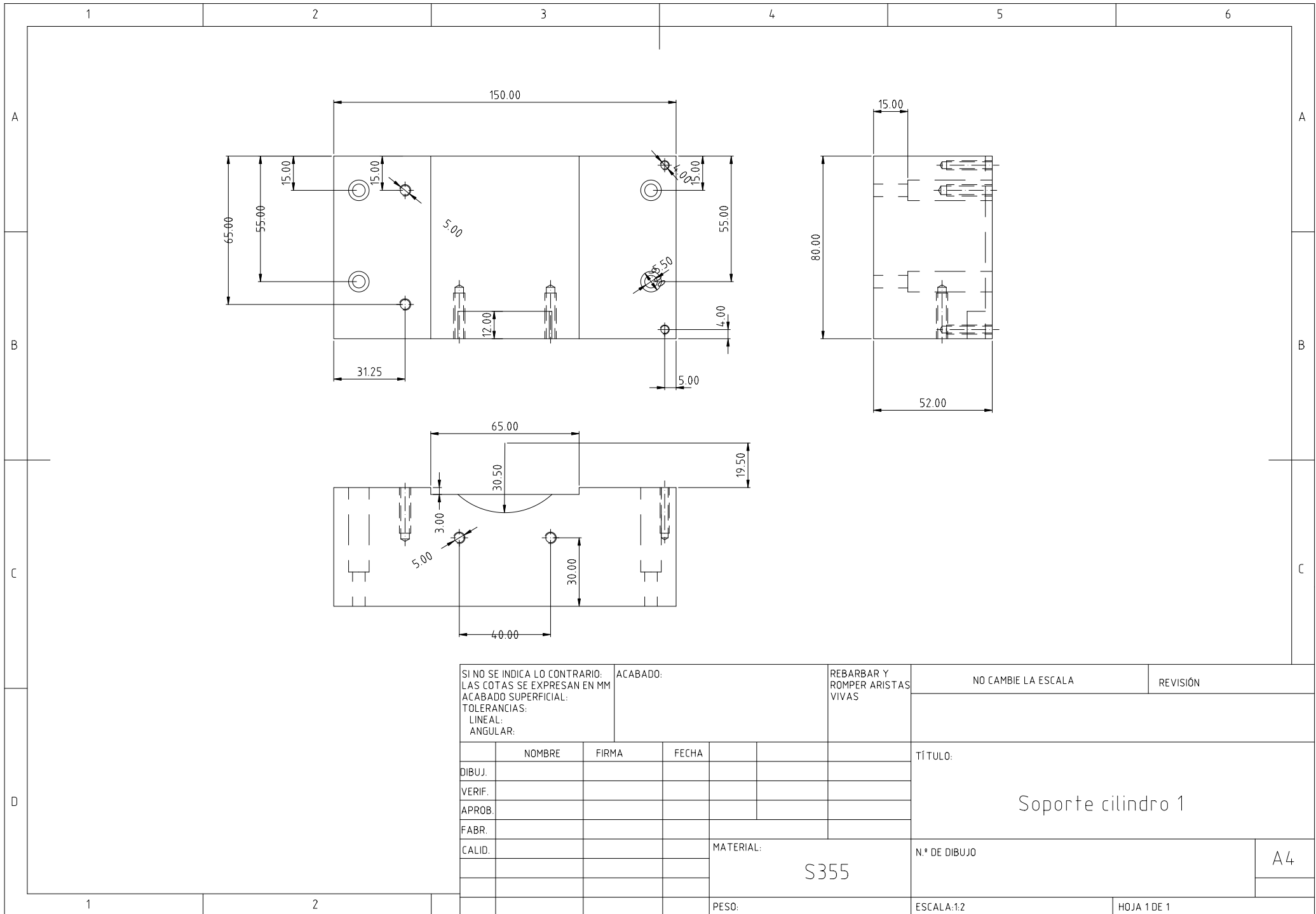
HOJA 1 DE 1



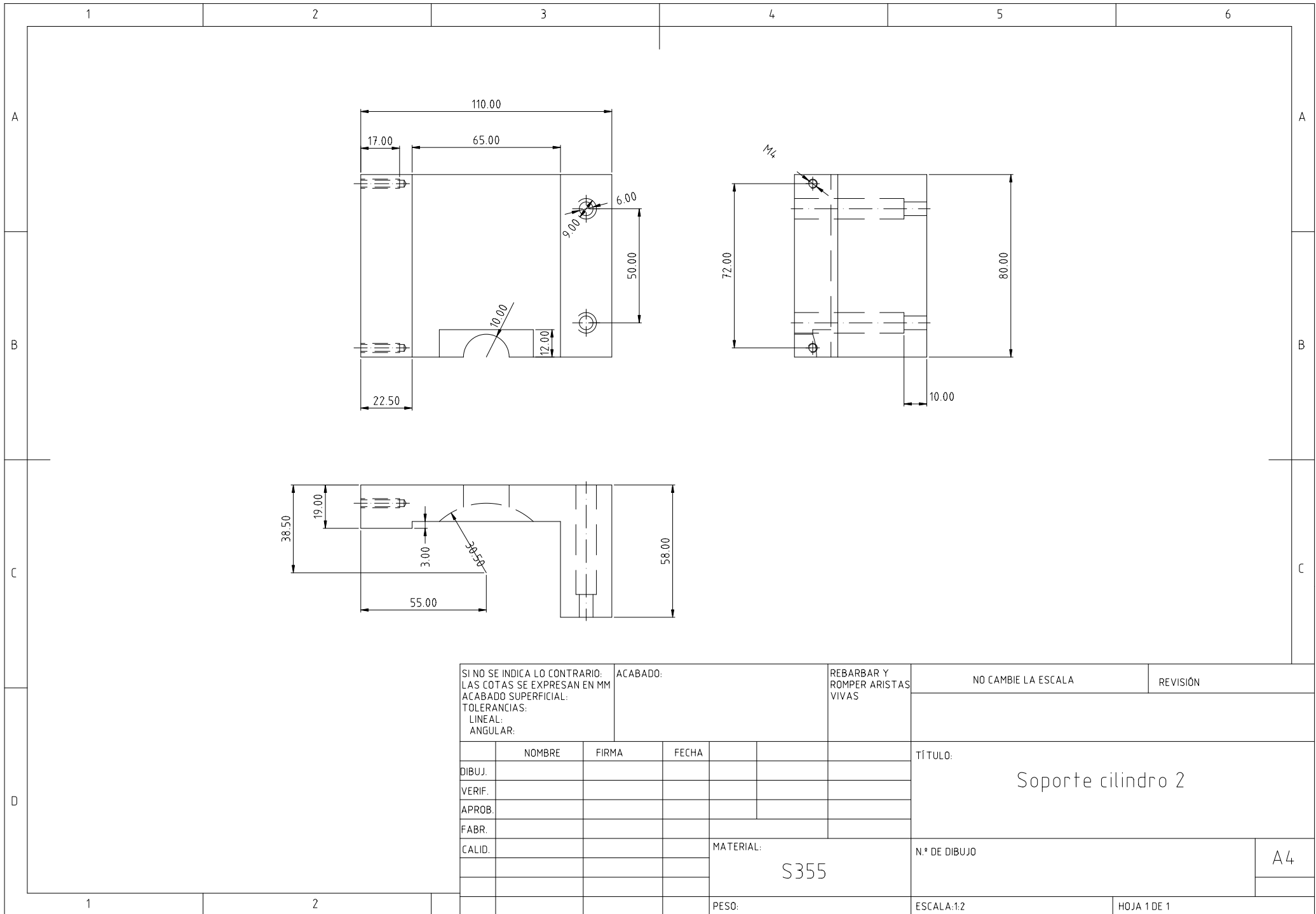
| | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|--|--|--|----------|--|---------------------------------------|--|---------------------------------|--|-------------|--|---------------|--|----|--|
| SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM ACABADO SUPERFICIAL: TOLERANCIAS: LINEAL: ANGULAR: | | | | ACABADO: | | REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS | | NO CAMBIE LA ESCALA | | REVISIÓN | | | | | |
| | | | | | | | | TÍTULO: Soporte célula 1 | | | | | | | |
| DIBUJ. | | | | FIRMA | | FECHA | | | | | | N.º DE DIBUJO | | A4 | |
| VERIF. | | | | | | | | | | | | | | | |
| APROB. | | | | | | | | | | | | | | | |
| FABR. | | | | | | | | | | | | | | | |
| CALID. | | | | | | MATERIAL: S355 | | | | | | | | | |
| | | | | | | PESO: | | ESCALA:1:2 | | HOJA 1 DE 1 | | | | | |



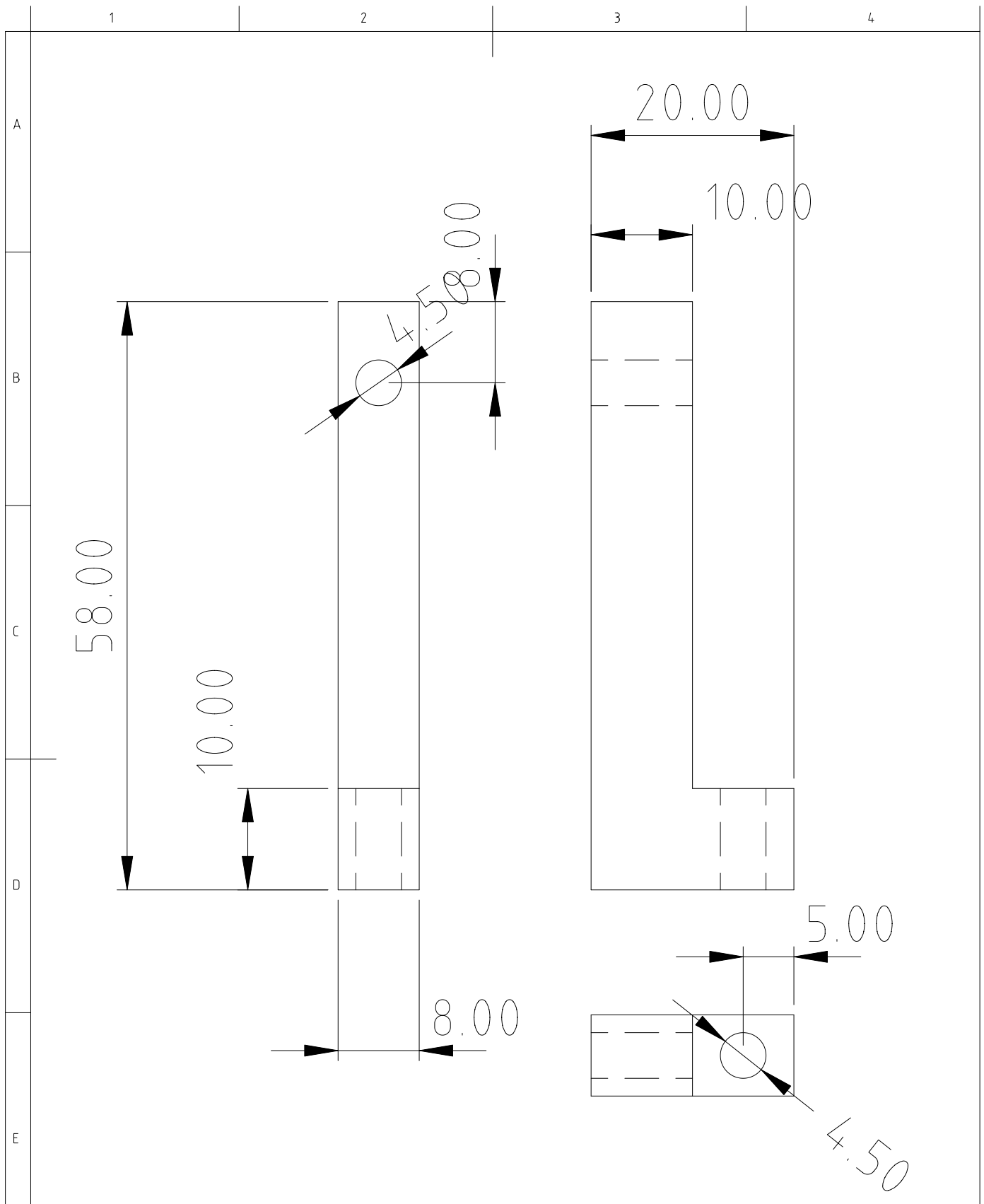
| | | | | | | | | | |
|---|--|----------|--|---------------------------------------|--|---------------------|--|------------------|--|
| SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM ACABADO SUPERFICIAL: TOLERANCIAS: LINEAL: ANGULAR: | | ACABADO: | | REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS | | NO CAMBIE LA ESCALA | | REVISIÓN | |
| DIBUJ. | | FIRMA | | FECHA | | TÍTULO: | | Soporte célula 2 | |
| VERIF. | | | | | | | | | |
| APROB. | | | | | | | | | |
| FABR. | | | | | | MATERIAL: | | N.º DE DIBUJO | |
| CALID. | | | | | | S355 | | A4 | |
| | | | | | | PESO: | | ESCALA:1:1 | |
| | | | | | | | | HOJA1 DE 1 | |



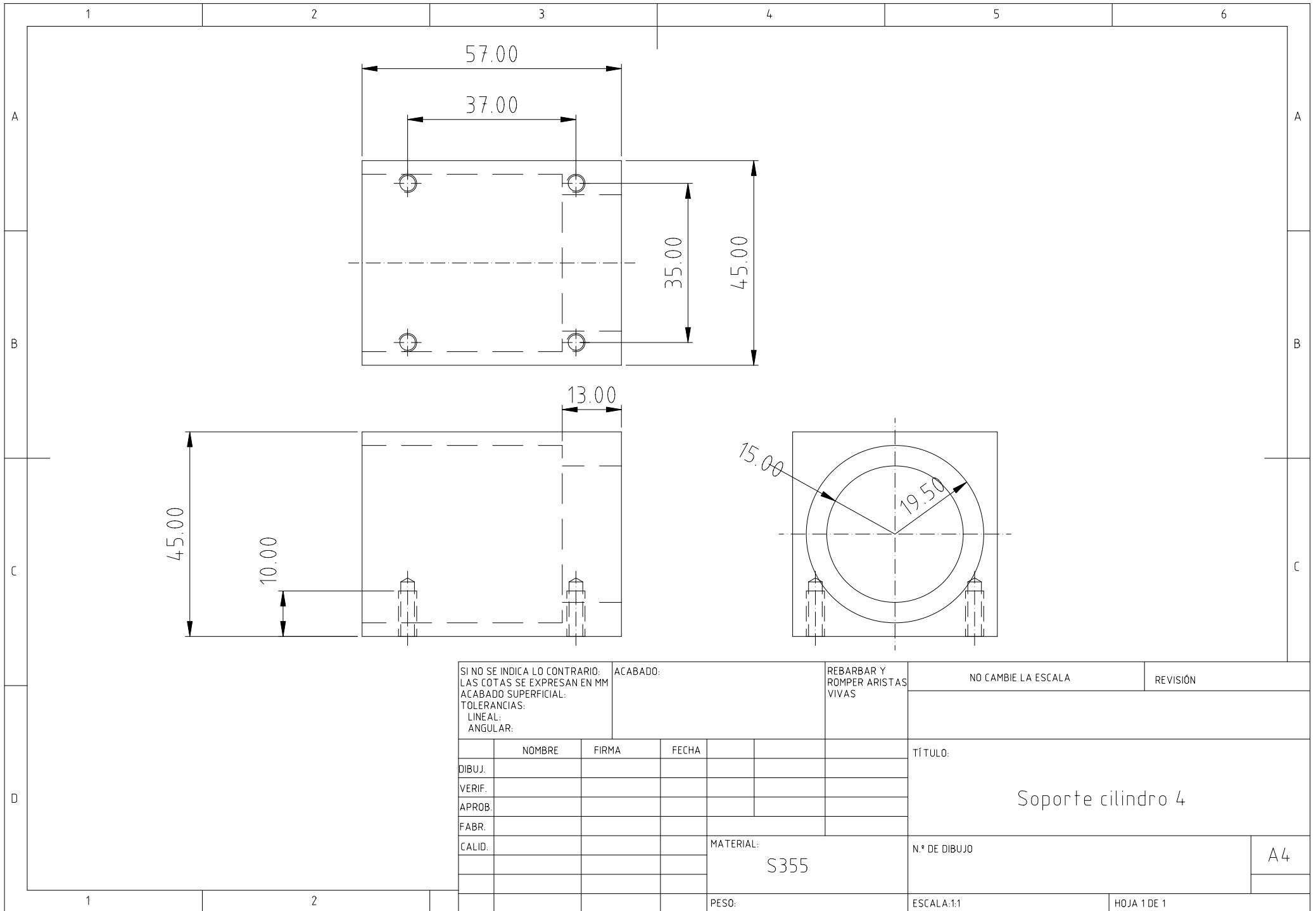
| | | | | | | | | | | | | | |
|---|--|--|----------|--|--|---------------------------------------|--|---------------------|--------------------|----------|--|------------|--|
| SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM ACABADO SUPERFICIAL: TOLERANCIAS: LINEAL: ANGULAR: | | | ACABADO: | | | REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS | | NO CAMBIE LA ESCALA | | REVISIÓN | | | |
| DIBUJ. | | | FIRMA | | | TÍTULO: | | | Soporte cilindro 1 | | | | |
| VERIF. | | | FECHA | | | MATERIAL: | | | | | | | |
| APROB. | | | | | | S355 | | | | | | | |
| FABR. | | | | | | N.º DE DIBUJO | | | | | | A4 | |
| CALID. | | | | | | PESO: | | | | | | ESCALA:1:2 | |

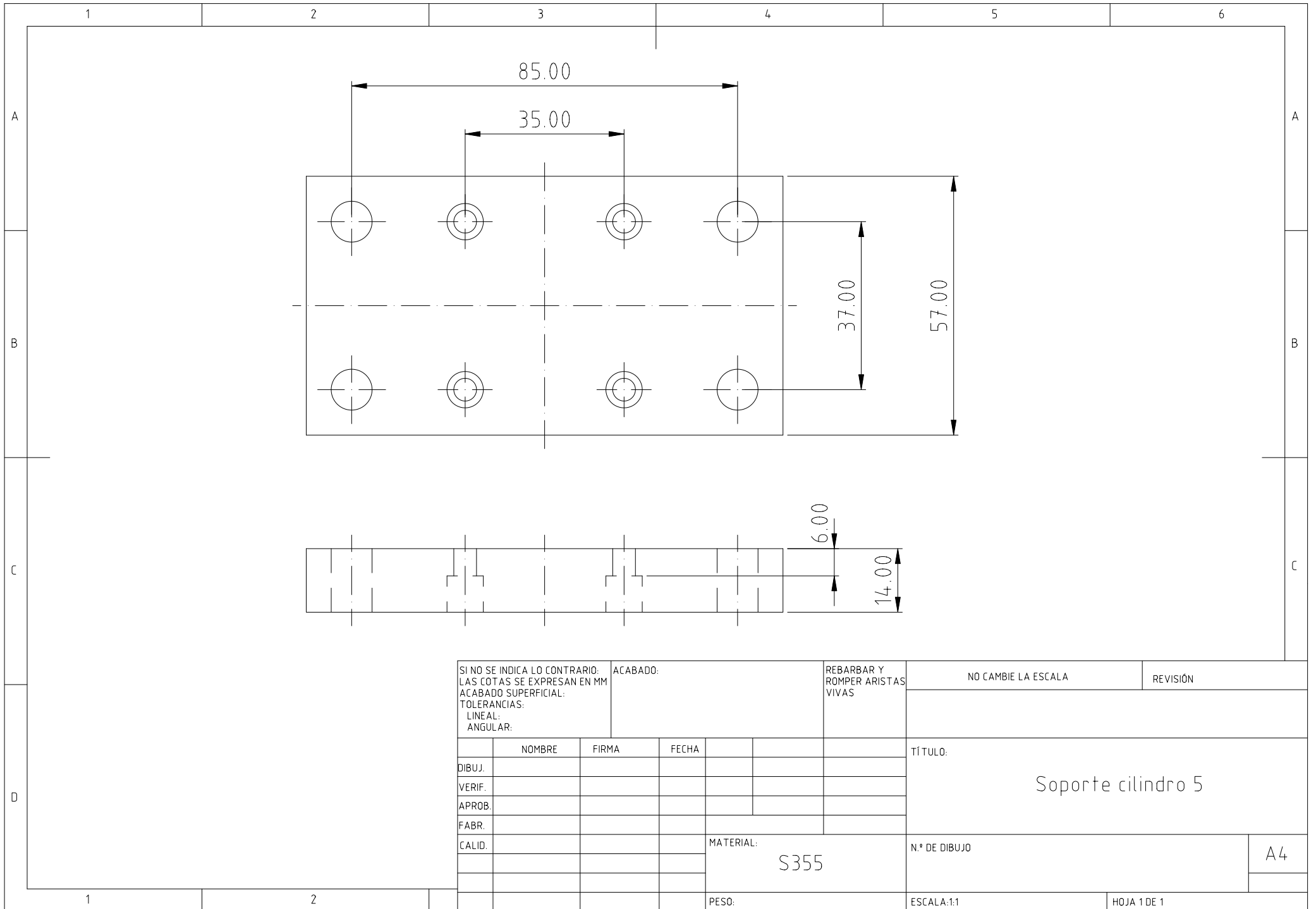


| | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|--|--|----------|--|--|--|--|--|--|-------------|--|---------------|--|----|--|
| SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM ACABADO SUPERFICIAL: TOLERANCIAS: LINEAL: ANGULAR: | | | ACABADO: | | | REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS | | NO CAMBIE LA ESCALA | | REVISIÓN | | | | | |
| | | | | | | | | TÍTULO: <h2 style="text-align: center;">Soporte cilindro 2</h2> | | | | | | | |
| DIBUJ. | | | FIRMA | | | FECHA | | | | | | N.º DE DIBUJO | | A4 | |
| VERIF. | | | | | | | | | | | | | | | |
| APROB. | | | | | | | | | | | | | | | |
| FABR. | | | | | | | | | | | | | | | |
| CALID. | | | | | | MATERIAL: <h3 style="text-align: center;">S355</h3> | | | | | | | | | |
| | | | | | | PESO: | | ESCALA:1:2 | | HOJA 1 DE 1 | | | | | |



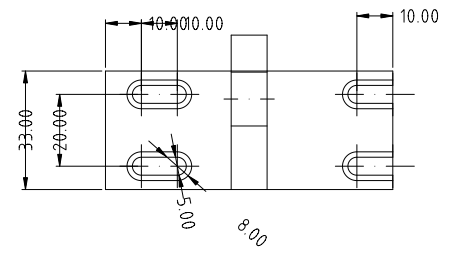
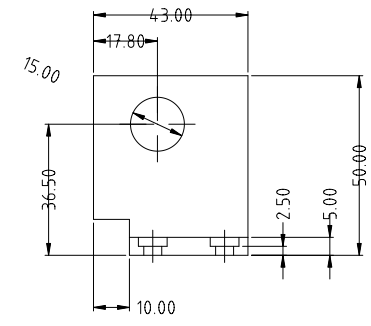
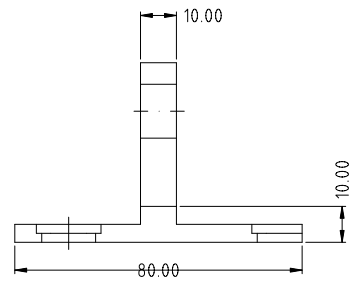
| | | | | | | | | | |
|---|--|----------|--|---------------------------------------|--|---------------------|--|--------------------|--|
| SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM ACABADO SUPERFICIAL: TOLERANCIAS: LINEAL: ANGULAR: | | ACABADO: | | REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS | | NO CAMBIE LA ESCALA | | REVISIÓN | |
| DIBUJ. | | FIRMA | | FECHA | | TÍTULO: | | Soporte cilindro 3 | |
| VERIF. | | | | | | | | | |
| APROB. | | | | | | | | | |
| FABR. | | | | | | MATERIAL: | | N.º DE DIBUJO | |
| CALID. | | | | | | S355 | | A4 | |
| | | | | | | PESO: | | ESCALA:1:1 | |
| | | | | | | | | HOJA1 DE 1 | |



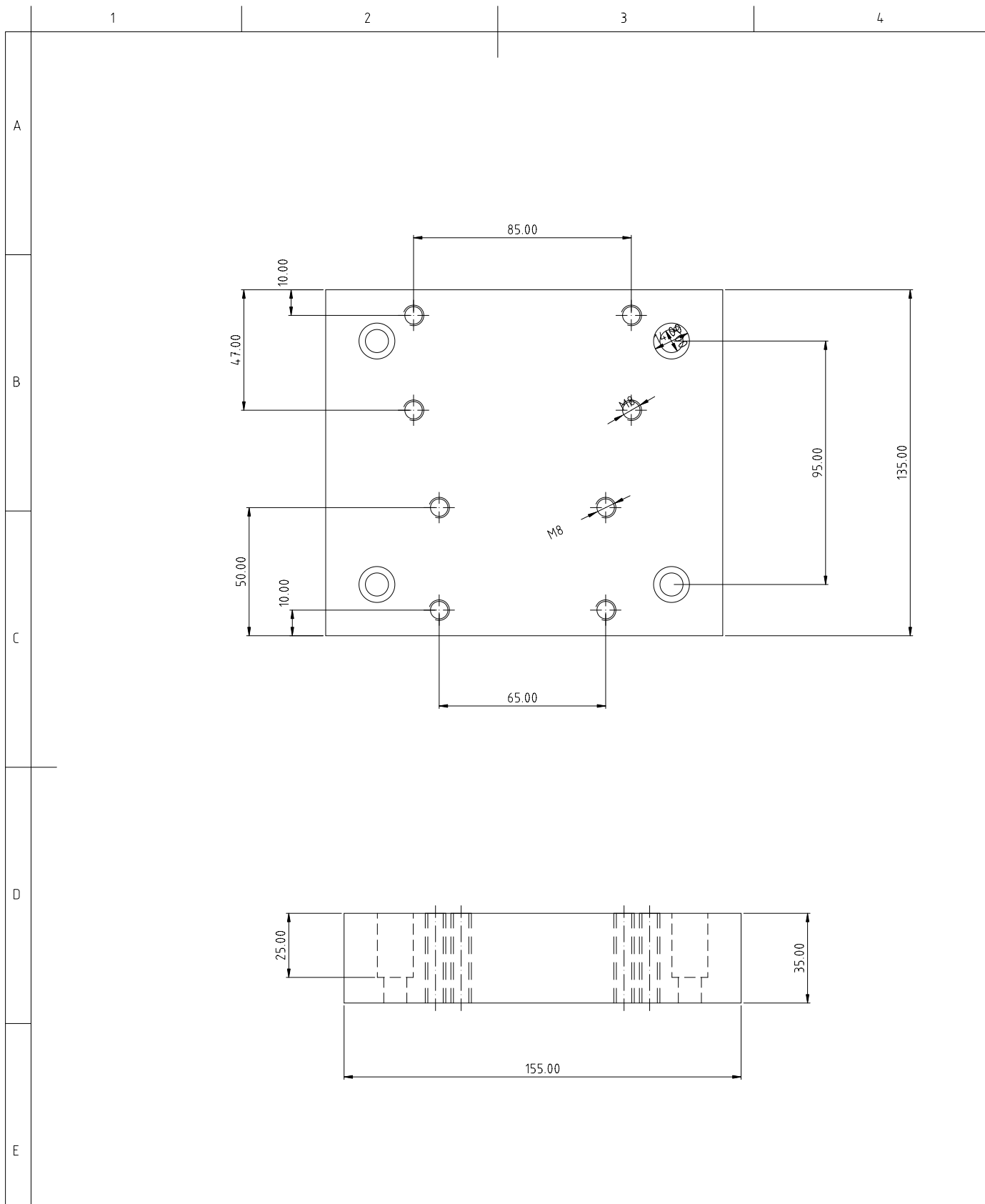


| | | | | | | | | | | | |
|---|--|--|----------|--|--|---------------------------------------|--|-----------------------------------|--|----------|-------------|
| SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM ACABADO SUPERFICIAL: TOLERANCIAS: LINEAL: ANGULAR: | | | ACABADO: | | | REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS | | NO CAMBIE LA ESCALA | | REVISIÓN | |
| | | | | | | | | TÍTULO: Soporte cilindro 5 | | | |
| | | | | | | | | N.º DE DIBUJO | | | A4 |
| | | | | | | MATERIAL: S355 | | ESCALA:1:1 | | | HOJA 1 DE 1 |
| | | | | | | PESO: | | | | | |

| | NOMBRE | FIRMA | FECHA | | | |
|--------|--------|-------|-------|--|--|--|
| DIBUJ. | | | | | | |
| VERIF. | | | | | | |
| APROB. | | | | | | |
| FABR. | | | | | | |
| CALID. | | | | | | |



| | | | | | | | | | | | |
|---|--|--|--|----------|--|---------------------------------------|--|-----------------------------------|--|----------|--|
| SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM ACABADO SUPERFICIAL: TOLERANCIAS: LINEAL: ANGULAR: | | | | ACABADO: | | REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS | | NO CAMBIE LA ESCALA | | REVISIÓN | |
| | | | | | | | | TÍTULO: Soporte cilindro 6 | | | |
| DIBUJ. | | | | FIRMA | | FECHA | | MATERIAL: S355 | | | |
| VERIF. | | | | | | | | N.º DE DIBUJO | | | |
| APROB. | | | | | | | | A4 | | | |
| FABR. | | | | | | | | PESO: | | | |
| CALID. | | | | | | | | ESCALA:1:2 | | | |
| | | | | | | | | HOJA 1 DE 1 | | | |



SI NO SE INDICA LO CONTRARIO:
 LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM
 ACABADO SUPERFICIAL:
 TOLERANCIAS:
 LINEAL:
 ANGULAR:

ACABADO:

REBARBAR Y
 ROMPER ARISTAS
 VIVAS

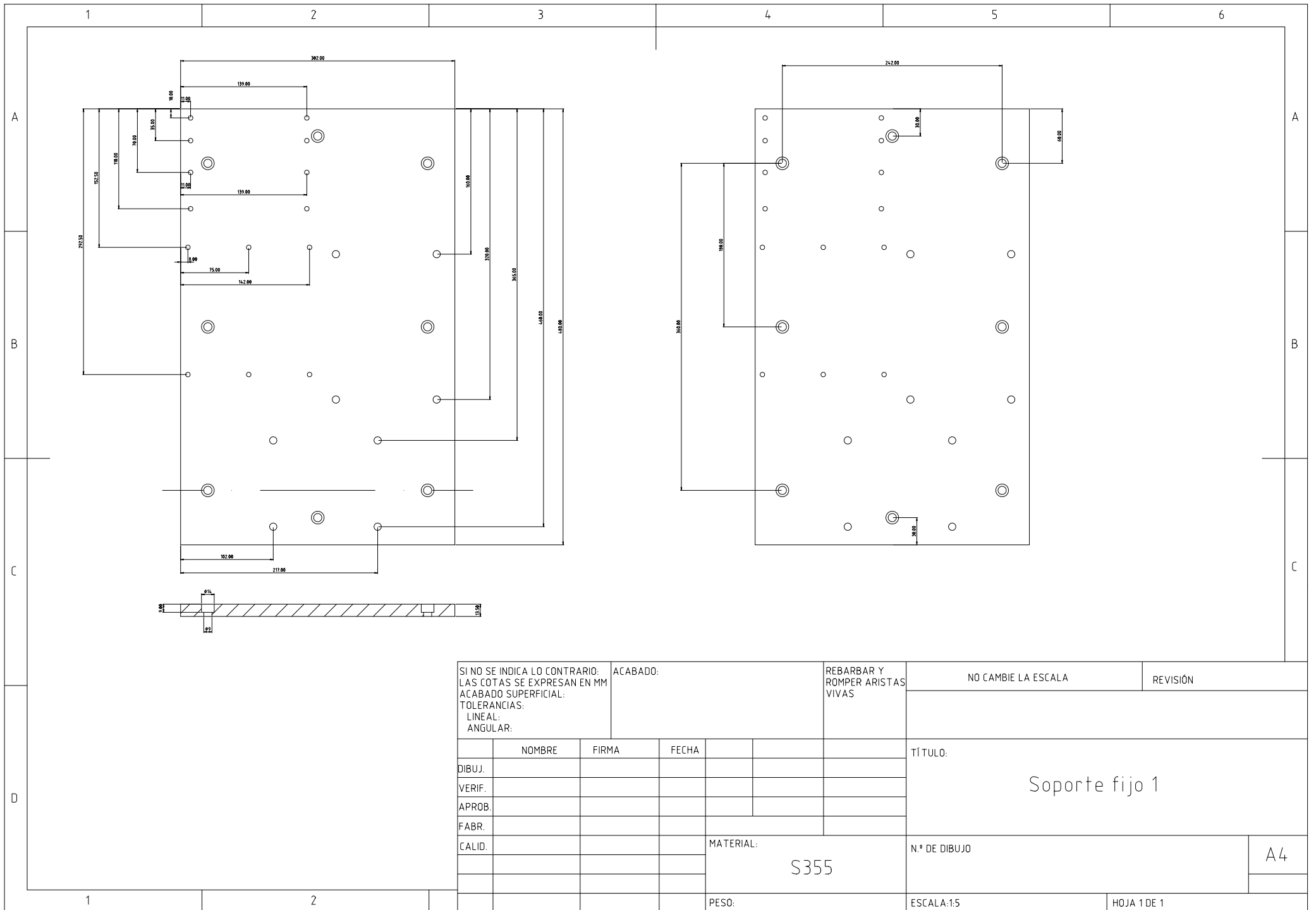
NO CAMBIE LA ESCALA

REVISIÓN

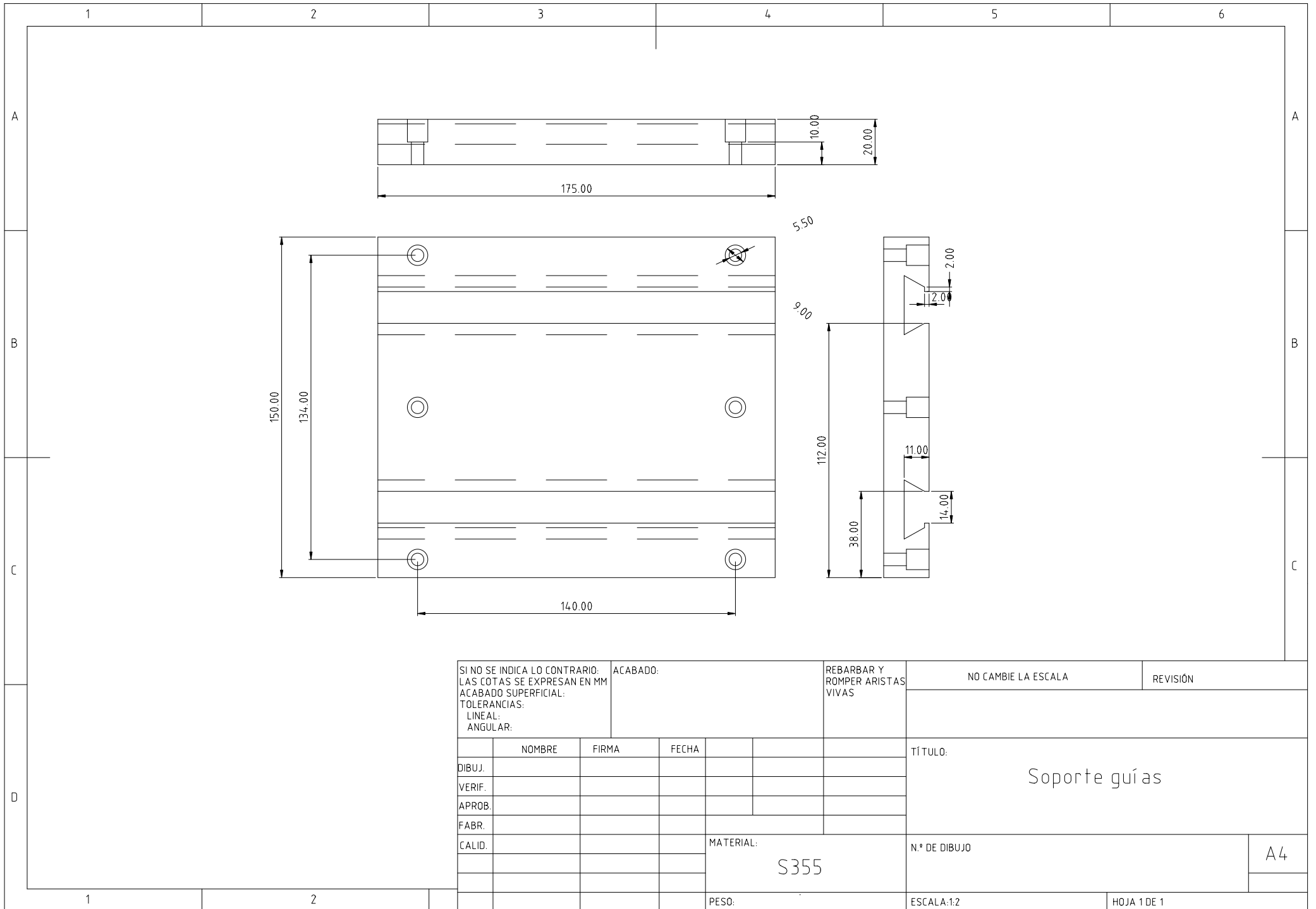
| | NOMBRE | FIRMA | FECHA | | | |
|--------|--------|-------|-------|--|--|--|
| DIBUJ. | | | | | | |
| VERIF. | | | | | | |
| APROB. | | | | | | |
| FABR. | | | | | | |
| CALID. | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |

| | | |
|---------------|--|----------------|
| TÍTULO: | | Soporte fijo 3 |
| N.º DE DIBUJO | | |
| MATERIAL: | | A4 |
| PESO: | | ESCALA:1:1 |
| | | HOJA1 DE 1 |

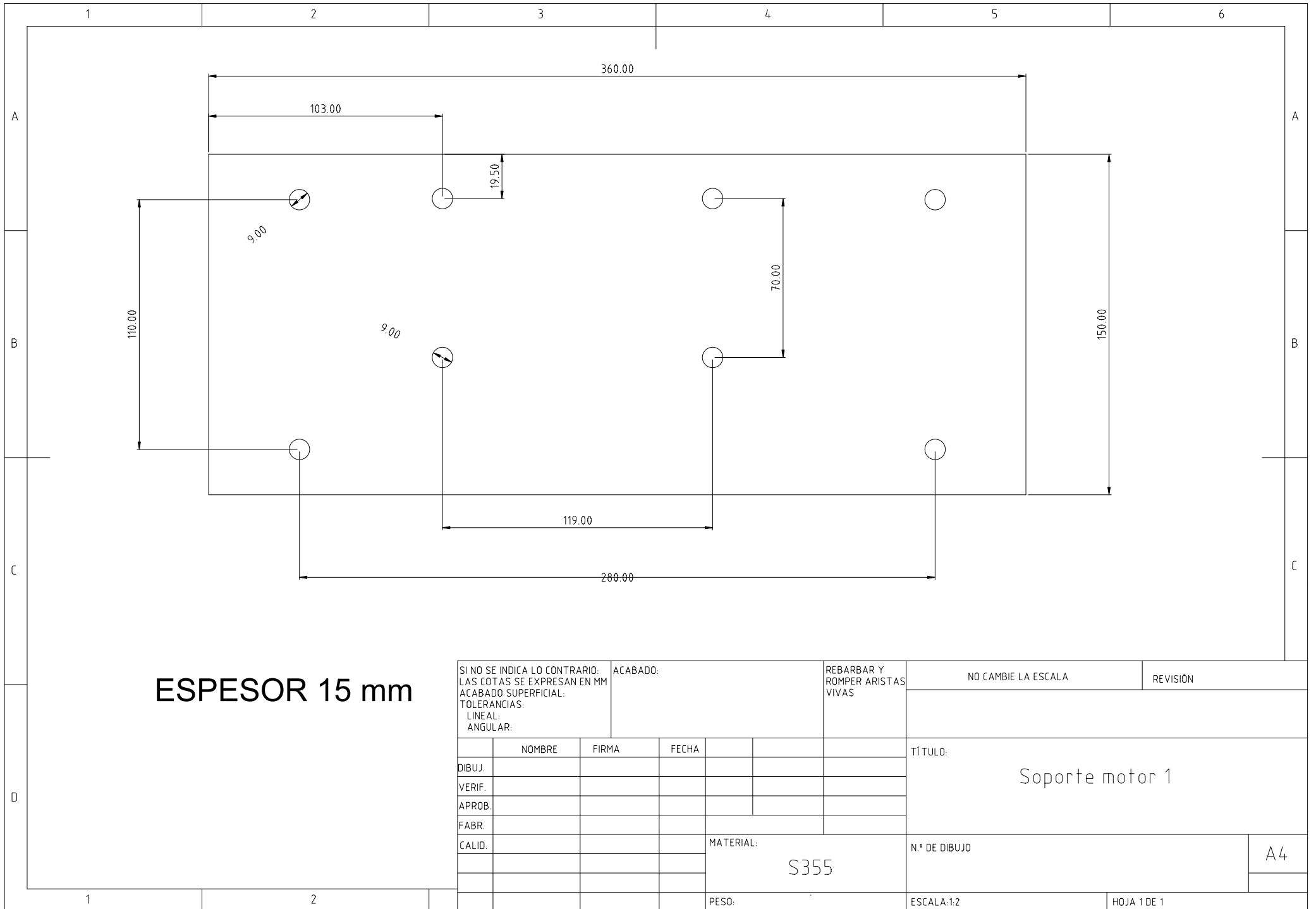
S355



| | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|--|--|----------|--|--|---------------------------------|--|-------------------------------|--|-------------|--|---------------|--|----|--|
| SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM ACABADO SUPERFICIAL: TOLERANCIAS: LINEAL: ANGULAR: | | | ACABADO: | | | REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS | | NO CAMBIE LA ESCALA | | REVISIÓN | | | | | |
| | | | | | | | | TÍTULO: Soporte fijo 1 | | | | | | | |
| DIBUJ. | | | FIRMA | | | FECHA | | | | | | N.º DE DIBUJO | | A4 | |
| VERIF. | | | | | | | | | | | | | | | |
| APROB. | | | | | | | | | | | | | | | |
| FABR. | | | | | | | | | | | | | | | |
| CALID. | | | | | | MATERIAL: S355 | | | | | | | | | |
| | | | | | | PESO: | | ESCALA:1:5 | | HOJA 1 DE 1 | | | | | |

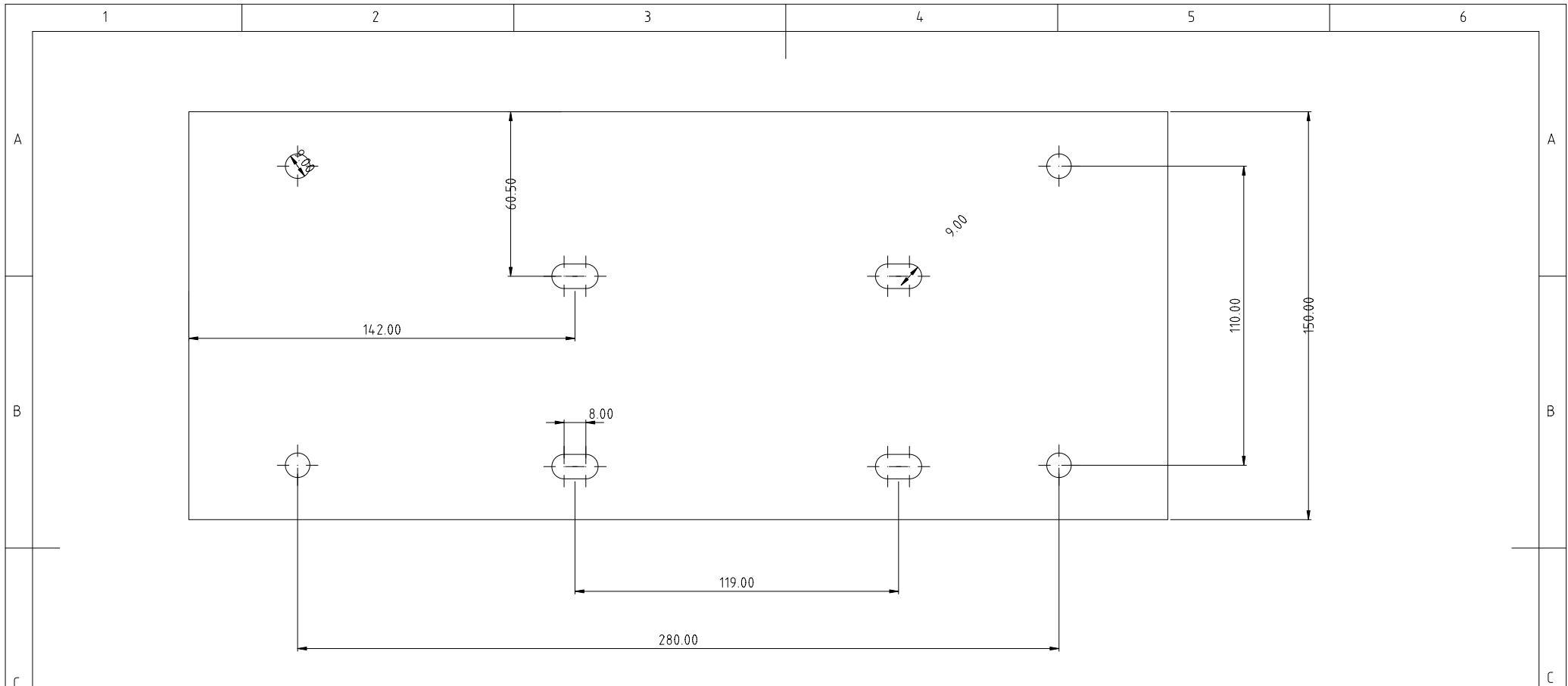


| | | | | | | | | | | | |
|---|--|--|----------|--|--|---------------------------------------|--|------------------------------|--|-------------|--|
| SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM ACABADO SUPERFICIAL: TOLERANCIAS: LINEAL: ANGULAR: | | | ACABADO: | | | REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS | | NO CAMBIE LA ESCALA | | REVISIÓN | |
| DIBUJ. | | | FIRMA | | | MATERIAL: | | TÍTULO: Soporte guías | | | |
| VERIF. | | | FECHA | | | S355 | | | | | |
| APROB. | | | | | | | | | | | |
| FABR. | | | | | | | | | | | |
| CALID. | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | PESO: | | N.º DE DIBUJO | | A4 | |
| | | | | | | | | ESCALA:1:2 | | HOJA 1 DE 1 | |



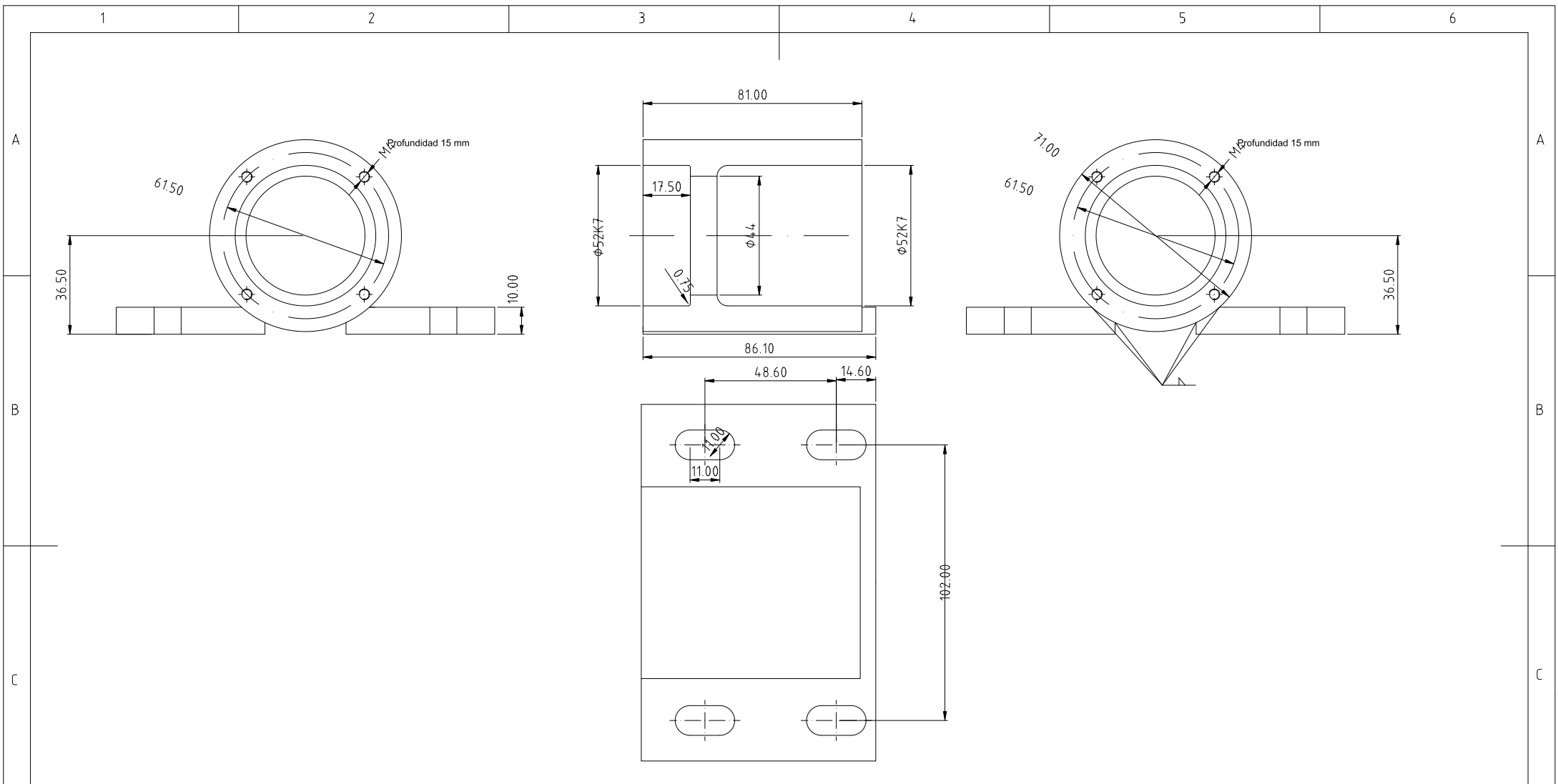
ESPESOR 15 mm

| | | | | | | | | | | | |
|---|--|--|----------|--|--|---------------------------------------|--|-----------------------------------|--|--------------------------|--|
| SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM ACABADO SUPERFICIAL: TOLERANCIAS: LINEAL: ANGULAR: | | | ACABADO: | | | REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS | | NO CAMBIE LA ESCALA | | REVISIÓN | |
| | | | | | | | | TÍTULO: Soporte motor 1 | | | |
| DIBUJ. | | | NOMBRE | | | FIRMA | | FECHA | | MATERIAL: S355 | |
| VERIF. | | | | | | | | | | N.º DE DIBUJO | |
| APROB. | | | | | | | | | | A4 | |
| FABR. | | | | | | | | | | ESCALA:1:2 | |
| CALID. | | | | | | | | | | HOJA 1 DE 1 | |
| | | | | | | | | | | PESO: | |

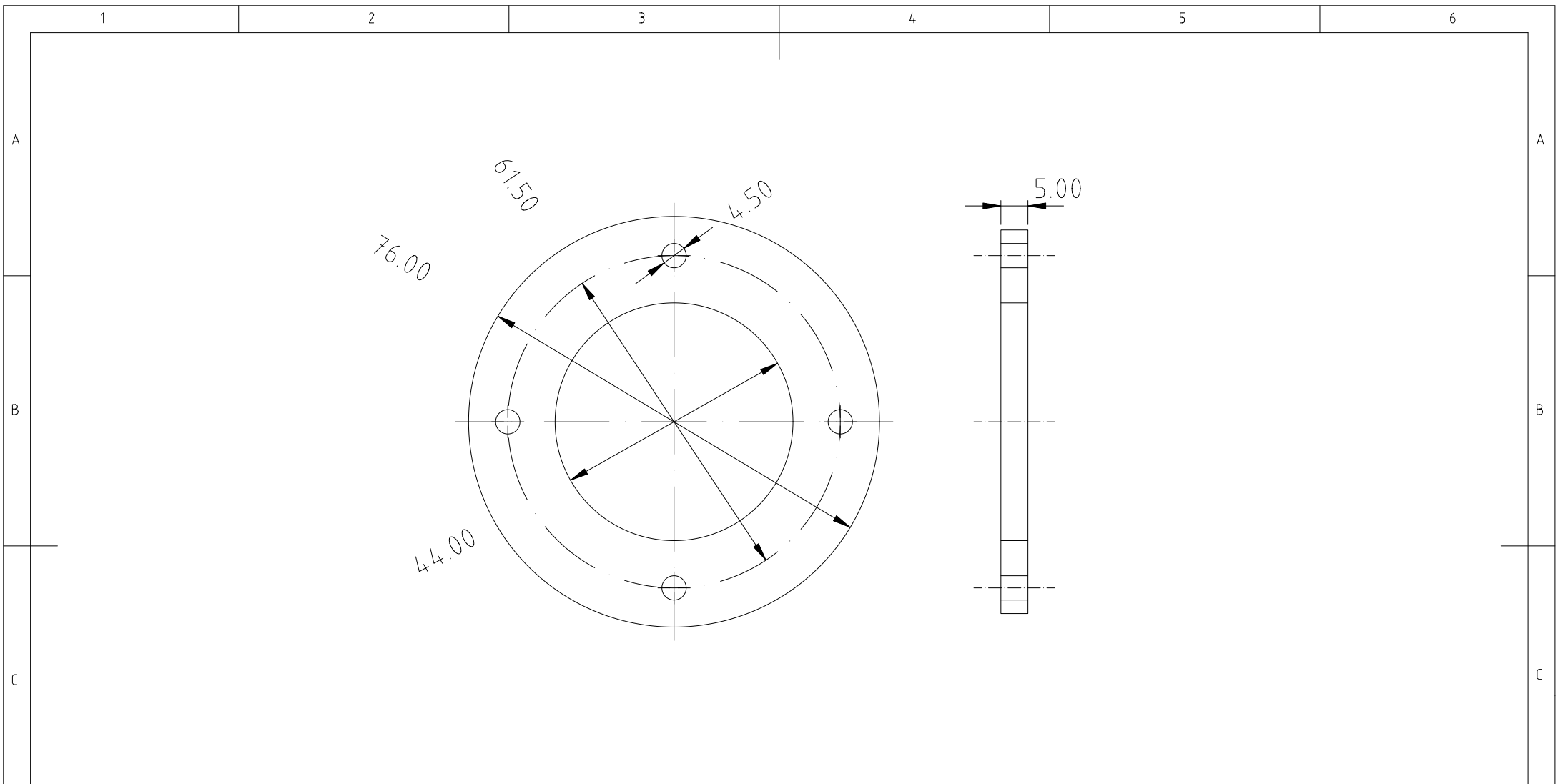


ESPESOR 15 mm

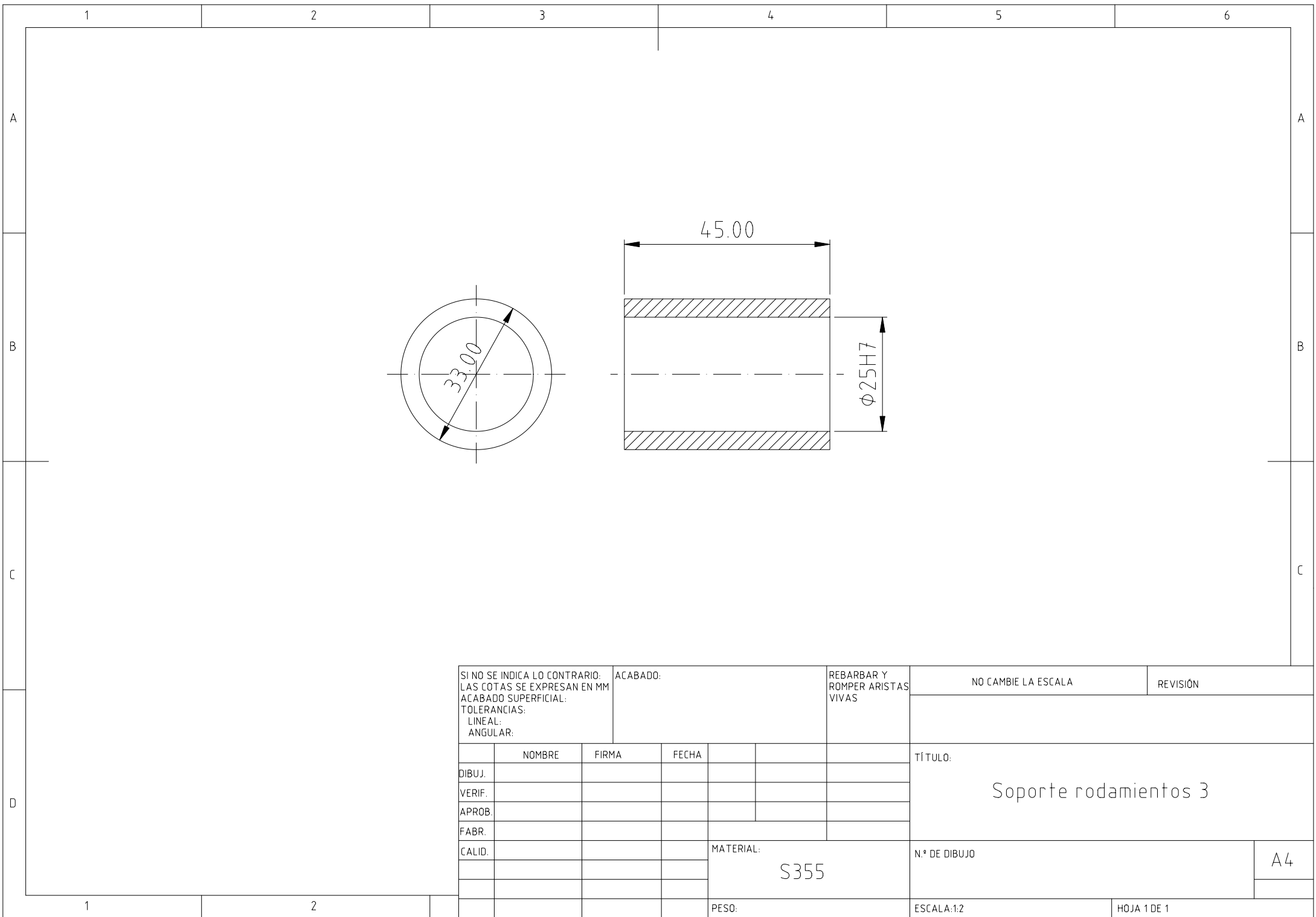
| | | | | | | | | | |
|---|--|----------|--|---------------------------------------|--|---------------------|--|-----------------|--|
| SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM ACABADO SUPERFICIAL: TOLERANCIAS: LINEAL: ANGULAR: | | ACABADO: | | REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS | | NO CAMBIE LA ESCALA | | REVISIÓN | |
| DIBUJ. | | FIRMA | | FECHA | | TÍTULO: | | Soporte motor 2 | |
| VERIF. | | | | | | | | | |
| APROB. | | | | | | | | | |
| FABR. | | | | | | | | | |
| CALID. | | | | MATERIAL: | | N.º DE DIBUJO | | A4 | |
| | | | | S355 | | | | | |
| | | | | PESO: | | ESCALA:1:2 | | HOJA 1 DE 1 | |



| | | | | | | | | | |
|---|--|----------|--|---------------------------------|--|---------------------|--|---------------|--|
| SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM ACABADO SUPERFICIAL: TOLERANCIAS: LINEAL: ANGULAR: | | ACABADO: | | REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS | | NO CAMBIE LA ESCALA | | REVISIÓN | |
| | | | | | | TÍTULO: | | | |
| DIBUJ. | | FIRMA | | FECHA | | | | | |
| VERIF. | | | | | | | | | |
| APROB. | | | | | | | | | |
| FABR. | | | | | | | | | |
| CALID. | | | | | | MATERIAL: S355 | | N.º DE DIBUJO | |
| | | | | | | PESO: | | ESCALA:1:2 | |
| | | | | | | | | HOJA 1 DE 1 | |



| | | | | | | | | | | | |
|---|--|--|----------|--|--|---------------------------------------|--|--------------------------------------|--|-----------------------|--|
| SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM ACABADO SUPERFICIAL: TOLERANCIAS: LINEAL: ANGULAR: | | | ACABADO: | | | REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS | | NO CAMBIE LA ESCALA | | REVISIÓN | |
| | | | | | | | | TÍTULO: Soporte rodamientos 2 | | | |
| DIBUJ. | | | NOMBRE | | | FIRMA | | FECHA | | MATERIAL: S355 | |
| VERIF. | | | | | | | | | | N.º DE DIBUJO | |
| APROB. | | | | | | | | | | A4 | |
| FABR. | | | | | | | | | | | |
| CALID. | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | PESO: | | ESCALA:1:2 | |
| | | | | | | | | | | HOJA 1 DE 1 | |



SI NO SE INDICA LO CONTRARIO:
 LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM
 ACABADO SUPERFICIAL:
 TOLERANCIAS:
 LINEAL:
 ANGULAR:

ACABADO:

REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS

NO CAMBIE LA ESCALA

REVISIÓN

| | NOMBRE | FIRMA | FECHA | | |
|--------|--------|-------|-------|--|--|
| DIBUJ. | | | | | |
| VERIF. | | | | | |
| APROB. | | | | | |
| FABR. | | | | | |
| CALID. | | | | | |

TÍTULO:

Soporte rodamientos 3

MATERIAL:

S355

N.º DE DIBUJO

A4

PESO:

ESCALA:1:2

HOJA 1 DE 1



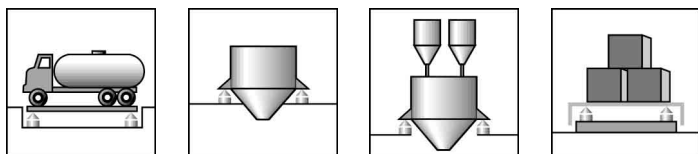
RTN...

Load cells



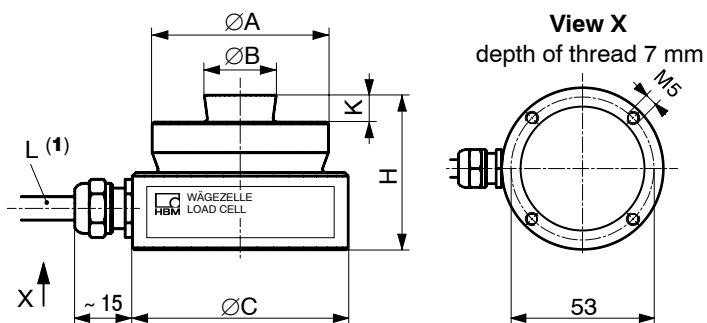
Special features

- Low construction
- Max. capacities: 1 t ... 470 t
- Legal for trade according to OIML
- Stainless steel
- Protection class IP 68
- High output signal of 2.85 mV/V
- Input resistance $\geq 4350 \Omega$
- Explosion proof versions according to ATEX (Option)

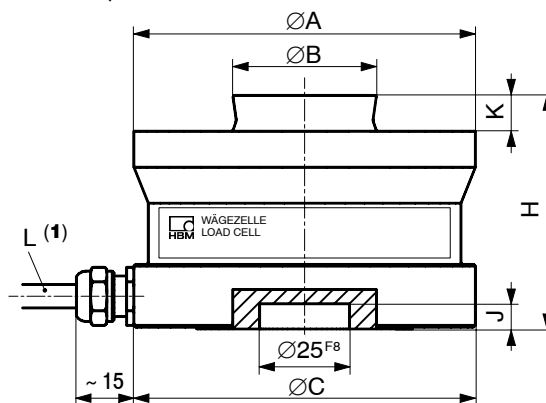


Dimensions (in mm; 1 mm= 0.03937 inches)

RTN... / $\leq 4,7$ t



RTN... / 10 t ... 470 t



| RTN... | 1 t | 2.2 t | 4.7 t | 10 t | 15 t | 22 t | 33 t | 47 t | 68 t | 100 t | 150 t | 220 t | 330 t | 470 t |
|--------|-----|-------|-------|------|------|------|------|------|------|-------|-------|-------|-------|-------|
| ØA | 49 | 49 | 49 | 74 | 75 | 75 | 95 | 130 | 130 | 150 | 150 | 225 | 225 | 270 |
| ØB | 20 | 20 | 20 | 30 | 30 | 30 | 40 | 60 | 60 | 70 | 70 | 100 | 100 | 120 |
| ØC | 60 | 60 | 60 | 75 | 75 | 75 | 95 | 130 | 130 | 150 | 150 | 225 | 225 | 270 |
| H | 43 | 43 | 43 | 50 | 50 | 50 | 65 | 75 | 85 | 90 | 100 | 130 | 145 | 170 |
| J | - | - | - | 7 | 7 | 7 | 7 | 7 | 7 | 7 | 7 | 10 | 10 | 10 |
| K | 7.5 | 7.5 | 7.5 | 6.5 | 6.5 | 6.5 | 10 | 14 | 14 | 16 | 16 | 24 | 24 | 28 |
| L | 5 m | 5 m | 5 m | 5 m | 5 m | 12 m | 15 m | 12 m | 12 m | 12 m | 5 m | 5 m | 5 m | 5 m |

(1) L = Cable length

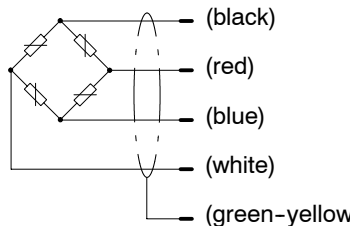


Specifications

| Type | | RTN 0,05 | RTN C3 |
|--|----------------|--|---------------------------------|
| Nominal (rated) load (E_{max}) | | 1 t ... 470 t | |
| Accuracy class | | 0.05 | C3 (OIML R60) |
| Maximum number of load cell intervals (n_{LC}) | | - | 3000 |
| Minimum LC verification interval (v_{min}) | % of E_{max} | - | 0.005 (= $E_{max} / 20000$) |
| Sensitivity (C_n) | mV/V | 2.85 ± 0.1 % | |
| Temperature effect on sensitivity (TK_C) | % of C_n | ± 0.05 | ± 0.008 ¹⁾ |
| Temperature effect on zero balance (TK_0) | / 10 K | ± 0.03 | ± 0.007 |
| Hysteresis error (d_{hy}) | | ± 0.05 | ± 0.02 ¹⁾ |
| Non-linearity (d_{lin}) | % of C_n | ± 0.05 | ± 0.02 ¹⁾ |
| Creep (d_{cr}) over 30 min. | | ± 0.03 | ± 0.017 |
| Input resistance (R_{LC}) | | 4450 ± 100 | |
| Output resistance (R_0) | Ω | 4010 ± 2 | 4010 ± 0.5 |
| Reference excitation voltage (U_{ref}) | | 5 | |
| Nominal range of excitation voltage (B_U) | V | 5 ... 30 (max. 60) | |
| Carrier frequency of the excitation voltage | Hz | < 600 | |
| Insulation resistance (R_{is}) | GΩ | > 20 | |
| Nominal temperature range (B_T) | | -10 ... +40 [+14 ... +104] | |
| Service temperature range (B_{tu}) | | -30 ... +80 [-22 ... +176] (Option: up to +110 °C / +230 °F) | |
| • Load cell RTN | °C [°F] | -30 ... +80 [-22 ... +176] | |
| • Accessory: VEN | | -30 ... +110 [-22 ... +230] | |
| • Accessory: VPN | | -50 ... +85 [-58 ... +185] | |
| Storage temperature range (B_{tl}) | | -50 ... +85 [-58 ... +185] | |

| Nominal (rated) load (E_{max}) | t | 1 | 2.2 | 4.7 | 10 | 15 | 22 | 33 | 47 | 68 | 100 | 150 | 220 | 330 | 470 |
|---|----------------|--|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Weight (G), approx. | kg | 0.6 | 0.6 | 0.7 | 1.2 | 1.3 | 1.3 | 2.1 | 4.3 | 4.8 | 7.0 | 8.6 | 22 | 29 | 50 |
| Safe load limit (E_L) | t | 1.7 | 3.8 | 8 | 17 | 25 | 38 | 56 | 80 | 115 | 170 | 250 | 380 | 500 | 700 |
| Breaking load (E_d) | | 4 | 9 | 19 | 40 | 60 | 88 | 130 | 190 | 270 | 400 | 600 | 770 | 1100 | 1500 |
| Permissible static side load (L_q) | | 0.5 ($E_{max} - 0.8 L_z$), but no higher than $L_{q max} = 0.3 E_{max}$ E_{max} = Nominal (rated) load; L_z = load in measuring direction | | | | | | | | | | | | | |
| Permissible dynamic load (F_{srel}) (vibration amplitude according to DIN 50100) | % of E_{max} | 70 | | | | | | | | | | | | | |
| Deflection at E_{max} (s_{nom}), approx. | mm | 0.13 | 0.12 | 0.12 | 0.17 | 0.18 | 0.21 | 0.25 | 0.33 | 0.35 | 0.45 | 0.57 | 0.67 | 0.85 | 1.00 |
| Protection class to EN60529 (IEC529) | | IP 68 (test conditions 100 h at 1 m water column) | | | | | | | | | | | | | |
| Material: Measuring element Cable fitting Cable-sheath | | Stainless steel Brass, nickel plated / Sealing: CR/NBR Special silikon, RAL 7000 (grey), Ø6.5 mm | | | | | | | | | | | | | |

¹⁾ The data for Non-linearity (d_{lin}), Hysteresis error (d_{hy}) and Temperature effect on sensitivity (TK_C) are typical values. The sum of these data meets the requirements according to OIML R60.

| Wiring code RTN... | | |
|---|----------------|----------------|
|  | (black) | Excitation (+) |
| | (red) | Signal (+) |
| | (blue) | Excitation (-) |
| | (white) | Signal (-) |
| | (green-yellow) | Shield |

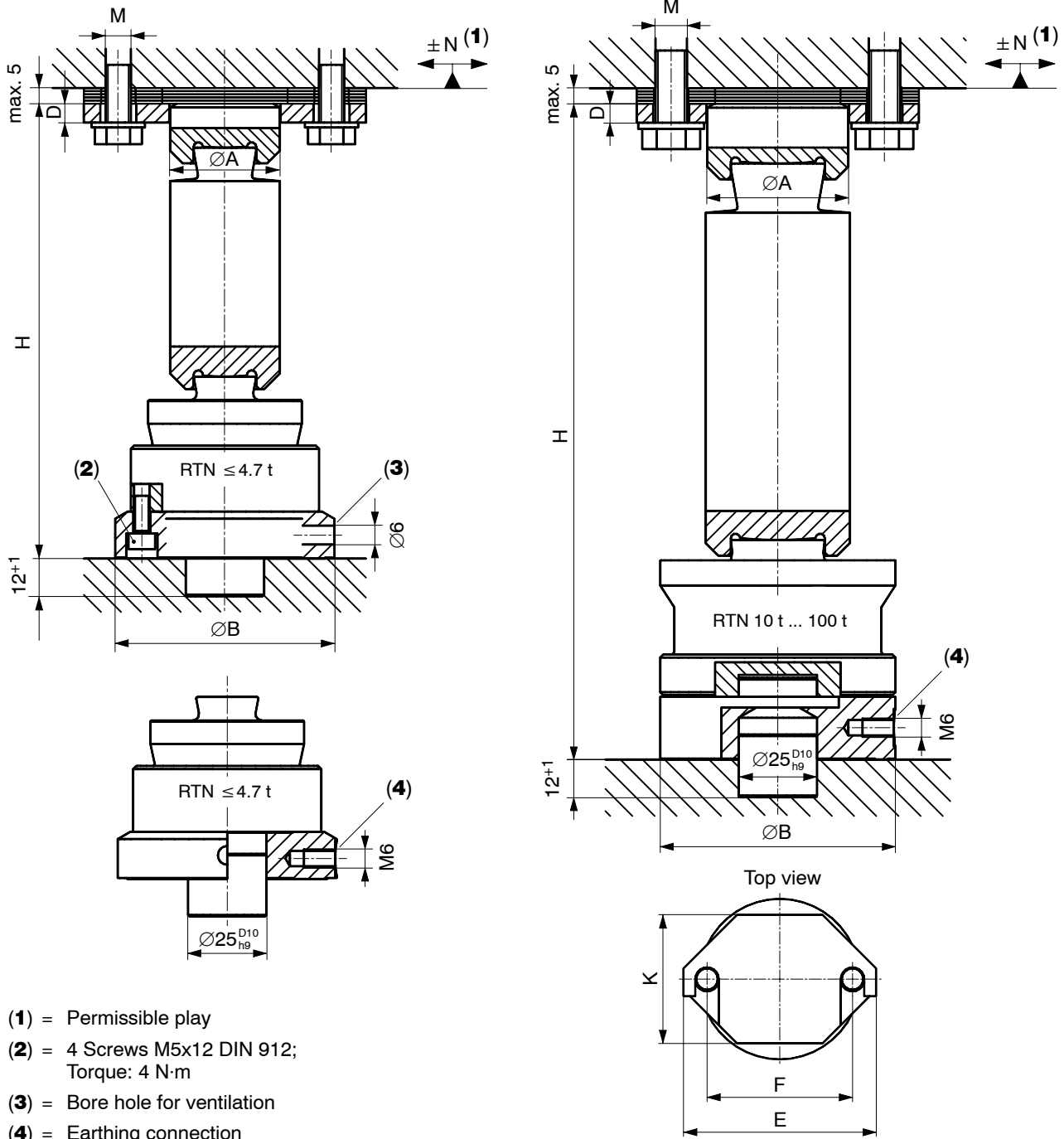
Available Options:

- **Explosion-proof versions according to ATEX:** Ex II 2G EEx ia IIC T4 resp. T6 (Zone 1) *)
Ex II 2D Ex tD A21 IP68 T 80 °C (Zone 21) *)
*) with EC-Type Examination Certificate
Ex II 3G EEx nA II T6 (Zone 2)
Ex II 3D IP68 T 80 °C (Zone 22 for non-conductive dust)
- **Service temperature range up to +110 °C** (not possible in connection with ATEX and / or Elastomer mounts VEN)

Accessory: Pendulum mounts VPN (Dimensions in mm; 1 mm = 0.03937 inches)

RTN/...T/VPN (Pendulum mounts for Load cells RTN... / 1 t ... 100 t)

Material: Stainless steel



- (1) = Permissible play
- (2) = 4 Screws M5x12 DIN 912;
Torque: 4 N·m
- (3) = Bore hole for ventilation
- (4) = Earthing connection

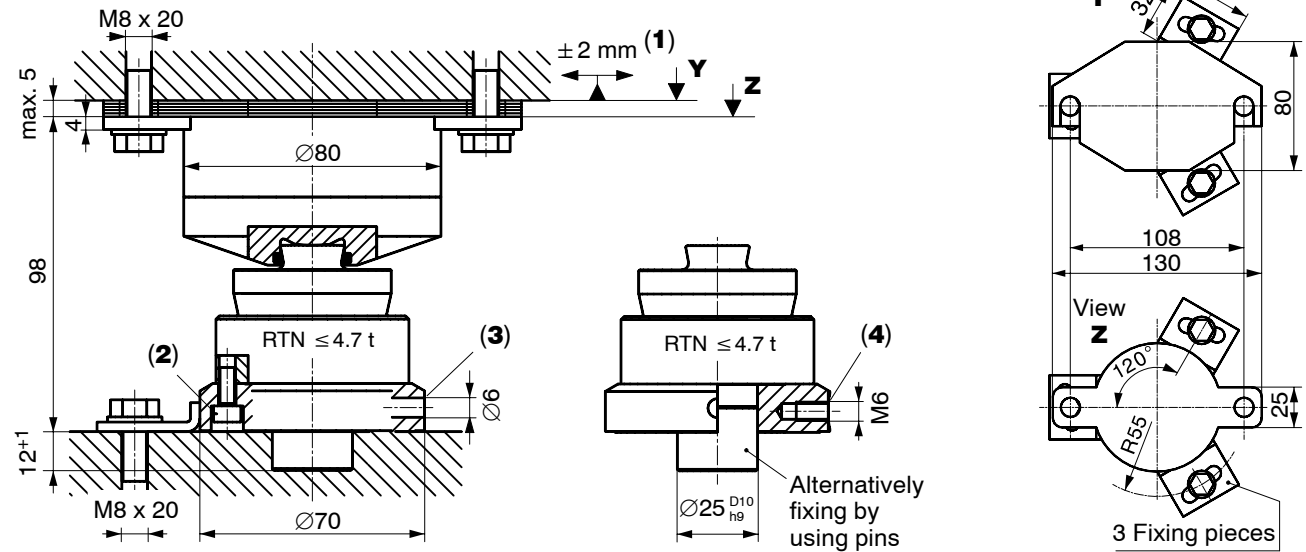
| Type (E_{max} Load cell) | ØA | ØB | D | E | F | H | K | M | N |
|-----------------------------|-----|-----|----|-----|-----|-----|-----|----------|-----|
| RTN/2.2T/VPN (1 t + 2.2 t) | 35 | 70 | 6 | 90 | 68 | 128 | 60 | M8 x 20 | 3.5 |
| RTN/4.7T/VPN (4.7 t) | 35 | 70 | 6 | 90 | 68 | 145 | 60 | M8 x 20 | 3.5 |
| RTN/10T/VPN (10 t) | 45 | 75 | 6 | 90 | 68 | 165 | 60 | M10 x 25 | 3.5 |
| RTN/15T/VPN (15 t) | 45 | 75 | 6 | 90 | 68 | 175 | 60 | M10 x 25 | 4 |
| RTN/22T/VPN (22 t) | 45 | 75 | 6 | 90 | 68 | 229 | 60 | M10 x 25 | 7 |
| RTN/33T/VPN (33 t) | 58 | 95 | 6 | 120 | 90 | 272 | 80 | M12 x 25 | 7 |
| RTN/47T/VPN (47 t) | 85 | 130 | 10 | 170 | 130 | 295 | 110 | M16 x 30 | 6 |
| RTN/68T/VPN (68 t) | 85 | 130 | 10 | 170 | 130 | 337 | 110 | M16 x 30 | 7 |
| RTN/100T/VPN (100 t) | 100 | 150 | 10 | 180 | 140 | 371 | 130 | M16 x 30 | 8 |

Accessory: Elastomer mounts VEN (Dimensions in mm; 1 mm = 0.03937 inches)

RTN/2.2T/VEN + RTN/4.7T/VEN (Elastomer mounts for Load cells RTN... / ≤ 4.7 t)

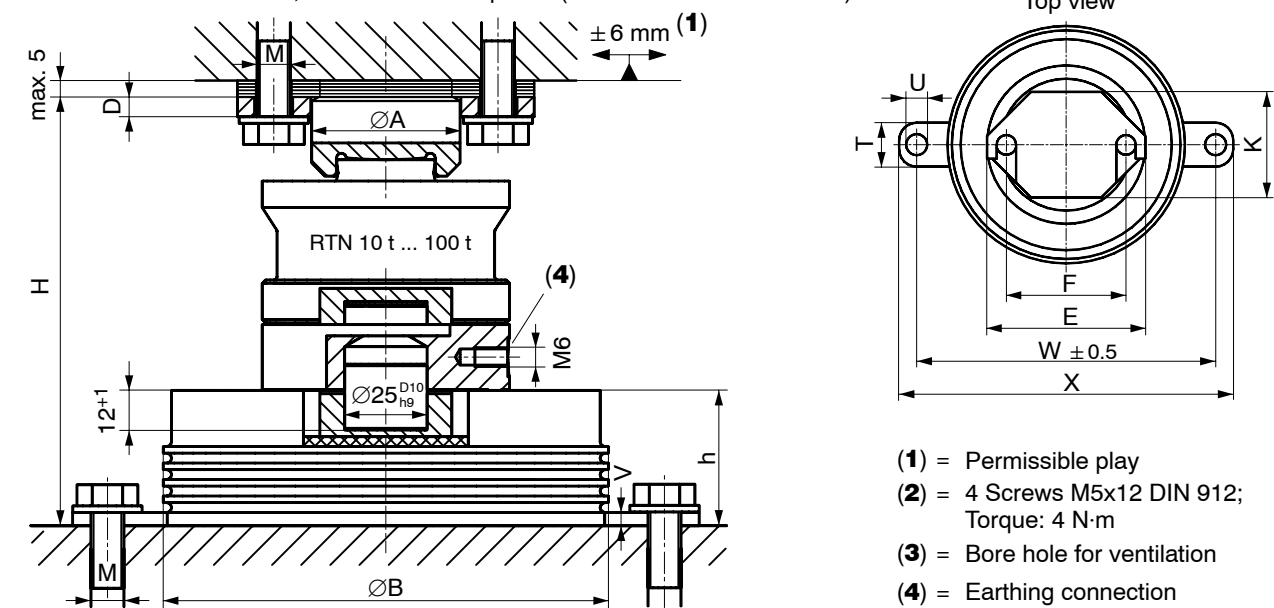
Material: Stainless steel; Elastomer = Neoprene (chlorine butadiene rubber)

Deflection < 0.8 mm (at 4.7 t)



RTN/...T/VEN (Elastomer mounts for Load cells RTN... / 10 t ... 100 t)*

Material: Galvanized steel; Elastomer = Neoprene (chlorine butadiene rubber)



| Type (E _{max} Load cell) | Deflection | ØA | ØB | D | E | F | H | h | K | M | T | ØU | V | W ± 0.5 | X |
|---|---------------|-----|-----|----|-----|-----|-----|----|-----|--------|----|----|---|---------|-----|
| RTN/22T/VENR (10 t ... 22 t) Stainless steel | 0.5 (at 22 t) | 45 | 135 | 6 | 90 | 68 | 130 | 41 | 60 | M10x25 | 25 | 12 | 4 | 170 | 190 |
| RTN/22T/VEN (10 t ... 22 t) | 0.5 (at 22 t) | 45 | 135 | 6 | 90 | 68 | 130 | 41 | 60 | M10x25 | 25 | 12 | 4 | 170 | 190 |
| RTN/33T/VEN (33 t) | 0.8 | 58 | 175 | 6 | 120 | 90 | 168 | 56 | 80 | M12x25 | 30 | 17 | 6 | 250 | 280 |
| RTN/47T/VEN (47 t) | 0.5 | 85 | 250 | 10 | 170 | 130 | 198 | 63 | 110 | M16x30 | 40 | 21 | 8 | 310 | 350 |
| RTN/68T/VEN (68 t) | 0.7 | 85 | 250 | 10 | 170 | 130 | 220 | 63 | 110 | M16x30 | 40 | 21 | 8 | 310 | 350 |
| RTN/100T/VEN (100 t) | 0.6 | 100 | 300 | 10 | 180 | 140 | 239 | 68 | 130 | M16x30 | 40 | 21 | 8 | 360 | 400 |

* Elastomer mounts VEN for higher capacities on request

Modifications reserved.

All details describe our products in general form only. They are not to be understood as express warranty and do not constitute any liability whatsoever.

Hottinger Baldwin Messtechnik GmbH

Im Tiefen See 45, D-64293 Darmstadt, Germany

Tel.: +49 6151 803-0; Fax: +49 6151 8039100

E-mail: support@hbm.com www.hbm.com



measurement with confidence

Montageanleitung

Mounting instructions

Notice de montage

Kraftaufnehmer

Force transducer

Capteur de force



U9B

A0137-6.4 de/en/fr



English **Seite 3 – 17**
Deutsch **Page 18 – 32**
Français **Page 33 – 46**

| Content | Page |
|---|-------------|
| Safety instructions | 4 |
| 1 Scope of delivery | 7 |
| 2 Field of application and notes on use | 7 |
| 3 Structure and mode of operation | 8 |
| 3.1 Measuring element | 8 |
| 3.2 Measuring procedure, output signal | 8 |
| 4 Conditions at the site of installation | 9 |
| 4.1 Ambient temperature | 9 |
| 4.2 Humidity and corrosion | 9 |
| 4.3 Deposits | 9 |
| 4.4 External pressure | 10 |
| 5 Mechanical installation | 11 |
| 5.1 Important precautions during installation | 11 |
| 5.2 General guidelines for installation | 11 |
| 5.2.1 Mounting for tensile and compressive forces | 11 |
| 6 Electrical connection | 12 |
| 6.1 Notes on wiring | 12 |
| 6.2 Allocation of the cable cores | 12 |
| 6.3 Connection technique | 13 |
| 6.4 Cable extensions | 14 |
| 7 Specifications | 14 |
| 8 Dimensions (in mm) | 16 |

Safety instructions

Use in accordance with the regulations

Force transducers in the U9B range are designed for measuring static and dynamic compressive forces. Use for any additional purpose shall be deemed to be **not** in accordance with the regulations.

In the interests of safety, the transducer should only be operated as described in the Mounting Instructions. It is also essential to observe the appropriate legal and safety regulations for the application concerned during use. The same applies to the use of accessories.

The transducer is not a safety element within the meaning of its use as intended. Proper and safe operation of this transducer requires proper transportation, correct storage, assembly and mounting and careful operation and maintenance.

General dangers due to non-observance of the safety instructions

The U9B force transducer corresponds to the state of the art and is fail-safe. The transducers can give rise to remaining dangers if they are inappropriately installed and operated by untrained personnel.

Everyone involved with the installation, commissioning, maintenance or repair of a force transducer must have read and understood the Mounting Instructions and in particular the technical safety instructions.

Remaining dangers

The scope of supply and performance of the transducer covers only a small area of force measurement technique. In addition, equipment planners, installers and operators should plan, implement and respond to the safety engineering considerations of force measurement technique in such a way as to minimise residual dangers. Prevailing regulations must be complied with at all times. There must be reference to the remaining dangers connected with force measurement technique.

In these mounting instructions residual dangers are pointed out using the following symbols:

Symbol:  **DANGER**

Meaning: **Highest level of danger**

Warns of a **directly** dangerous situation in which failure to comply with safety requirements **will** lead to death or serious physical injury.

Symbol:  **WARNING**


Meaning: **Possibly dangerous situation**

Warns of a **potentially** dangerous situation in which failure to comply with safety requirements **can** lead to death or serious physical injury.

Symbol:  **ATTENTION**

Meaning: **Possibly dangerous situation**

Warns of a **potentially** dangerous situation in which failure to comply with safety requirements **could** lead to damage to property, slight or moderate physical injury.

Symbol:  **NOTE**

Refers to the fact that important information is being given about the product or its use.

Symbol: **CE**

Meaning: **CE mark**

The CE mark enables the manufacturer to guarantee that the product complies with the requirements of the relevant EC directives (the declaration of conformity is available at <http://www.hbm.com/hbmdoc>).

Prohibition of own conversions and modifications

The transducer must not be modified from the design or safety engineering point of view except with our express agreement. Any modification shall exclude all liability on our part for any damage resulting therefrom.

Qualified personnel

This instrument is only to be installed by qualified personnel strictly in accordance with the specifications and with the safety rules and regulations which follow. It is also essential to observe the appropriate legal and safety regulations for the application concerned. The same applies to the use of accessories.

Qualified personnel means persons entrusted with the installation, fitting, commissioning and operation of the product who possess the appropriate qualifications for their function.

Conditions on site

Protect the transducer from humidity and weather influences such as rain, snow, etc. as well as excessive soiling.

The transducer complies with degree of protection IP67 per DIN EN 60529.

Maintenance

The U9B force transducer is maintenance free.

Accident prevention

Although the specified breaking force is several times the full scale value, the relevant accident prevention regulations from the trade associations must be taken into consideration.

1 Scope of delivery

U9B Force transducer; mounting instructions

2 Field of application and notes on use

The transducers are intended for measuring static and dynamic tensile and compressive forces. Their very small dimensions make them ideal for use where little space is available.

The force transducers are maintenance-free and can even be installed in places where access is difficult. Their electrical measuring signals can be transmitted to remote measuring stations and control rooms to be displayed or recorded there and used for control and regulation.

The transducers, as precision measuring instruments, require careful handling during transport and installation. force impulses (for example "free fall") even during measurement operations can lead to unexpected overloads with permanent damage.



NOTE:

Special care must therefore be given to the housing covers, which are relatively thin (with 50 N – 200 N nominal forces).

The limits for permissible mechanical, thermal and electrical stress are given in the specifications. It is essential that these be respected.

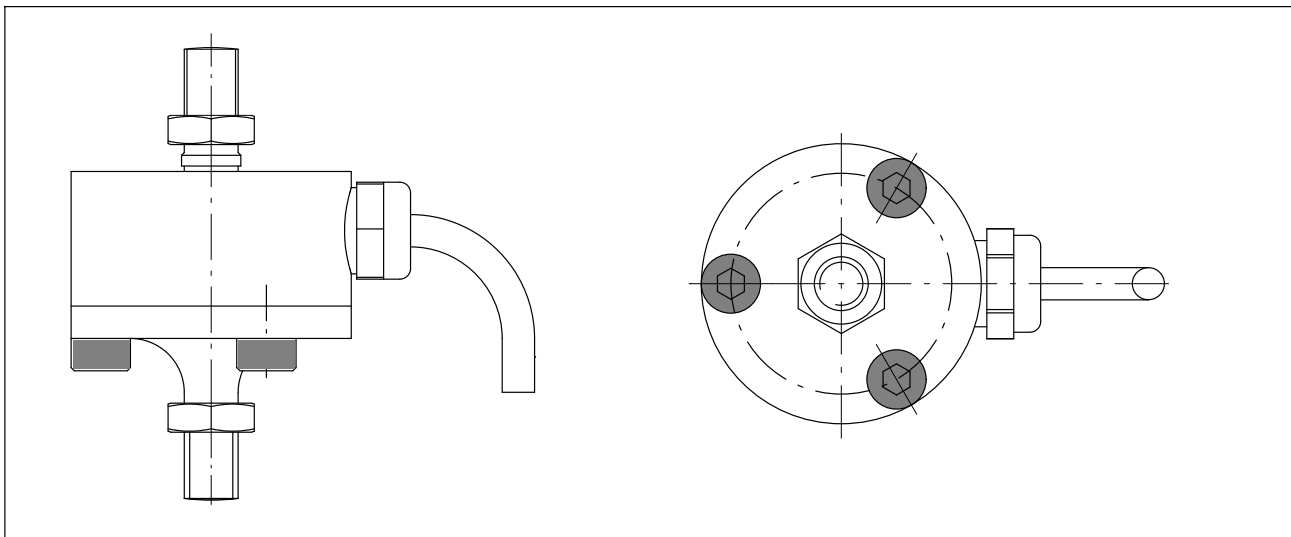


3 Structure and mode of operation

3.1 Measuring element

The force is transferred to the measuring element in the U9B by two threaded bolt. This measuring element has the advantage in that it also acts as a housing, protecting the applied strain gages.

With the measuring ranges of 50 N, 100 N and 200 N, the adapter is mounted onto the transducer via three bolts (M3). These bolts must be loosened to remove the adapter. This might result in a change in zero signal of max. 2%. If the adapter is remounted, bolts should be fastened at a tightening torque of 0.75 N·m.



3.2 Measuring procedure, output signal

The measuring spring and strain gages are elastically deformed by a force acting in the direction of measurement. The strain gage resistance changes proportionally to their change in length. The Wheatstone bridge is thus unbalanced. When a bridge excitation voltage is applied, the circuit supplies an output signal proportional to the change in resistance and hence also proportional to the force applied.

A measuring amplifier, suitable for strain gage measurements, is needed to process the measurement signal.

4 Conditions at the site of installation

4.1 Ambient temperature

To achieve optimum measuring results, the nominal temperature range from -10 °C to $+70\text{ °C}$ must be maintained. Ideally, the temperatures should be constant or subject to slow variations. The temperature effects indicated are applicable – in compliance with VDI/VDE Recommendation 2638 – when the temperatures do not change faster than 5 K/h .

Any temperature gradients in the transducer resulting from cooling or heating on one side affect the transducer's zero point. A screen to protect against radiant heat and thermal insulation on all sides produce marked improvements. Naturally, these should not cause any force shunt.



NOTE:

The transducer's zero point can be affected by the warmth of the hand. If measurements are made at room temperature (about 20 °C), then you should wait about 15 min. after handling the transducer before taking measurements.

4.2 Humidity and corrosion

Ambient humidity and a tropical climate do not affect the function of the transducer which complies with protection class IP 67 to EN 60529.

IP 67 means protection against the ingress of dust and water, if the transducer is immersed in water under specified conditions with regard to pressure and time (0.5 h in 1 m depth of water).

The housings of the transducers are manufactured entirely in stainless steel. The sheath of the connection cable consists of polyurethane (PUR).

4.3 Deposits

Dust, dirt and other foreign bodies should not be allowed to accumulate to the point where they convey part of the measuring force to the housing, thus falsifying the measured value (force shunt).

4.4 External pressure

For transducer with measuring ranges of ≥ 500 N, the admissible external pressure is 0 to 5 bars. Please note the pressure variations might result in variations of the zero point.

| Nominal (rated) force | | N | | kN | | | | | |
|--|---|-----------------------|------|-------|------|-------|-------|-------|-------|
| | | 50..200 ^{*)} | 0.5 | 1 | 2 | 5 | 10 | 20 | 50 |
| Zero point variation with a variation of ambient pressure by 10 mbar (rel. to the nominal (rated) force) | % | 0.01 | 0.01 | 0.006 | 0.01 | 0.004 | 0.002 | 0.002 | 0.001 |

^{*)} for use in the pressure range of 800 ... 1200 hPa

5 Mechanical installation

5.1 Important precautions during installation

- Handle the transducers carefully.
- Threads need to be absolutely clean and fully load-bearing.
- Do not overload the transducer, even briefly. Also short-term overloads must be avoided.
- Each transducer should be shunted by a stranded copper cable (approx. 50 mm²) during or immediately after installation to avoid that welding currents flow through the transducer and weld the point of force application. For this purpose, HBM supplies very flexible earthing cable EEK.

5.2 General guidelines for installation

Force must act on the force transducer as precisely as possible in the direction of measurement. Torsional moments, off centre loading and side forces are causes for measuring errors, and they can permanently damage the transducer. Off-center loading and side forces also include the relevant components of any forces introduced at an oblique angle.

5.2.1 Mounting for tensile and compressive forces

The transducer can measure axial forces in the tensile and the compressive directions. Even alternating loads are measured properly. To achieve this though, the transducer must be mounted without any axial play.

Tensile and/or compressive forces are transferred via the two threaded bolts. The force transfer parts are locked against the transducer using the hexagon nuts included which must be tightened with the specified tightening torque:

| Nominal (rated) force | Tightening torque (Nm) |
|-----------------------|------------------------|
| 50 N...1 kN | 8 |
| 2...20 kN | 40 |
| 50 kN | 200 |

As an installation aid, HBM recommends for tensile loading the knuckle eyes (see Chapter 8 "Dimensions") which prevent transfer to the transducer of torsional and bending moments as well as lateral forces. With dynamic loading pliable tie rods should be used.

6 Electrical connection

6.1 Notes on wiring

Electrical and magnetic fields often cause the introduction of disturbing voltages into the measuring circuit. These disturbances are chiefly caused by heavy current conductors installed parallel to the measuring lines, but they can also be produced by contactors or electric motors in the vicinity. Interference voltages can also be coupled into the electrical path, in particular through earthing the measuring system at a number of points, causing differences in potential.

To avoid noise injection, please note the following:

- Use only shielded, low capacitance extension cable (cable from HBM fulfills these requirements).
- Do not lay the measuring cable parallel to power and control lines. If this is not possible (e.g. in cable ducts), the measuring cable can be protected, e.g. by steel conduit and a minimum distance of 50 cm maintained to the other cables.
- The stray fields of transformers, motors and contactors must be avoided.
- Do not wire the transducer, amplifier and display device to multiple grounds. All equipment in the measuring system should be connected to the same ground conductor.
- Further information can be taken from our reprint "Electromagnetic Compatibility EMC"

6.2 Allocation of the cable cores

The 1.5 m long connection lead of the transducer has color-coded free core ends. The cable shield is connected to the transducer housing and can be accessed via the cut cable sheath. HBM recommends to lay the cable shield flat onto the connector or device housing. If the transducer is connected according to the information given in the table, the output voltage from the amplifier is positive for a compression force on the transducer. If a negative output voltage is required at the measuring amplifier during compressive loading, cores white and red of the transducer should be interchanged over at the amplifier input.

6.3 Connection technique

The transducers are fitted with a four-core connection cable and adjusted as standard using the four-wire circuit

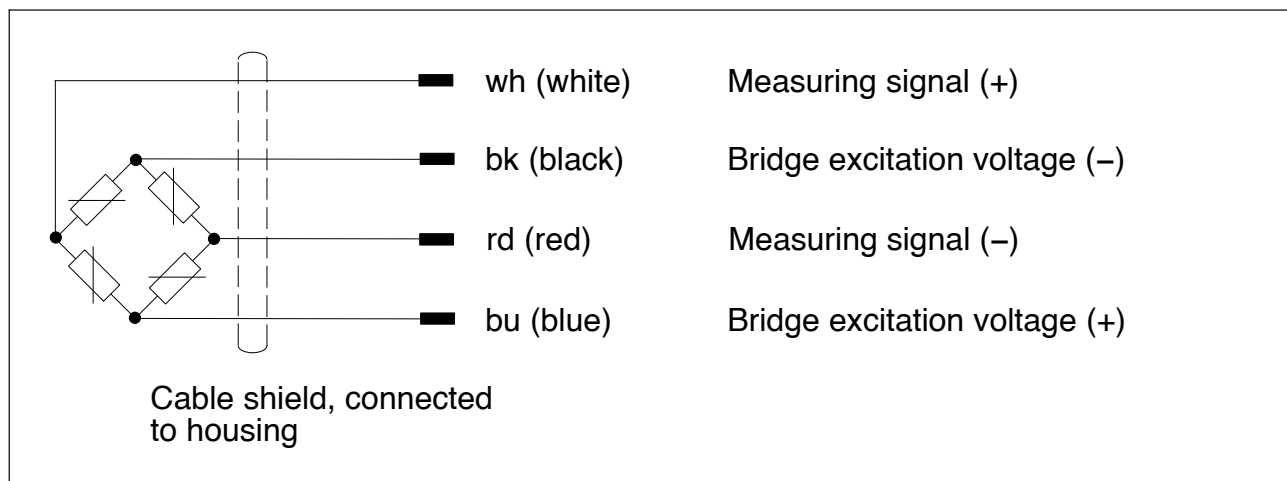


Fig. 6.1: Transducer with four-core cable

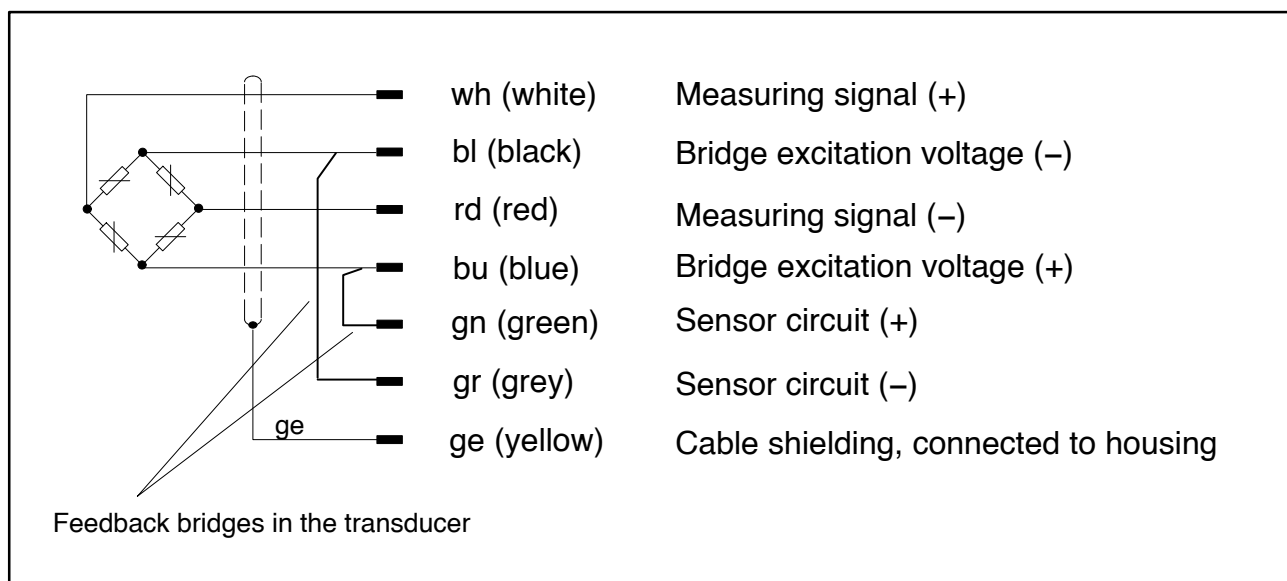


Fig. 6.2: Transducer with four-core cable, amplifier in six-wire circuit



ATTENTION:

Transducers with nominal (rated) forces of 50 N, 100 N, and 200 N have balancing resistors (for sensitivity balance) under a colored heat-shrink sleeve at the end of the cable that must not be removed. When shortening the cable, the resistors need to be resoldered to the same leads again.

6.4 Cable extensions

Extension cables must be of the shielded low-capacitance type (HBM cables fulfil this requirement). For cable extensions, care must be taken to ensure a satisfactory connection with the lowest transfer resistance and good insulation.

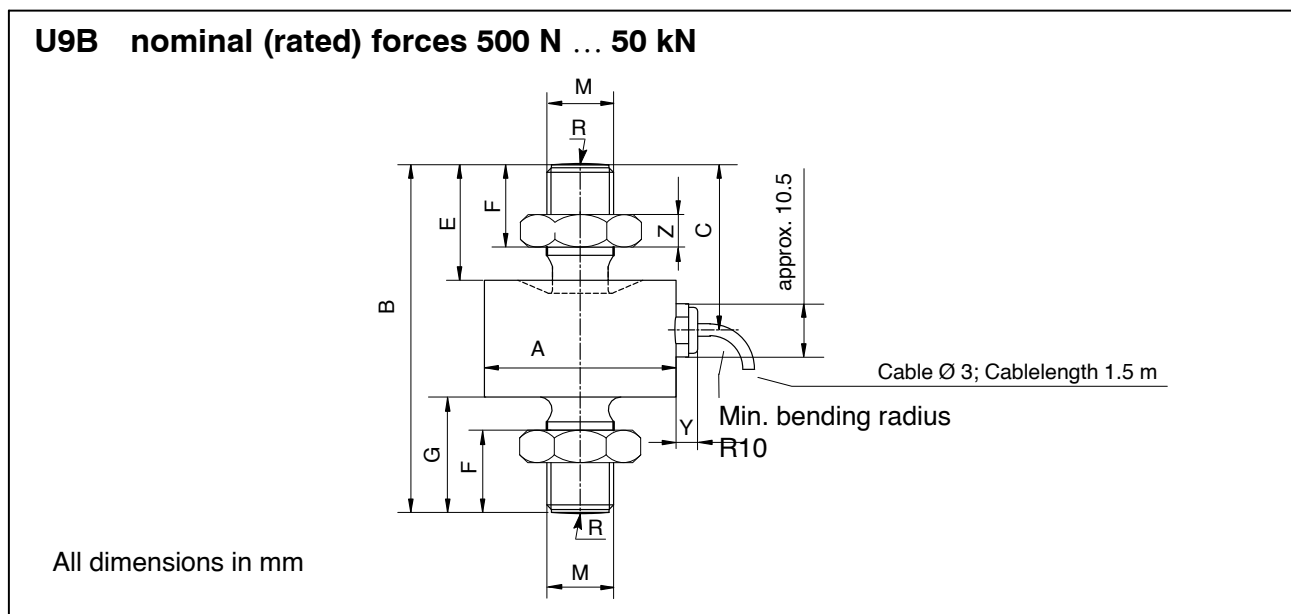
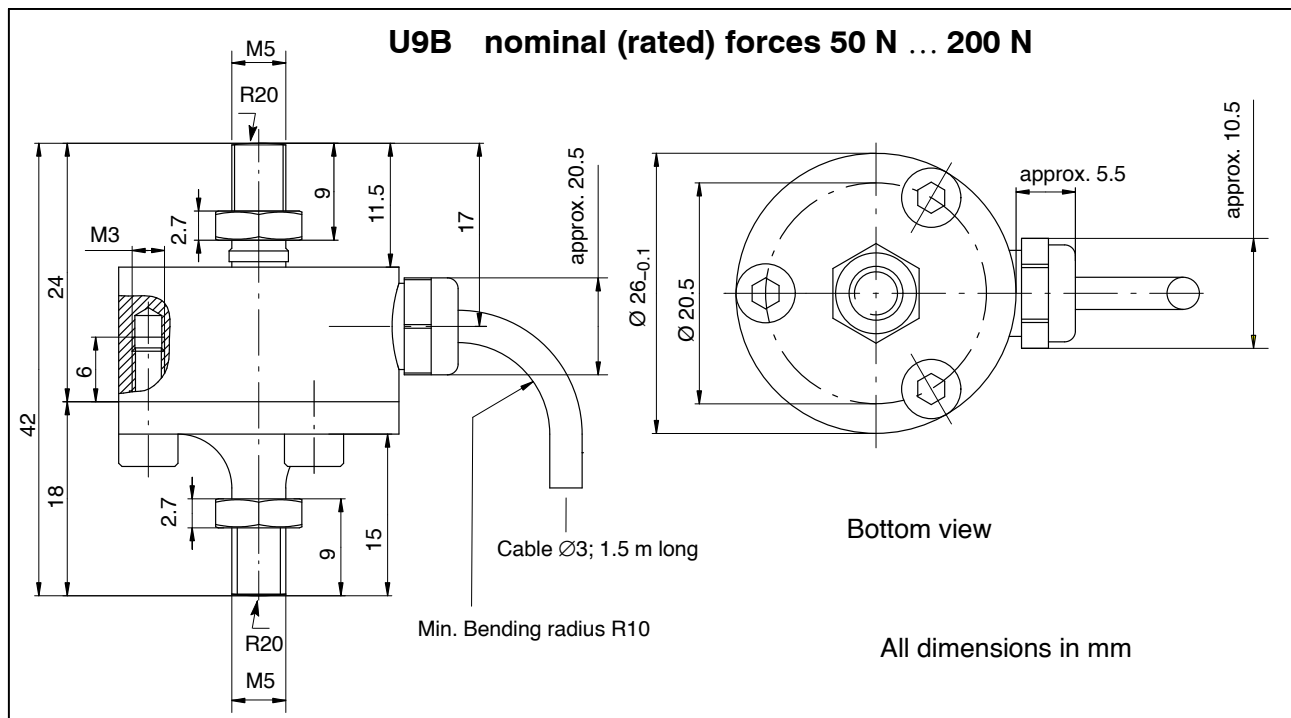
7 Specifications

| Type | | | U9B | | | | | | | | | |
|---|-----------------|------------|---|-----|-----|-----|-----------|---|---|----|----|----|
| Nominal (rated) force | F_{nom} | N | 50 | 100 | 200 | | | | | | | |
| | | kN | | | | 0.5 | 1 | 2 | 5 | 10 | 20 | 50 |
| Accuracy class | | | 0.5 | | | | | | | | | |
| Nominal (rated) sensitivity | C_{nom} | mV/V | 1 | | | | | | | | | |
| Rel. sensitivity deviation | d_c | % | $\leq \pm 1$ tension / $\leq \pm 2$ compression | | | | | | | | | |
| Temperatur effect on the sensitivity per 10 K in the nominal (rated) temp. range in the operat. temp. range | TK_C | | | | | | | | | | | |
| | | % | $\leq \pm 0.5$ | | | | | | | | | |
| | | % | $\leq \pm 0.8$ | | | | | | | | | |
| Temperatur effect on the zero signal per 10 K in the nominal (rated) temp. range in the operat. temp. range | TK_0 | | | | | | | | | | | |
| | | % | $\leq \pm 0.5$ | | | | | | | | | |
| | | % | $\leq \pm 0.8$ | | | | | | | | | |
| Zero signal tolerance | $d_{s,0}$ | mV/V | ± 0.075 | | | | ± 0.2 | | | | | |
| Linearity | d_{lin} | % | $\leq \pm 0.5$ | | | | | | | | | |
| Rel. reversibility error | U | % | $\leq \pm 0.5$ | | | | | | | | | |
| Rel. repeatability error without rotation | brg | % | $\leq \pm 0.5$ | | | | | | | | | |
| Creep at nominal (rated) force and reference temperature over 30 min | d_{crF+} E | % | $\leq \pm 0.2$ | | | | | | | | | |
| Input resistance | R_e | Ω | > 345 | | | | 300 – 400 | | | | | |
| Output resistance | R_a | Ω | 300–400 | | | | < 350 | | | | | |
| Insulation resistance | R_{Is} | G Ω | $> 1 \times 10^9$ | | | | | | | | | |
| Operating range of supply voltage | $B_{U,G}$ | V | 0.5...12 | | | | | | | | | |

| | | | | | | | | | | | | | | |
|--|--------------------------------|------------|------------------------|----|------|------|------|------|------|------|------|----|--|--|
| Reference supply voltage | U _{ref} | V | 5 | | | | | | | | | | | |
| Reference temperature | t _{ref} | °C [°F] | + 23 [+73.4] | | | | | | | | | | | |
| Nominal (rated) temperature range | B _{t,no} _m | °C [°F] | -10...+70 [+14...+158] | | | | | | | | | | | |
| Operating temperature range | B _{t,G} | °C [°F] | -30...+85 [-22...+185] | | | | | | | | | | | |
| Storage temperature range | B _{t,S} | °C [°F] | -30...+85 [-58...+185] | | | | | | | | | | | |
| Protection to DIN EN 60 529 | | | IP 67 | | | | | | | | | | | |
| Nominal (rated) measuring displacement ± 15 % | S _{nom} | mm | < 0.1 | | | 0.04 | | 0.06 | 0.09 | 0.11 | 0.13 | | | |
| Natural frequency ± 15 % | | kHz | 7.3 | 10 | 15.7 | 15.5 | 23.7 | 18.7 | 20 | 23 | 27.8 | 20 | | |
| Operating force | (F _G) | % | 120 | | | | | | | | | | | |
| Breaking force | (F _B) | % | > 200 | | | | | | | | | | | |
| Relative static lateral limit force ¹⁾ | (F _Q) | % | 40 | | | | | 20 | | | | | | |
| Permissible vibration amplitude to DIN 50 100 | F _{rb} | % | 70 | | | | | | | | | 40 | | |
| Weight, approx. | | g | 75 | | | | 100 | | | | 400 | | | |
| Cable length | | m | 1.5 | | | | | | | | | | | |

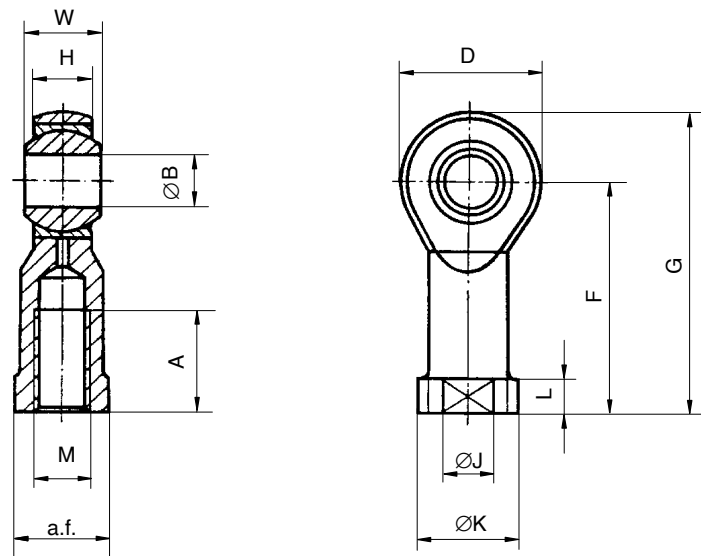
¹⁾ referred to the 2 mm force introduction point above diaphragm

8 Dimensions (in mm)



| Nominal (rated) force | A _{-0.1} | B | C | E | F | G | M | R | Y | Z |
|-----------------------|-------------------|------|------|----|------|------|-----------|----|--------|-----|
| 500 N...1 kN | 26 | 44,5 | 20.5 | 13 | 9,5 | 13.5 | M5 | 20 | ap.5.5 | 2.7 |
| 2...20 kN | 26 | 60 | 28.5 | 21 | 16 | 21 | M10 | 40 | ap.5.5 | 5 |
| 50 kN | 46 | 84 | 40 | 28 | 21.5 | 28 | M16 x 1.5 | 80 | ap.5.5 | 8 |

Knuckle eye ZGW, stainless (Accessories)



| Nominal (rated) force | A | B ^{H7} | D | F | G | H | J | K | L | M | A.F. | W |
|-----------------------|----|-----------------|----|----|----|------|----|----|-----|---------|------|----|
| 50 N...1 kN | 10 | 5 | 18 | 27 | 36 | 6 | 9 | 11 | 4 | M5 | 9 | 8 |
| 2...20 kN | 20 | 10 | 28 | 43 | 57 | 10.5 | 15 | 19 | 6.5 | M10 | 17 | 14 |
| 50 kN | 28 | 16 | 42 | 64 | 85 | 15 | 22 | 27 | 8 | M16x1.5 | 22 | 21 |

| Inhalt | Seite |
|--|--------------|
| Sicherheitshinweise | 19 |
| 1 Lieferumfang | 22 |
| 2 Einsatzbereich und Anwendungshinweise | 22 |
| 3 Aufbau und Wirkungsweise | 23 |
| 3.1 Messelement | 23 |
| 3.2 Messvorgang, Ausgangssignal | 23 |
| 4 Bedingungen am Einbauort | 24 |
| 4.1 Umgebungstemperatur | 24 |
| 4.2 Feuchtigkeits- und Korrosionsschutz | 24 |
| 4.3 Ablagerungen | 24 |
| 4.4 Außendruck | 25 |
| 5 Mechanischer Einbau | 25 |
| 5.1 Wichtige Vorkehrungen beim Montieren | 25 |
| 5.2 Allgemeine Einbaurichtlinien | 26 |
| 5.2.1 Einbau für Zug- und Druckbelastung | 26 |
| 6 Anschließen | 27 |
| 6.1 Hinweise für die Verkabelung | 27 |
| 6.2 Belegung der Kabeladern | 27 |
| 6.3 Anschlusstechnik | 28 |
| 6.4 Kabelverlängerung | 29 |
| 7 Technische Daten | 29 |
| 8 Abmessungen | 31 |

Sicherheitshinweise

Bestimmungsgemäßer Gebrauch

Die Kraftaufnehmer der Typen U9B sind für das Messen statischer und dynamischer Zug- und Druckkräfte zu verwenden. Jeder darüber hinausgehende Gebrauch gilt als **nicht** bestimmungsgemäß.

Zur Gewährleistung eines sicheren Betriebes darf der Aufnehmer nur nach den Angaben in der Montageanleitung verwendet werden. Bei der Verwendung sind zusätzlich die für den jeweiligen Anwendungsfall erforderlichen Rechts- und Sicherheitsvorschriften zu beachten. Sinngemäß gilt dies auch bei Verwendung von Zubehör.

Der Aufnehmer ist kein Sicherheitselement im Sinne des bestimmungsgemäßen Gebrauchs. Der einwandfreie und sichere Betrieb dieses Aufnehmers setzt sachgemäßen Transport, fachgerechte Lagerung, Aufstellung und Montage sowie sorgfältige Bedienung und Instandhaltung voraus.

Allgemeine Gefahren bei Nichtbeachten der Sicherheitshinweise

Die Kraftaufnehmer U9B entsprechen dem Stand der Technik und sind betriebssicher. Von den Aufnehmern können Restgefahren ausgehen, wenn sie von ungeschultem Personal unsachgemäß eingesetzt und bedient werden.

Jede Person, die mit Aufstellung, Inbetriebnahme, Wartung oder Reparatur eines Kraftaufnehmers beauftragt ist, muss die Montageanleitung und insbesondere die sicherheitstechnischen Hinweise gelesen und verstanden haben.

Restgefahren

Der Leistungs- und Lieferumfang des Aufnehmers deckt nur einen Teilbereich der Kraftmesstechnik ab. Sicherheitstechnische Belange der Kraftmesstechnik sind zusätzlich vom Anlagenplaner/Ausrüster/Betreiber so zu planen, zu realisieren und zu verantworten, dass Restgefahren minimiert werden. Jeweils existierende Vorschriften sind zu beachten. Auf Restgefahren im Zusammenhang mit der Kraftmesstechnik ist hinzuweisen.

In dieser Montageanleitung wird auf Restgefahren mit folgenden Symbolen hingewiesen:



Symbol:

GEFAHR

Bedeutung:

Höchste Gefahrenstufe

Weist auf eine **unmittelbar** gefährliche Situation hin, die – wenn die Sicherheitsbestimmungen nicht beachtet werden – Tod oder schwere Körperverletzung zur Folge **haben wird**.



Symbol:

WARNUNG

Bedeutung:

Möglicherweise gefährliche Situation

Weist auf eine **mögliche** gefährliche Situation hin, die – wenn die Sicherheitsbestimmungen nicht beachtet werden – Tod oder schwere Körperverletzung zur Folge **haben kann**.



Symbol:

ACHTUNG

Bedeutung:

Möglicherweise gefährliche Situation

Weist auf eine **mögliche** gefährliche Situation hin, die – wenn die Sicherheitsbestimmungen nicht beachtet werden – Sachschaden, leichte oder mittlere Körperverletzung zur Folge **haben könnte**.



Symbol:

HINWEIS

Weist darauf hin, dass wichtige Informationen über das Produkt oder über die Handhabung des Produktes gegeben werden.



Symbol:

CE

Bedeutung: **CE-Kennzeichnung**

Mit der CE-Kennzeichnung garantiert der Hersteller, dass sein Produkt den Anforderungen der relevanten EG-Richtlinien entspricht (die Konformitätserklärung finden Sie unter <http://www.hbm.com/hbmdoc>).

Verbot von eigenmächtigen Umbauten und Veränderungen

Der Aufnehmer darf ohne unsere ausdrückliche Zustimmung weder konstruktiv noch sicherheitstechnisch verändert werden. Jede Veränderung schließt eine Haftung unsererseits für daraus resultierende Schäden aus.

Qualifiziertes Personal

Diese Aufnehmer sind nur von qualifiziertem Personal ausschließlich entsprechend der technischen Daten in Zusammenhang mit den nachstehend ausgeführten Sicherheitsbestimmungen und Vorschriften einzusetzen. Hierbei sind zusätzlich die für den jeweiligen Anwendungsfall erforderlichen Rechts- und Sicherheitsvorschriften zu beachten. Sinngemäß gilt dies auch bei Verwendung von Zubehör.

Qualifiziertes Personal sind Personen, die mit Aufstellung, Montage, Inbetriebsetzung und Betrieb des Produktes vertraut sind und die über die ihrer Tätigkeit entsprechende Qualifikationen verfügen.

Bedingungen am Aufstellungsort

Schützen Sie den Aufnehmer vor Feuchtigkeit oder Witterungseinflüssen wie beispielsweise Regen, Schnee usw. sowie vor übermäßigen Verschmutzungen. Der Aufnehmer entspricht der Schutzart IP67 nach DIN EN 60529.

Wartung

Der Kraftaufnehmer U9B ist wartungsfrei.

Unfallverhütung

Obwohl die angegebene Bruchkraft ein Mehrfaches vom Messbereichsendwert beträgt, müssen die einschlägigen Unfallverhütungsvorschriften der Berufsgenossenschaften berücksichtigt werden.

1 Lieferumfang

Kraftaufnehmer U9B; Montageanleitung

2 Einsatzbereich und Anwendungshinweise

Die Aufnehmer sind für das Messen statischer und dynamischer Zug- und Druckkräfte vorgesehen. Die sehr kleinen Abmessungen machen den Einsatz dort interessant, wo wenig Raum zur Verfügung steht.

Die Kraftaufnehmer sind wartungsfrei und können auch an schwer zugänglichen Stellen eingebaut sein. Die elektrischen Messsignale können zu Messständen und -warten übertragen und dort angezeigt, registriert und zu Steuer- und Regelungsaufgaben verwendet werden.

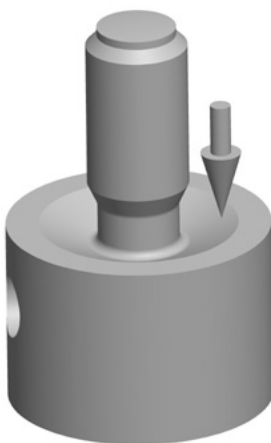
Als Präzisions-Messgeräte verlangen die Aufnehmer beim Transport und der Montage eine sorgfältige Handhabung. Laststöße (z.B. Lastaufbringen im freien Fall) können auch im Messbetrieb zu unerwarteter Überlastung mit bleibenden Schäden führen.



HINWEIS:

Achten Sie darauf, die relativ dünnen Gehäusedeckel (bei Nennkräften 50 N – 200 N) nicht zu beschädigen.

Die Grenzen für die zulässigen mechanischen, thermischen und elektrischen Beanspruchungen sind in den Technischen Daten aufgeführt. Sie müssen unbedingt eingehalten werden.



VORSICHT

Hier nicht belasten.

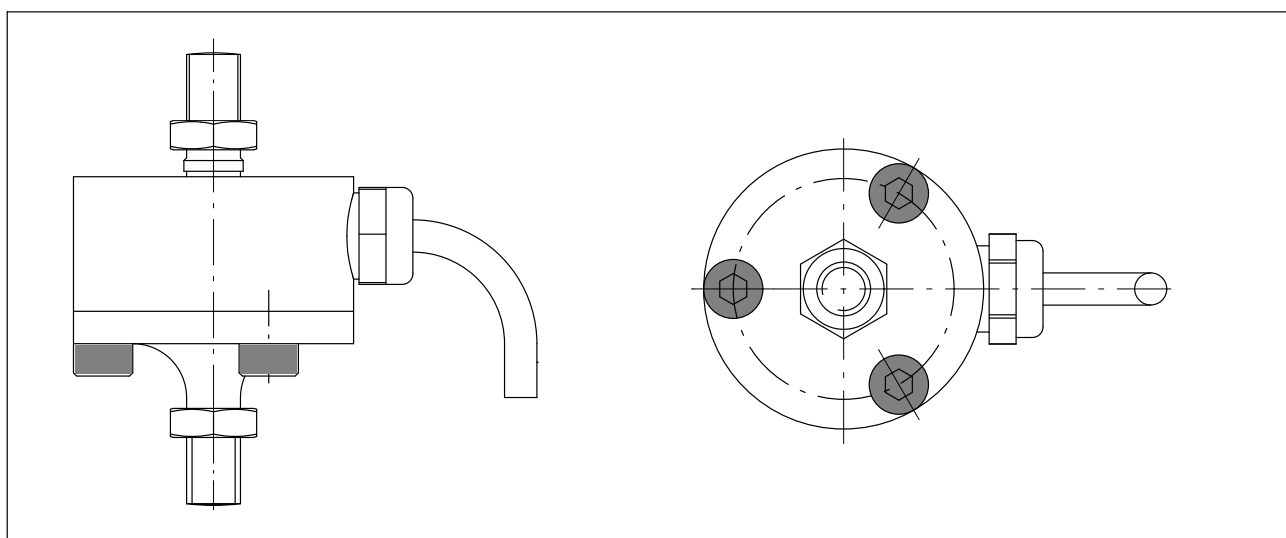
3 Aufbau und Wirkungsweise

3.1 Messelement

Über zwei Gewindebolzen wird die Kraft auf den Messkörper der U9B eingeleitet. Dieser Messkörper bietet den Vorteil, dass er gleichzeitig als Gehäuse fungiert und somit die DMS-Applikationen schützt.

Bei den kleinen Messbereichen 50 N, 100 N und 200 N ist der Adapter über drei Schrauben (M3) mit dem Aufnehmer verbunden (siehe Bild unten).

Durch Lösen der Schrauben lässt sich der Adapter entfernen. Dadurch kann sich das Nullsignal um max. 2% ändern. Bei erneuter Montage des Adapters sollten die Schrauben mit einem Anzugsmoment von 0,75 N·m angezogen werden.



3.2 Messvorgang, Ausgangssignal

Durch die in Messrichtung wirkende Kraft wird die Messfeder und damit die DMS elastisch verformt. Die als Wheatstone-Brücke verschalteten DMS ändern proportional zu ihrer Längenänderung ihren ohmschen Widerstand. Die Wheatstone-Brücke wird dadurch verstimmt. Liegt eine Brückenspeisung an, liefert die Schaltung ein Ausgangssignal, das proportional der Widerstandsänderung ist und somit auch proportional der aufgebrachten Kraft.

Zur Weiterverarbeitung des Messsignales ist ein für DMS-Technik geeigneter Messverstärker notwendig.

4 Bedingungen am Einbauort

4.1 Umgebungstemperatur

Um optimale Messergebnisse zu erzielen, müssen Sie den Nenntemperaturbereich von -10°C ... $+70^{\circ}\text{C}$ einhalten. Am besten sind konstante, allenfalls sich langsam ändernde Temperaturen. Die angegebenen Temperaturkoeffizienten gelten – in Übereinstimmung mit der VDE/VDI-Richtlinie 2638 – wenn sich die Umgebungstemperatur nicht schneller als 5 K/h ändert.

Temperaturgradienten im Aufnehmer, die durch einseitige Aufwärmung oder Abkühlung entstehen können, wirken sich auf den Nullpunkt des Aufnehmers aus. Ein Strahlungsschild und allseitige Wärmedämmung bewirken merkliche Verbesserungen. Sie dürfen jedoch keinerlei Kraftnebenschlüsse bilden.



HINWEIS:

Der Nullpunkt des Aufnehmers kann durch Handwärme beeinflusst werden. Wird bei Raumtemperatur (ca. 20°C) gemessen, sollten Sie nach dem Anfassen des Aufnehmers ca. 15 min. bis zur Messung warten.

4.2 Feuchtigkeits- und Korrosionsschutz

Äußere Feuchtigkeit und tropisches Klima beeinträchtigen die Funktion des Aufnehmers nicht. Er entspricht der Schutzart IP67 nach EN 60529.

IP67 bedeutet: Schutz gegen Eindringen von Staub, sowie Schutz gegen Wasser, wenn der Aufnehmer in Wasser getaucht wird (0,5 h in 1 m Tiefe).

Das Gehäuse des Aufnehmers ist vollständig aus nichtrostendem Stahl hergestellt. Der Mantel des Anschlusskabels besteht aus Polyurethan (PUR).

4.3 Ablagerungen

Staub, Schmutz und andere Fremdkörper dürfen sich nicht so ansammeln, dass sie einen Teil der Messkraft auf das Gehäuse umleiten und dadurch den Messwert verfälschen (Kraftnebenschluss).

4.4 Außendruck

Der Außendruck der Luft darf für die Aufnehmer mit Messbereichen ≥ 500 N zwischen 0 und 5 bar liegen. Beachten Sie bitte, dass Druckschwankungen den Nullpunkt verschieben können.

| Nennkraft | | N | | N | | | | | |
|---|---|-----------------------|------|-------|------|-------|-------|-------|-------|
| | | 50..200 ^{*)} | | 0,5 | 1 | 2 | 5 | 10 | 20 |
| Nullpunktänderung bei einer Umgebungsdruckänderung um 10 mbar (bezogen auf Nennkraft) | % | 0,01 | 0,01 | 0,006 | 0,01 | 0,004 | 0,002 | 0,002 | 0,001 |

^{*)} bei Einsatz im Druckbereich 800 ... 1200 hPa

5 Mechanischer Einbau

5.1 Wichtige Vorkehrungen beim Montieren

- Aufnehmer schonend handhaben.
- Die Gewinde müssen absolut sauber sein und voll tragen.
- Der Aufnehmer darf nicht überlastet werden. Auch kurzzeitiges Überlasten müssen Sie vermeiden.
- Jeder Aufnehmer sollte schon bei oder unmittelbar nach dem Einbau durch eine Kupferlitze (ca. 50 mm²) überbrückt sein, damit keine Schweißströme über den Aufnehmer fließen können und den Kräfteinleitungspunkt verschweißen. Hierfür liefert HBM die sehr flexiblen Erdungskabel EEK.

5.2 Allgemeine Einbaurichtlinien

Auf den Kraftaufnehmer sollten die Kräfte möglichst genau in Krafrichtung wirken. Torsionsmomente, außermittige Belastungen und Seitenkräfte verursachen Messfehler und können den Aufnehmer bleibend schädigen. Zu den Seitenkräften gehören auch die Komponenten der schräg eingeleiteten Kräfte oder Querkräfte.

5.2.1 Einbau für Zug- und Druckbelastung

Die Aufnehmer können axiale Kräfte sowohl in Zug- als auch in Druckrichtung messen. Auch Wechsellasten werden einwandfrei erfasst. Dazu muss der Aufnehmer ohne axiales Spiel eingebaut sein.

Zug- und/oder Druckkräfte werden über die beiden Gewindebolzen eingeleitet. Mit den im Lieferumfang enthaltenen Sechskantmuttern werden die Kraft-einleitungsteile gegen den Aufnehmer mit entsprechendem Anzugsmoment-gekontert.

| Nennkraft | Anzugsmoment (N·m) |
|--------------|--------------------|
| 50 N ... 1kN | 8 |
| 2...20 kN | 40 |
| 50 kN | 200 |

Für Zugbelastung empfiehlt HBM als Einbauhilfe Gelenkösen (siehe Kapitel 8 "Abmessungen"), die eine Einleitung von Torsions- und Biegemomenten sowie Querkräften in den Aufnehmer verhindern. Bei dynamischer Belastung sollten biegeeweiche Zugstäbe eingesetzt werden.

6 Anschließen

6.1 Hinweise für die Verkabelung

Elektrische und magnetische Felder verursachen oft eine Einkopplung von Störspannungen in den Messkreis. Diese Störungen gehen in erster Linie von parallel zu den Messleitungen liegenden Starkstromleitungen aus, aber auch von in der Nähe befindlichen Schützen oder Elektromotoren. Außerdem können Störspannungen galvanisch eingekoppelt werden. Das geschieht insbesondere durch Erdung der Messkette an verschiedenen Punkten, die nicht das gleiche Potential aufweisen.

Um Einkopplungen von Störungen zu vermeiden beachten Sie bitte folgende Hinweise:

- Verwenden Sie zur Verlängerung nur abgeschirmte, kapazitätsarme Messkabel (HBM-Kabel erfüllen diese Bedingungen).
- Legen Sie die Messkabel nicht parallel zu Starkstrom- und Steuerleitungen. Falls dies nicht möglich ist (z.B. in Kabelschächten), schützen Sie das Messkabel z.B. durch Stahlpanzerrohre und halten Sie einen Mindestabstand von 50 cm zu den anderen Kabeln ein.
- Meiden Sie Streufelder von Trafos sowie Motoren und Schützen.
- Aufnehmer, Verstärker und Anzeigegerät dürfen nicht mehrfach geerdet werden. Schließen Sie alle Geräte an den gleichen Schutzleiter an.
- Weitere Informationen können Sie unserem Sonderdruck "Elektromagnetische Verträglichkeit EMV" entnehmen.

6.2 Belegung der Kabeladern

Das Anschlusskabel des Aufnehmers hat farbig gekennzeichnete freie Adern und ist 1,5 m lang. Der Kabelschirm ist mit dem Aufnehmergehäuse verbunden und über den eingeschnittenen Kabelmantel zugänglich. HBM empfiehlt den Kabelschirm flächig auf das Stecker- oder Gerätegehäuse aufzulegen. Wird der Aufnehmer nach den Angaben in der Tabelle angeschlossen, so ist bei Belastung des Aufnehmers in Druckrichtung die Ausgangsspannung am Messverstärker positiv. Wird bei Druckbelastungen des Aufnehmers eine negative Ausgangsspannung am Messverstärker gewünscht, vertauschen Sie einfach die weiße und die rote Kabelader.

6.3 Anschlusstechnik

Die Aufnehmer sind mit einem vieradrigen Anschlusskabel ausgerüstet und standardmäßig in Vierleiter-Technik justiert.

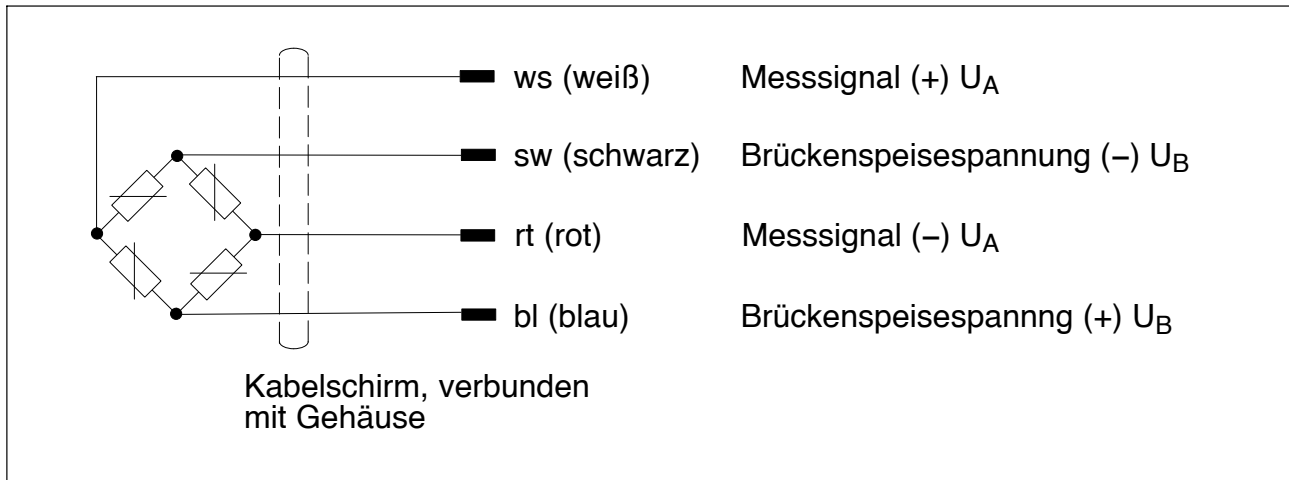


Abb. 6.1: Aufnehmer mit vieradrigem Anschlusskabel

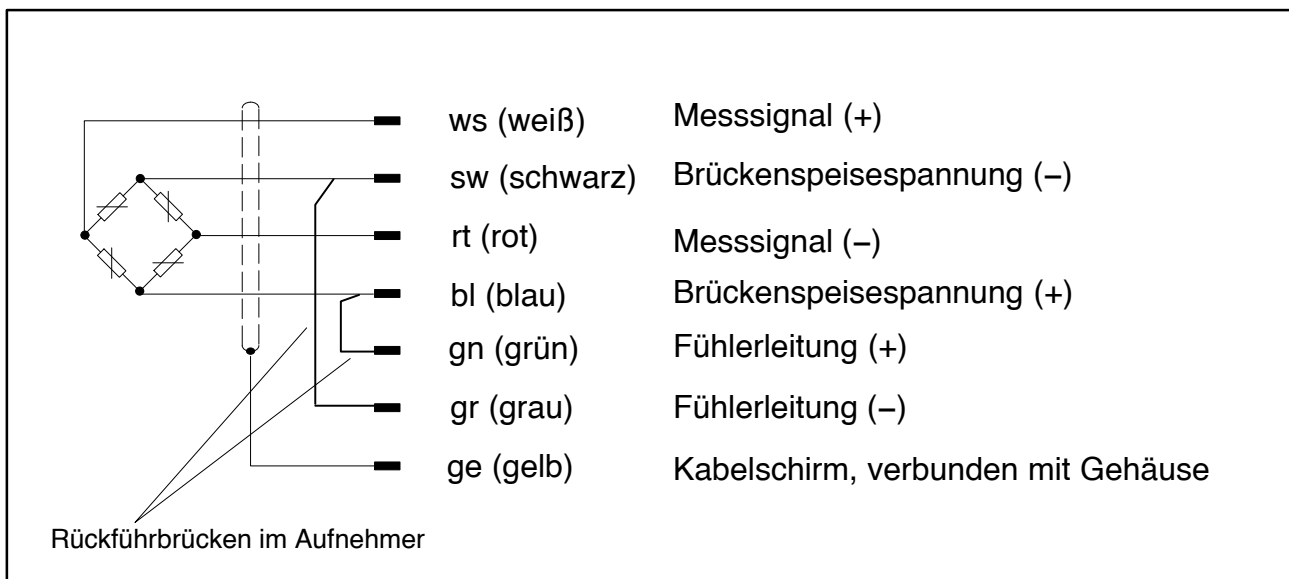


Abb. 6.2: Aufnehmer mit vieradrigem Anschlusskabel, Messverstärker in Sechseiter-Technik



ACHTUNG:

Bei Aufnehmern der Nennlast 50 N, 100 N und 200 N befinden sich am Kabelende unter einem farbigen Schrumpfschlauch Abgleichwiderstände (für den Kennwertabgleich), die nicht entfernt werden dürfen. Soll das Kabel gekürzt werden, so müssen die Widerstände an den gleichen Adern wieder eingelötet werden.

6.4 Kabelverlängerung

Verlängerungskabel müssen abgeschirmt und kapazitätsarm sein (HBM-Kabel erfüllen diese Voraussetzungen). Achten Sie bei Kabelverlängerungen auf eine einwandfreie Verbindung mit geringstem Übergangswiderstand und guter Isolation.

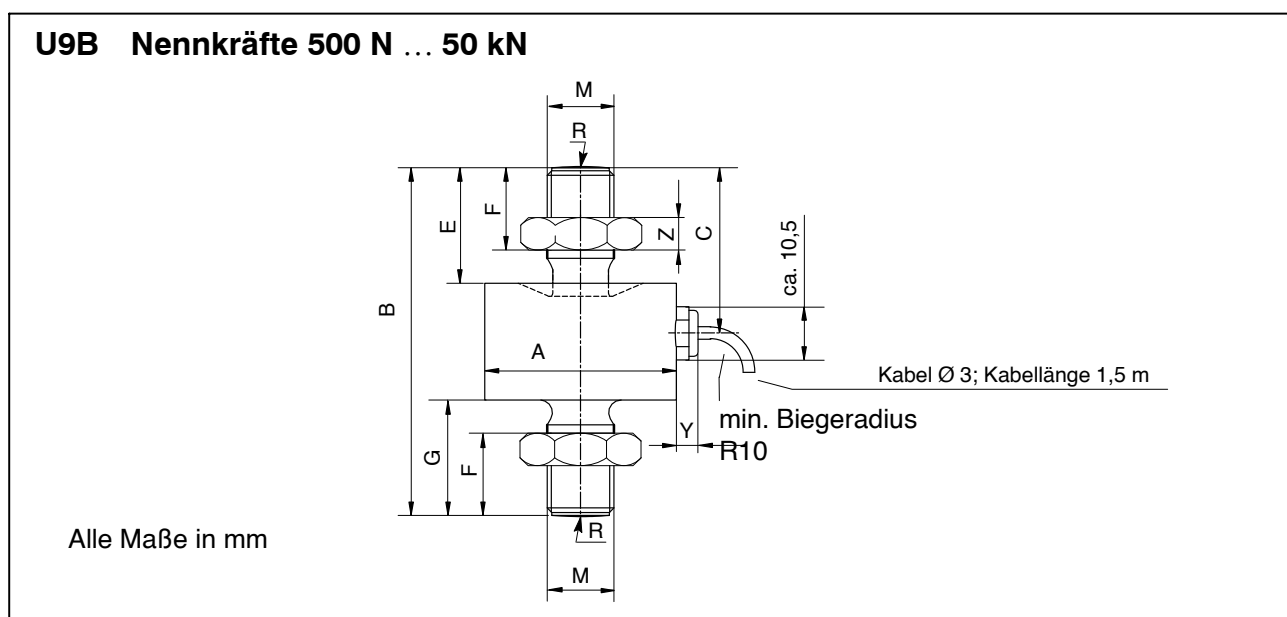
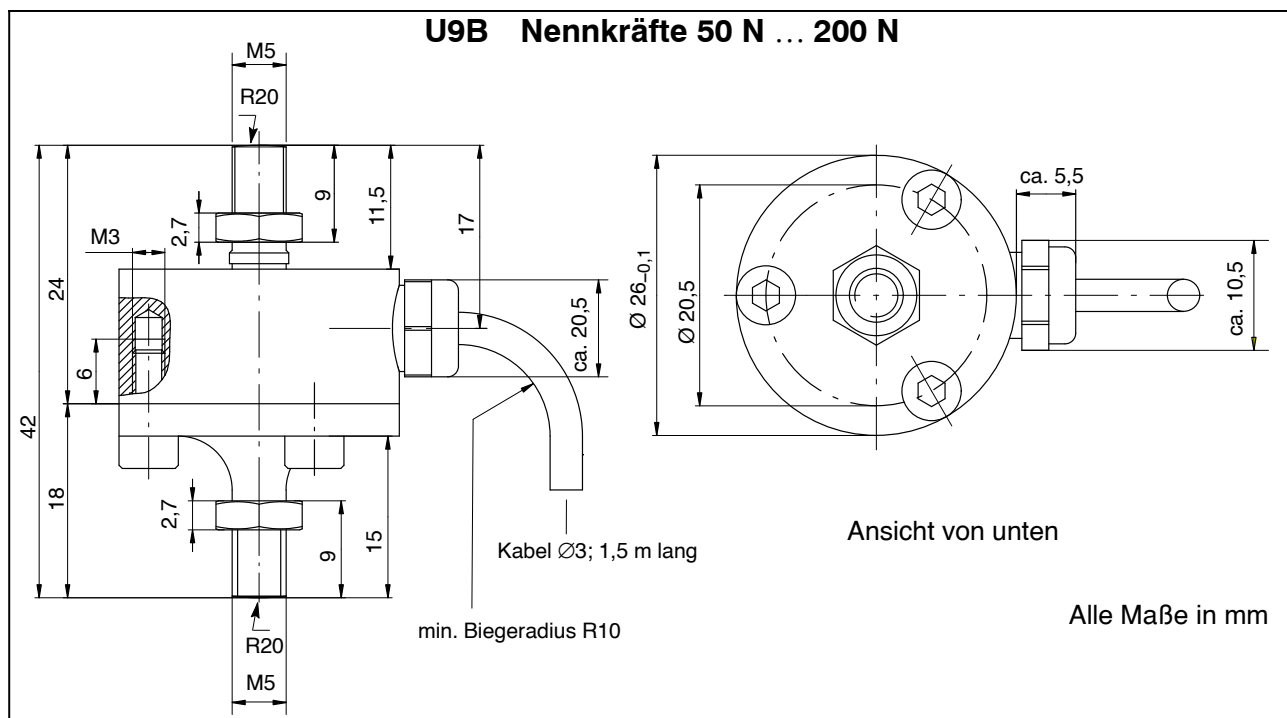
7 Technische Daten

| Typ | | | U9B | | | | | | | | | |
|---|--------------------|------|-----------------------|-----|-----|-----------|---|---|---|----|----|----|
| Nennkraft | F _{nom} | N | 50 | 100 | 200 | | | | | | | |
| | | kN | | | | 0,5 | 1 | 2 | 5 | 10 | 20 | 50 |
| Genauigkeitsklasse | | | 0,5 | | | | | | | | | |
| Nennkennwert | C _{nom} | mV/V | 1 | | | | | | | | | |
| Relative Kennwertabweichung | d _c | % | ≤ ±1 Zug / ≤ ±2 Druck | | | | | | | | | |
| Temperatureinfluss auf den Kennwert/10 K bez. auf den Kennwert im Nenntemperaturbereich im Gebrauchstemperaturbereich | TK _C | % | ≤ ±0,5 | | | | | | | | | |
| | | % | ≤ ±0,8 | | | | | | | | | |
| Temperatureinfluss auf das Nullsignal/10K im Nenntemperaturbereich im Gebrauchstemperaturbereich | TK ₀ | % | ≤ ±0,5 | | | | | | | | | |
| | | % | ≤ ±0,8 | | | | | | | | | |
| Nullpunktteranz | d _{s,0} | mV/V | ± 0.075 | | | ± 0.2 | | | | | | |
| Linearität | d _{lin} | % | ≤ ±0,5 | | | | | | | | | |
| Relative Umkehrspanne | u _{0,5} | % | ≤ ±0,5 | | | | | | | | | |
| Spannweite in unveränderlicher Einbaulage | b _{rg} | % | ≤ ±0,5 | | | | | | | | | |
| Rel. Kriechen über 30 min | d _{crF+E} | % | ≤ ±0,2 | | | | | | | | | |
| Eingangswiderstand | R _e | Ω | > 345 | | | 300 – 400 | | | | | | |
| Ausgangswiderstand | R _a | Ω | 300 ... 400 | | | <350 | | | | | | |
| Isolationswiderstand | R _{Is} | GΩ | > 1 x 10 ⁹ | | | | | | | | | |
| Gebrauchsbereich der Speisespannung | B _{U,GT} | V | 0,5 ... 12 | | | | | | | | | |
| Referenzspeisespannung | U _{ref} | V | 5 | | | | | | | | | |
| Referenztemperatur | t _{ref} | °C | + 23 | | | | | | | | | |
| Nenntemperaturbereich | B _{t,nom} | °C | -10...+70 | | | | | | | | | |
| Gebrauchstemperaturbereich | B _{t,G} | °C | -30...+85 | | | | | | | | | |
| Lagerungstemperaturbereich | B _{t,S} | °C | -30...+85 | | | | | | | | | |

| Schutzart nach DIN EN 60 529 | | | IP 67 | | | | | | | | | |
|--|-----------|-----|-------|----|------|------|-------|------|------|------|------|----|
| Nennmessweg $\pm 15\%$ | S_{nom} | mm | < 0,1 | | | | 0,04 | 0,06 | 0,09 | 0,11 | 0,13 | |
| Grundresonanzfrequenz $\pm 15\%$ | f_G | kHz | 7,3 | 10 | 15,7 | 15,5 | 23,7 | 18,7 | 20 | 23 | 27,8 | 20 |
| Gebrauchskraft max. | (F_G) | % | 200 | | | | 120 | | | | | |
| Bruchkraft | (F_B) | % | | | | | > 400 | | | | | |
| Rel. Statische Grenzquerkraft. ¹⁾ | (F_Q) | % | 40 | | | | 20 | | | | | |
| Rel. zul. Schwingbeanspruchung | F_{rb} | % | 70 | | | | | | | | 40 | |
| Gewicht, ca. | | g | 75 | | | | 100 | | | | 400 | |
| Kabellänge | | m | 1,5 | | | | | | | | | |

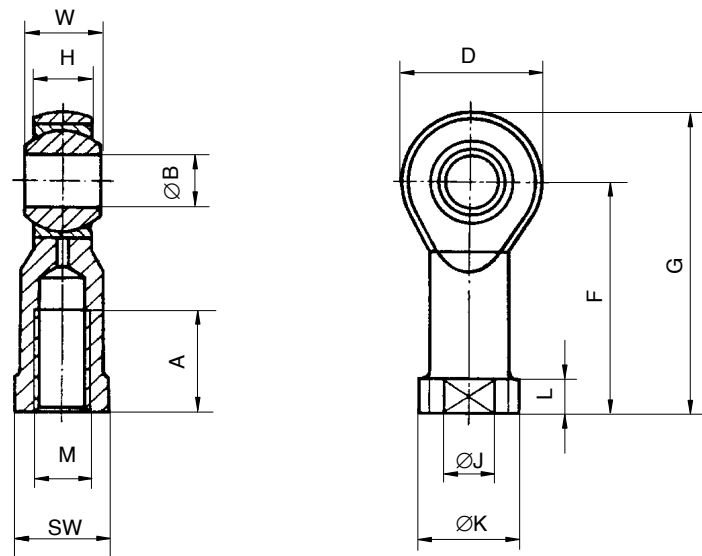
¹⁾ bezogen auf den Krafteinleitungspunkt 2 mm über der Membran

8 Abmessungen



| Nennkraft U9B | A _{-0,1} | B | C | E | F | G | M | R | Y | Z |
|---------------|-------------------|------|------|----|------|------|-----------|----|--------|-----|
| 500 N...1 kN | 26 | 44,5 | 20,5 | 13 | 9,5 | 13,5 | M5 | 20 | ca.5,5 | 2,7 |
| 2...20 kN | 26 | 60 | 28,5 | 21 | 16 | 21 | M10 | 40 | ca.5,5 | 5 |
| 50 kN | 46 | 84 | 40 | 28 | 21,5 | 28 | M16 x 1,5 | 80 | ca.5,5 | 8 |

Gelenköse ZGW, rostfrei (Zubehör)



| Für Nennkraft | A | B ^{H7} | D | F | G | H | J | K | L | M | SW | W |
|---------------|----|-----------------|----|----|----|------|----|----|-----|---------|----|----|
| 50 N...1 kN | 10 | 5 | 18 | 27 | 36 | 6 | 9 | 11 | 4 | M5 | 9 | 8 |
| 2...20 kN | 20 | 10 | 28 | 43 | 57 | 10,5 | 15 | 19 | 6,5 | M10 | 17 | 14 |
| 50 kN | 28 | 16 | 42 | 64 | 85 | 15 | 22 | 27 | 8 | M16x1,5 | 22 | 21 |

| Sommaire | Page |
|---|-------------|
| Informations relatives à la sécurité | 34 |
| 1 Equipement livré | 37 |
| 2 Domaine d'application et informations s'y rapportant | 37 |
| 3 Structure et fonctionnement | 38 |
| 3.1 Elément de mesure | 38 |
| 3.2 Opération de mesure, signal de sortie | 38 |
| 4 Conditions sur site | 38 |
| 4.1 Température ambiante | 38 |
| 4.2 Protection contre l'humidité et la corrosion | 39 |
| 4.3 Stockage | 39 |
| 4.4 Pression atmosphérique | 39 |
| 5 Montage mécanique | 40 |
| 5.1 Principales mesures préventives lors du montage | 40 |
| 5.2 Consignes générales de montage | 40 |
| 5.2.1 Montage pour contrainte de traction et de pression | 40 |
| 6 Raccordement | 41 |
| 6.1 Instructions pour le câblage | 41 |
| 6.2 Affectation des fils de câble | 41 |
| 6.3 Technique de connexion | 42 |
| 6.4 Rallonge de câble | 43 |
| 7 Caractéristiques techniques selon VDI/VDE2638 | 43 |
| 8 Dimensions | 45 |

Informations relatives à la sécurité

Utilisation conforme

Les capteurs de force de la série U9B sont destinés aux mesures de forces en compression statiques et dynamiques. Toute utilisation divergente est considérée comme **non** conforme.

Pour garantir un fonctionnement en toute sécurité de ce capteur, celui-ci doit être utilisé conformément aux instructions de la notice de montage. De plus, il convient, pour chaque particulier, de respecter les règlements et consignes de sécurité correspondants. Ceci vaut également pour l'utilisation des accessoires.

Le capteur ne constitue pas un élément de sécurité au sens de l'utilisation conforme. Afin de garantir un fonctionnement parfait et en sécurité de ce capteur, il convient de respecter les conditions suivantes: transport approprié, stockage, installation et montage conformes à la technique, maniement et entretien scrupuleux.

Dangers encourus en cas de non-respect des consignes de sécurité

Les capteurs de force U9B sont conformes au niveau de développement technologique actuel et sont fiables.

Ils peuvent présenter des dangers résiduels s'ils sont utilisés par du personnel non qualifié de manière non conforme.

Toute personne chargée de l'installation, de la mise en service, de la maintenance ou de la réparation du capteur de force doit impérativement avoir lu et compris la notice de montage et, notamment, les indications relatives à la sécurité.

Dangers résiduels

Les performances de ce capteur ne couvrent qu'une partie des techniques de mesure de force. La sécurité dans ce domaine doit être conçue, mise en oeuvre et prise en charge par l'ingénieur, le constructeur et l'opérateur de manière à minimiser les dangers résiduels. Les dispositions en vigueur correspondantes doivent être respectées. Il convient de souligner les dangers résiduels liés aux techniques de mesure de force.

Dans la présente notice de montage, les dangers résiduels sont signalés à l'aide des symboles suivants :



Symbole : **DANGER**

Signification : **Niveau de danger maximum**

Signale un danger **immédiat** qui – si les consignes de sécurité ne sont pas respectées – **entraînera** des blessures mortelles ou de graves blessures corporelles.



Symbole : **AVERTISSEMENT**

Signification : **Situation potentiellement dangereuse**

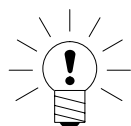
Signale un danger **potentiel** qui – si les consignes de sécurité ne sont pas respectées – **peut entraîner** des blessures mortelles ou de graves blessures corporelles.



Symbole : **ATTENTION**

Signification : **Situation potentiellement dangereuse**

Signale un danger **potentiel** qui – si les consignes de sécurité ne sont pas respectées – **pourrait entraîner** des dégâts matériels et/ou des blessures corporelles plus ou moins graves.



Symbole : **REMARQUE**

Signale des informations importantes relatives au produit et à sa manipulation.

Symbole : **CE**

Signification : **Label CE**

Avec le marquage CE, le fabricant garantit que son produit est conforme aux exigences des directives CE qui s'y appliquent (Pour voir la déclaration de conformité visitez <http://www.hbm.com/hbmdoc>).

Interdiction de toutes transformations et modifications sans autorisation

Il est interdit de modifier le capteur sur le plan conceptuel ou de la sécurité sans accord explicite de notre part. Toute modification annule notre responsabilité pour les dommages qui pourraient en résulter.

Personnel qualifié

Cet appareil doit uniquement être manipulé par du personnel qualifié conformément aux caractéristiques techniques et aux consignes de sécurité décrites ci-après. De plus, il convient, pour chaque particulier, de respecter les règlements et consignes de sécurité correspondants. Ceci vaut également pour l'utilisation des accessoires.

Sont considérées comme personnel qualifié les personnes familiarisées avec l'installation, le montage, la mise en service et l'exploitation du produit et disposant des qualifications correspondantes.

Conditions relatives au lieu d'installation

Protéger le capteur de l'humidité et des intempéries, telles que pluie, neige, etc. ainsi que des saletés excessives.

Le capteur conforme au degré de protection IP67 selon DIN EN 60529.

Entretien

Le capteur de force U9B est sans entretien.

Prévention des accidents

Bien que la force de rupture donnée soit un multiple de la pleine échelle, il convient de respecter les règlements pour la prévention des accidents du travail correspondants.

1 Équipement livré

Capteur de force U9B; notice de montage

2 Domaine d'application et informations s'y rapportant

Les capteurs sont destinés à la mesure de forces de traction et de pression statiques et dynamiques. La forme compacte permet d'utiliser l'appareil là où on dispose de peu de place.

Les capteurs de force sont exempts d'entretien et peuvent être montés même à des emplacements difficilement accessibles. Les signaux de mesure électriques peuvent être transmis et affichés à des bancs et postes de mesure éloignés, enregistrés et utilisés à des fins de commande et de régulation.

Les capteurs sont des appareils de mesure de précision et demandent une manipulation précautionneuse lors du transport et du montage. Les coups de bélier (p. ex. application d'une charge en chute libre) peuvent aussi provoquer en mode mesure une surcharge inattendue ayant des dommages permanents.



REMARQUE:

Veillez à ce que les couvercles de boîtier qui sont relativement minces (pour les forces nominales de 50 N – 200 N) ne soient pas endommagés. Les limites pour les contraintes mécaniques, thermiques et électriques admissibles sont stipulées dans les caractéristiques techniques. Elles doivent absolument être respectées.



3 Structure et fonctionnement

3.1 Élément de mesure

La force est introduite sur le corps de mesure à membrane du U9B via un boulon fileté. Ce type de corps de mesure offre l'avantage de servir également de boîtier et donc de protéger les applications à jauge extensométrique. Le capteur est encapsulé de façon hermétiquement étanche par un adaptateur avec boulon fileté ou couvercle de boîtier soudé à l'extrémité inférieure.

Avec les étendues de mesure de 50 N, 100 N et 200 N, l'adaptateur est raccordé au capteur par trois vis (M3). Pour enlever l'adaptateur requiert desserrer les vis. Par là le signal de zéro peut changer de 2 % au maximum. Pour monter de nouveau l'adaptateur requiert resserrer les vis avec un couple de serrage de 0,75 N·m.

3.2 Opération de mesure, signal de sortie

Le ressort de mesure ainsi que la jauge extensométrique seront déformés élastiquement par la charge agissant dans le sens de la mesure. Les jauges extensométriques câblées en pont de Wheastone modifient leur résistance ohmique proportionnellement à leur changement de longueur. Le pont de Wheatstone en sera désaccordé. Si une tension d'alimentation de pont est appliquée, le circuit fournit un signal de sortie qui est proportionnel à la modification de résistance et qui est donc également proportionnel à la force appliquée.

Il est nécessaire d'avoir un amplificateur de mesure apte à la technique à jauge extensométrique pour traiter le signal de mesure.

4 Conditions sur site

4.1 Température ambiante

Pour obtenir des résultats de mesure optimisés, il convient de respecter la plage de température nominale de $-10\text{ °C} \dots +70\text{ °C}$. Des températures constantes ne variant que très lentement conviennent le mieux. Les coefficients de température indiqués s'appliquent – en conformité avec la directive VDE/VDI 2637 – si la température ambiante ne se modifie pas plus rapidement que 5 K/h.

Les gradients thermiques dans le capteur se produisant par réchauffement ou refroidissement d'un côté influent sur le point zéro du capteur. Un bouclier anti-rayonnement et une isolation thermique totale contribuent à une remarquable amélioration. Ils ne doivent former en aucun cas des dérivations de force.



REMARQUE:

Le point zéro du capteur peut être influencé par la chaleur des mains. Si on mesure à la température ambiante (env. 20 °C), vous devriez, après avoir touché le capteur, attendre env. 15 min. avant de faire la mesure.

4.2 Protection contre l'humidité et la corrosion

L'humidité extérieure et le climat tropical n'influencent pas le fonctionnement du capteur. Il est conforme à la protection IP67 selon EN 60529.

IP67 correspond à: Protection contre la pénétration de poussière et d'eau, dans le dernier cas si le capteur est plongé dans l'eau (1/2 heure à 1 m de profondeur).

Le boîtier du capteur est entièrement en acier inoxydable. La gaine du câble de connexion est en chlorure de polyuréthane (PUR).

4.3 Stockage

La poussière, la saleté et d'autres corps étrangers ne doivent pas s'accumuler, car ceci aurait pour effet de dériver une partie de la force mesurée sur le boîtier, ce qui fausserait la valeur mesurée (force dérivée).

4.4 Pression atmosphérique

La pression atmosphérique admissible pour les capteurs avec étendues de mesure ≥ 500 N est entre 0 et 5 bar. Veuillez noter que des variations de pression peuvent résulter dans des déviations du zéro.

| Force nominale | | N | kN | | | | | | |
|--|---|-----------------------|------|-------|------|-------|-------|-------|-------|
| | | 50..200 ^{*)} | 0,5 | 1 | 2 | 5 | 10 | 20 | 50 |
| Variation du zéro pour un changement de pression environnante de 10 mbar (rapportée à la charge nominale). | % | 0,01 | 0,01 | 0,006 | 0,01 | 0,004 | 0,002 | 0,002 | 0,001 |

^{*)} pour une utilisation dans la plage de pression de 800 ... 1200 hPa

5 Montage mécanique

5.1 Principales mesures préventives lors du montage

- Manipuler les capteurs avec précaution.
- Les filetages doivent être absolument propres et complètement portants.
- Le capteur ne doit pas être soumis à une surcharge. Vous devez éviter aussi les brèves surcharges – p. ex. dues à des charges d'appuis réparties inégalement.
- Chaque capteur devrait être ponté avec une tresse en cuivre lors du montage ou immédiatement après (env. 50 mm²), ceci afin d'éviter que des courants de soudage passent par le capteur et soudent le point d'introduction de la charge. HBM fournit à cette fin le câble de terre flexible EEK.

5.2 Consignes générales de montage

Les charges doivent si possible agir précisément dans le sens de la charge sur le capteur de force. Les couples de torsion, les charges décentrées et les charges transversales ou les forces latérales sont à l'origine d'erreurs de mesure et peuvent endommager durablement le capteur. Les composants respectifs des forces introduites en biais font partie des contraintes transversales et des forces latérales.

5.2.1 Montage pour contrainte de traction et de pression

Les capteurs peuvent mesurer des forces axiales tant en traction qu'en pression. De la même façon, les charges alternantes sont parfaitement captées. Pour cela, le capteur est à monter sans jeu axial.

Les forces de traction et/ou de pression sont introduites par les deux boulons filetés. Les éléments d'introduction de force seront contrés contre le capteur à l'aide des écrous hexagonaux compris dans la livraison. Pour cela, le capteur est contraint à une force nominale et les écrous sont serrés (contrés) avec un couple de serrage correspondant:

| Force nominale (kN) | Couple de serrage (N·m) |
|---------------------|-------------------------|
| 0,5 ...1 | 8 |
| 2...20 | 40 |
| 50 | 200 |

Pour charge en traction HBM recommande d'utiliser des anneaux à rotule (Cf. chapitre 9 "Dimensions"), lesquels permettent d'empêcher l'introduction de couples de torsion et de flexion ainsi que de forces transversales dans le capteur. Il faudrait utiliser des éprouvettes souples pour l'essai à la traction en contrainte dynamique.

6 Raccordement

6.1 Instructions pour le câblage

Les champs électriques et magnétiques occasionnent souvent un couplage de tensions perturbatrices dans le circuit de mesure. Ces perturbations proviennent en premier lieu des lignes de courant fort posées parallèlement aux lignes de mesure mais aussi des contacteurs ou électromoteurs se trouvant à proximité. Par ailleurs, des tensions perturbatrices peuvent être couplées galvaniquement. Ceci a lieu notamment par la mise à la terre de la chaîne de mesure à différents points qui n'ont pas le même potentiel.

Pour éviter les parasites, veuillez noter le suivant:

- Comme rallonge de câble n'utilisez que des câbles de mesure blindés et à faible capacité (les câbles HBM remplissent ces conditions).
- Ne posez pas les câbles de mesure parallèlement aux lignes à courant fort et pilote. Si ce n'est pas possible (p. ex. dans puits à câbles), protégez le câble de mesure p. ex. par des tubes blindés en acier et respectez une distance minimum de 50 cm par rapport aux autres câbles.
- Evitez les champs de fuite des transformateurs ainsi que des moteurs et contacteurs.
- Les capteurs, amplificateurs et moniteurs ne doivent pas être mis à la terre plusieurs fois. Raccordez tous les appareils à la même terre.
- Pour de plus amples informations consultez notre imprimé spécial "Compatibilité électromagnétique".

6.2 Affectation des fils de câble

Le câble de connexion du capteur a des extrémités de fils libres en couleur et sa longueur est de 1,5 m. Le blindage du câble est relié au boîtier du capteur et est accessible par la gaine de câble incisée. HBM conseille de poser le blindage du câble face plane sur le boîtier du connecteur ou de l'appareil. Lorsque le capteur est connecté selon les indications du tableau, la tension de sortie à l'amplificateur de mesure est alors positive pour une contrainte du capteur dans le sens de la charge. Si on souhaite une tension de sortie négative à l'amplificateur de mesure lorsque le capteur est soumis à des contraintes de pression, il suffit de permuter les fils blanc et rouge du câble.

6.3 Technique de connexion

Les capteurs sont pourvus d'un câble de connexion à quatre fils et calibrés en technique quatre conducteurs (standard).

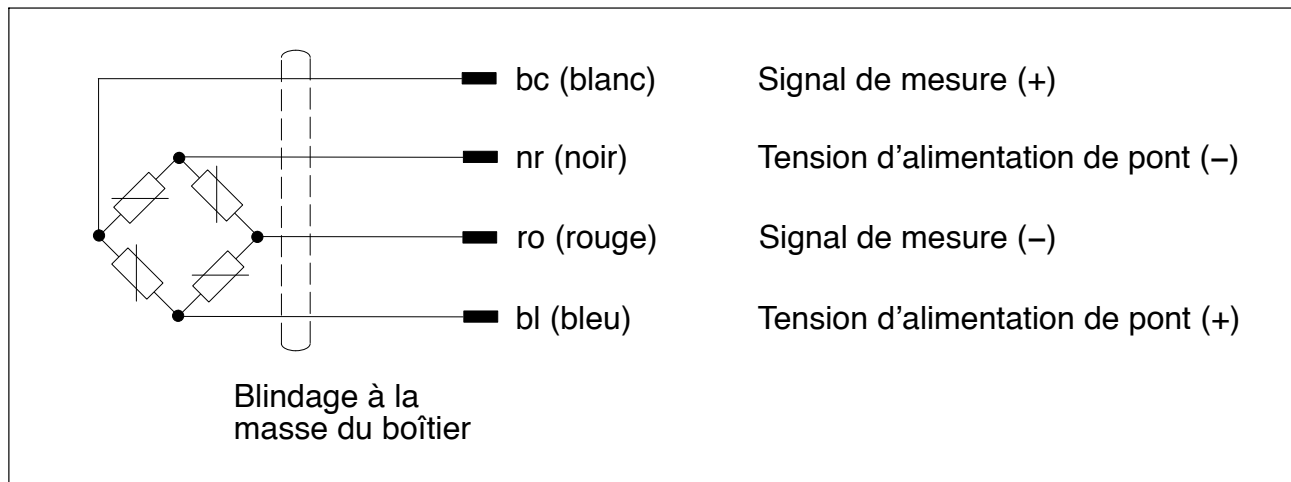


Fig. 6.1: Capteurs avec câble de connexion à quatre fils

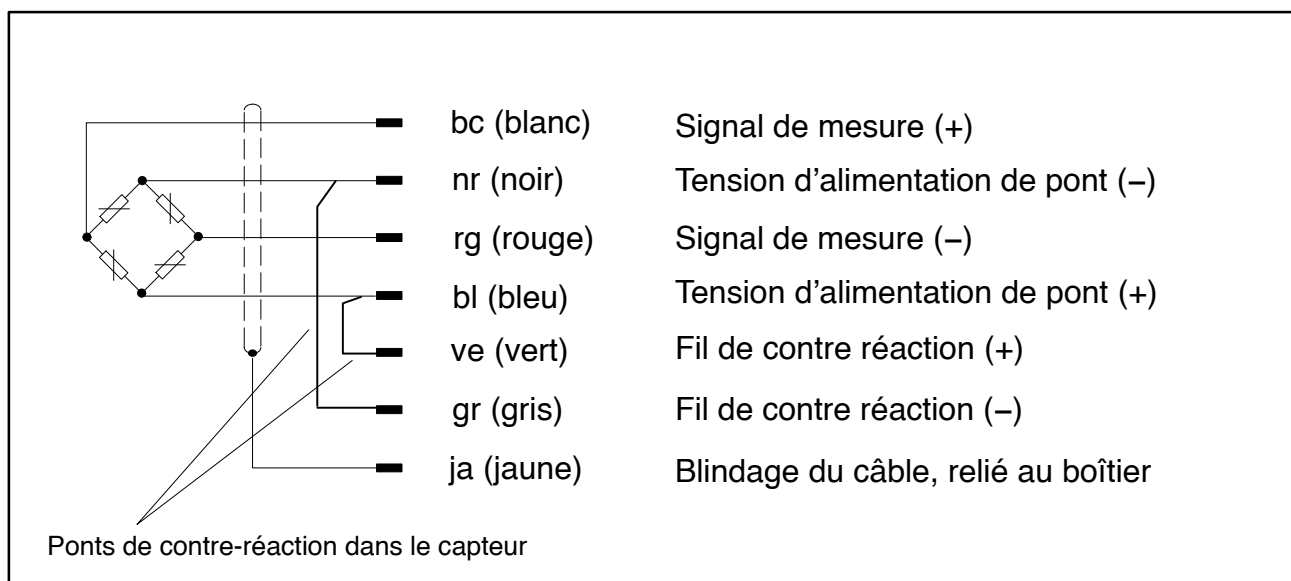


Fig. 6.2: Capteur avec câble de connexion à quatre fils, amplificateur en technique six conducteurs



ATTENTION:

Avec les capteurs à forces nominales de 50 N, 100 N et 200 N, des résistances de compensation (pour l'équilibrage de la sensibilité) se trouvent à l'extrémité du câble sous un flexible contractile. Il ne faut pas les enlever. Les résistances doivent être réemployées aux mêmes conducteurs lors du raccourcissement du câble.

6.4 Rallonge de câble

Les rallonges de câble doivent être blindées et à faible capacité (les câbles HBM remplissent ces conditions). Veillez à bien connecter les rallonges de câble avec une perte de tension au passage la plus faible possible et une bonne isolation.

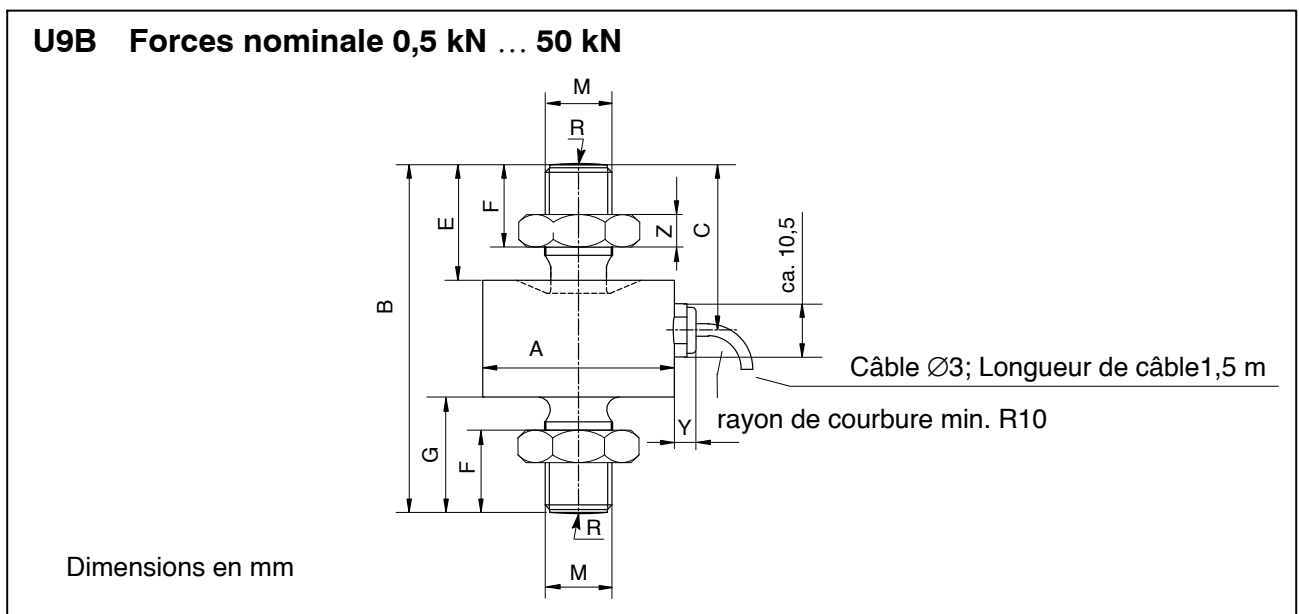
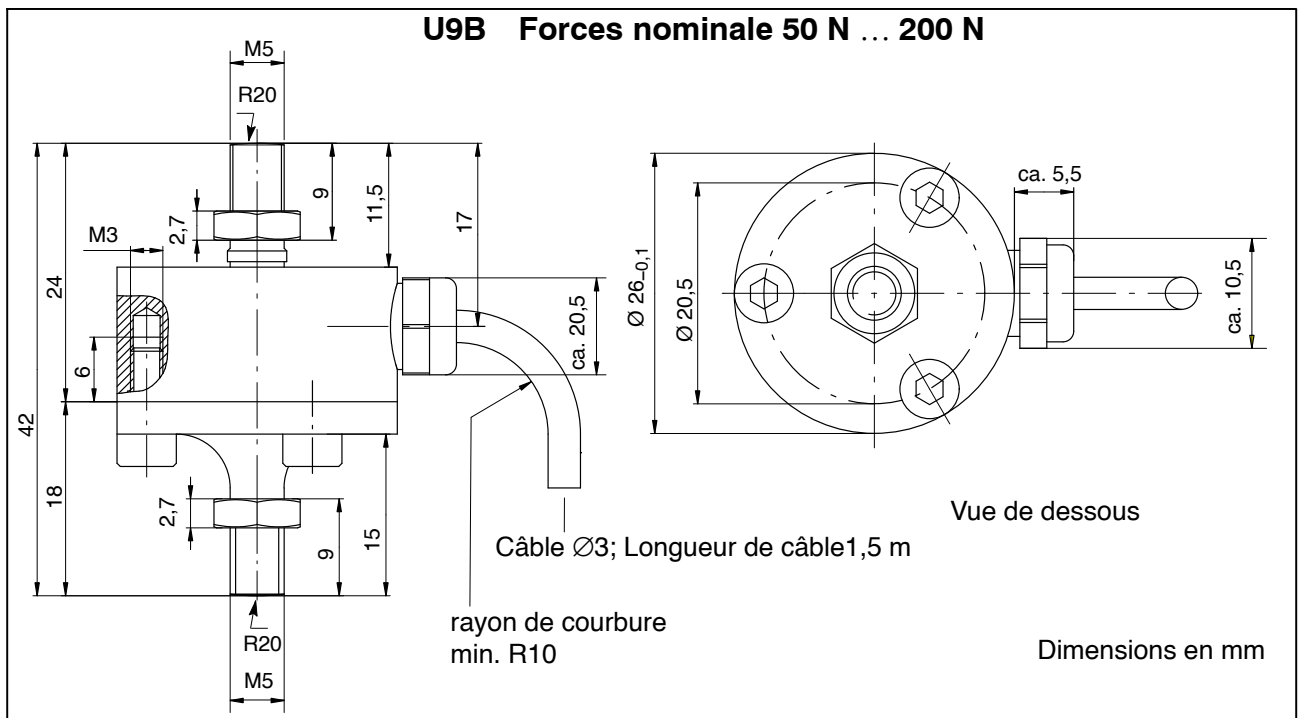
7 Caractéristiques techniques selon VDI/VDE2638

| Type | | | U9B | | | | | | | | | |
|---|------------------------|------|---------------------------------|-----|-----|--|-----------|--|-----|---|---|---|
| Force nominale | F _{nom} | N | 50 | 100 | 200 | | | | | | | |
| | | | kN | | | | | | 0,5 | 1 | 2 | 5 |
| Classe de précision | | | 0,5 | | | | | | | | | |
| Sensibilité nominale | C _{nom} | mV/V | 1 | | | | | | | | | |
| Tolérance sur la sensibilité | d _c | % | ≤ ± 1 traction / ≤ ± 2 pression | | | | | | | | | |
| Influence de la température pour une variation de 10K sur la sensibilité dans la plage nominale de température dans la plage utile de température | TK _C | % | ≤ ± 0,5 | | | | | | | | | |
| | | % | ≤ ± 0,8 | | | | | | | | | |
| Influence de la température pour une variation de 10 K sur le zéro dans la plage nominale de température dans la plage de utile de température | TK ₀ | % | ≤ ± 0,5 | | | | | | | | | |
| | | % | ≤ ± 0,8 | | | | | | | | | |
| Tolérance du signal zéro | d _{s,0} | mV/V | ± 0,075 | | | | ± 0,2 | | | | | |
| Linéarité | | % | ≤ ± 0,5 | | | | | | | | | |
| Erreur de réversibilité relative | U | % | ≤ ± 0,5 | | | | | | | | | |
| Erreur relative de répétabilité sans rotation | | % | ≤ ± 0,5 | | | | | | | | | |
| Fluage à force nominale et température de référence sur 30 min | d _{crF+} E | % | ≤ ± 2,0 | | | | | | | | | |
| Résistance d'entrée | R _e | Ω | > 345 | | | | 300 – 400 | | | | | |
| Résistance de sortie | R _a | Ω | 300–400 | | | | <350 | | | | | |

| | | | | | | | | | | | | |
|---|------------------------|-----|----------------------|----|------|------|-------|------|------|------|------|----|
| Résistance d'isolment | R _{Is} | GΩ | > 1x 10 ⁹ | | | | | | | | | |
| Plage d'utilisation de la tension d'alimentation | B _{U,G} | V | 0,5...12 | | | | | | | | | |
| Tension d'alimentation de référence | U _{réf} | V | 5 | | | | | | | | | |
| Température de référence | t _{réf} | °C | + 23 | | | | | | | | | |
| Plage nominale de température | B _{t,no} m | °C | -10...+70 | | | | | | | | | |
| Plage utile de température | B _{t,G} | °C | -30...+85 | | | | | | | | | |
| Température de stockage | B _{t,S} | °C | -30...+85 | | | | | | | | | |
| Indice de protection, selon DIN EN 60 529 | | | IP 67 | | | | | | | | | |
| Déflexion nominale ± 15 % | S _{nom} | mm | < 0,1 | | | 0,04 | | 0,06 | 0,09 | 0,11 | 0,13 | |
| Fréquence propre ± 15 % | | kHz | 7,3 | 10 | 15,7 | 15,5 | 23,7 | 18,7 | 20 | 23 | 27,8 | 20 |
| Force de limite | (F _G) | % | 300 | | | | 120 | | | | | |
| Force de rupture | (F _B) | % | > 500 | | | | > 200 | | | | | |
| Force transversale statique relative limite¹⁾ | (F _Q) | % | 100 | | | | 40 | | 20 | | | |
| Amplitude dynamique admissible selon DIN 50 100 | F _{rb} | % | 70 | | | | | | | | | 40 |
| Poids, env. | | g | 75 | | | 65 | 100 | | | | 400 | |
| Longueur de câble | | m | 1,5 | | | | | | | | | |

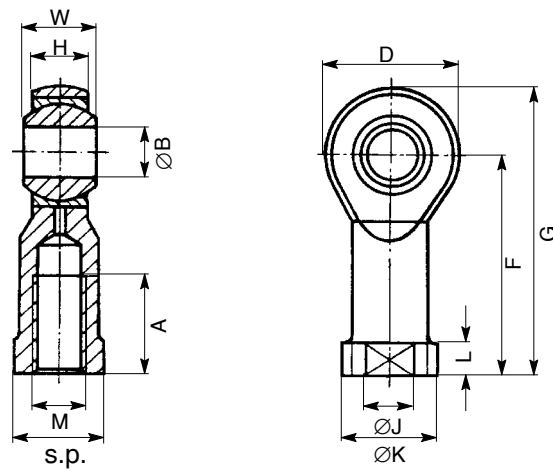
¹⁾ par rapport à un point de déclenchement de force situé à 2 mm au dessus de la membrane

8 Dimensions



| Force nominale | A _{-0,1} | B | C | E | F | G | M | R | Y | Z |
|----------------|-------------------|------|------|----|------|------|---------|----|---------|-----|
| 500 N ... 1 kN | 26 | 44,5 | 20,5 | 13 | 9,5 | 13,5 | M5 | 20 | env.5,5 | 2,5 |
| 2...20 kN | 26 | 60 | 28,5 | 21 | 16 | 21 | M10 | 40 | env.5,5 | 5 |
| 50 kN | 46 | 84 | 40 | 28 | 21,5 | 28 | M16x1,5 | 80 | env.5,5 | 8 |

Anneau à rotule ZGW, inoxydable (Accessoires)



| Pour force nominale | A | B | D | F | G | H | J | K | L | M | s.p. | W |
|---------------------|----|------------------|----|----|----|------|----|----|-----|---------|------|----|
| 50 N ...1 kN | 10 | 5 ^{H7} | 18 | 27 | 36 | 6 | 9 | 11 | 4 | M5 | 9 | 8 |
| 2...20 kN | 20 | 10 ^{H7} | 28 | 43 | 57 | 10,5 | 15 | 19 | 6,5 | M10 | 17 | 14 |
| 50 kN | 28 | 16 ^{H7} | 42 | 64 | 85 | 15 | 22 | 27 | 8 | M16x1,5 | 22 | 21 |

Änderungen vorbehalten.
Alle Angaben beschreiben unsere Produkte in allgemeiner Form.
Sie stellen keine Eigenschaftszusicherung im Sinne des §459,
Abs. 2, BGB dar und begründen keine Haftung.

Modifications reserved.
All details describe our products in general form only. They are
not to be understood as express warranty and do not constitute
any liability whatsoever.

Document non contractuel.
Les caractéristiques indiquées ne décrivent nos produits que
sous une forme générale. Elles n'établissent aucune assurance
formelle au terme de la loi et n'engagent pas notre responsabilité.

7-2001.1060

A0137-6.4 en/de/fr

Hottinger Baldwin Messtechnik GmbH

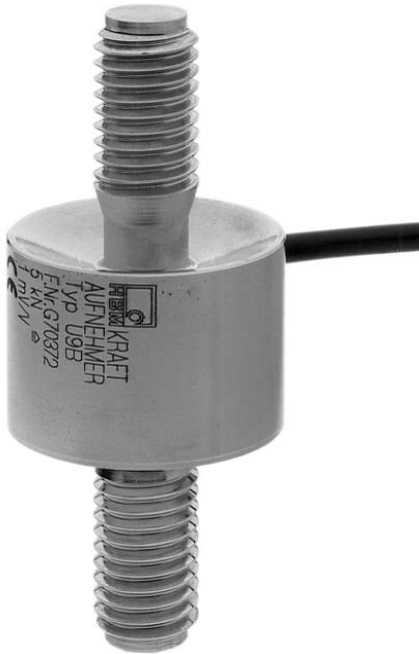
Postfach 10 01 51, D-64201 Darmstadt
Im Tiefen See 45, D-64293 Darmstadt
Tel.: +49 6151 803-0 Fax: +49 6151 8039100
Email: support@hbm.com Internet: www.hbm.com



measurement with confidence

U9B

Force Transducers

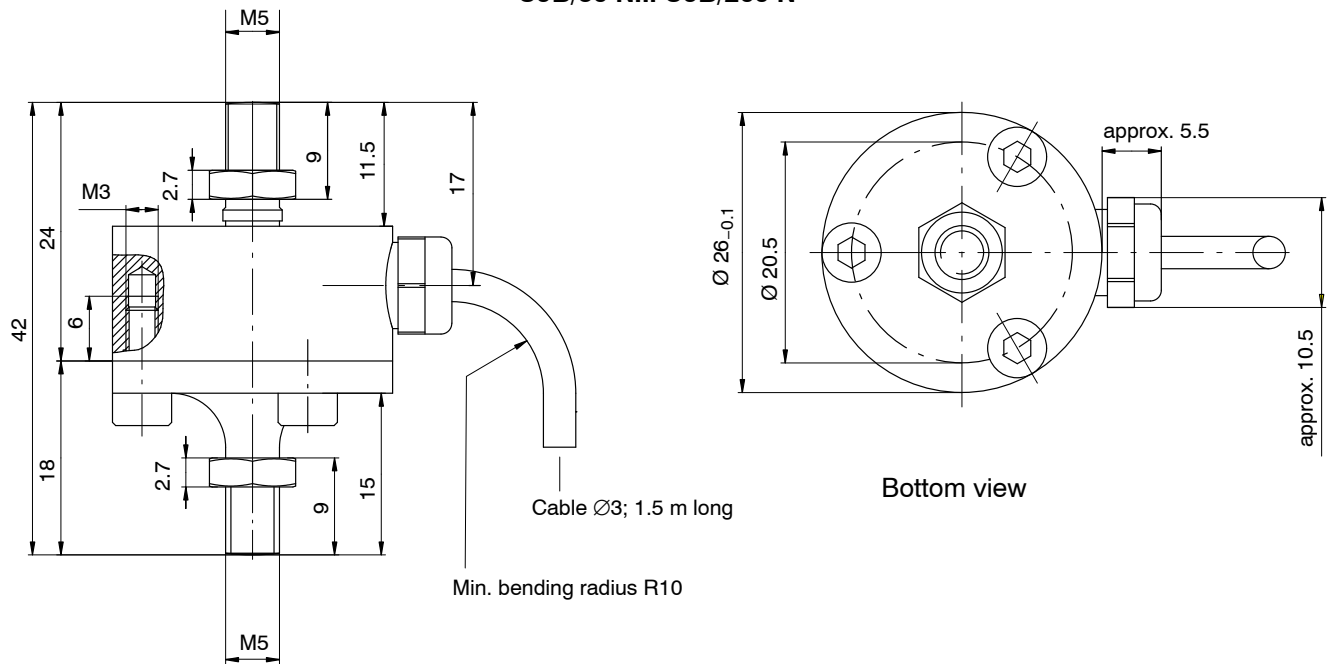


Special features

- Tensile / compressive force transducer in non-rusting material
- Nominal (rated) forces 50 N ... 50 kN
- Small size
- Accuracy class 0.5
- Maintenance-free knuckle eye as force-introduction aid

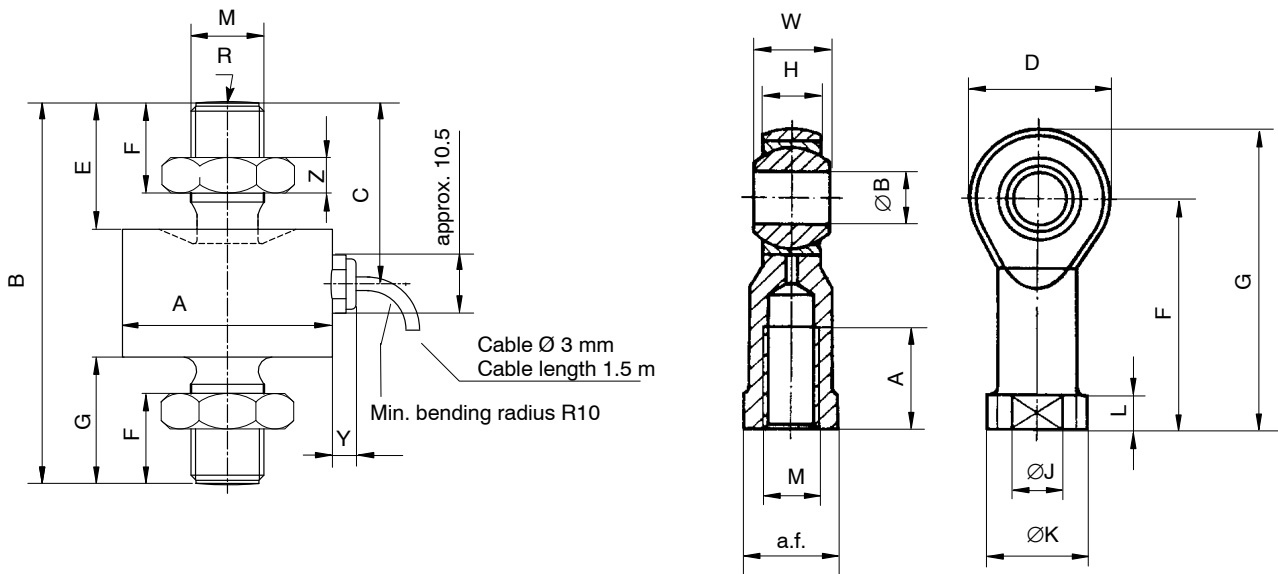
Dimensions (in mm; 1 mm= 0.03937 inches)

U9B/50 N... U9B/200 N



U9B/0.5 kN ... U9B/50 kN

Knuckle eye ZGW



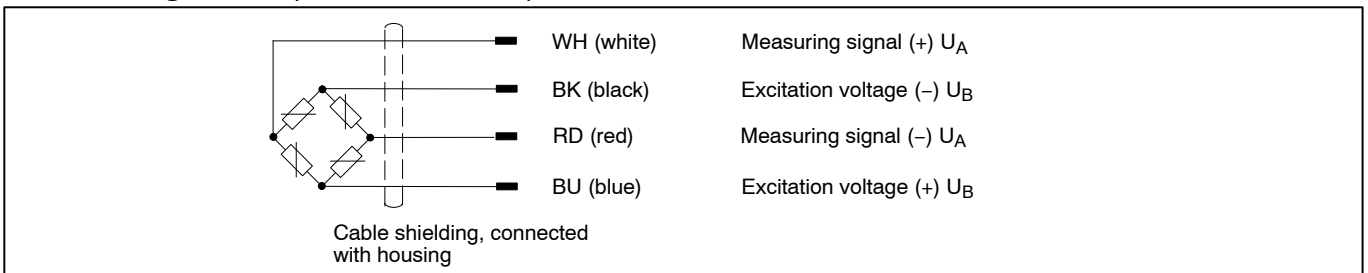
All dimensions in mm

| Nominal (rated) force U9B | A _{-0.1} | B | C | E | F | G | M | R | Y | Z |
|---------------------------|-------------------|------|------|----|------|------|---------|----|-------------|-----|
| 0.5...1 kN | 26 | 44.5 | 20.5 | 13 | 9.5 | 13.5 | M5 | 20 | approx. 5.5 | 2.7 |
| 2...20 kN | 26 | 60 | 28.5 | 21 | 16 | 21 | M10 | 40 | approx. 5.5 | 5 |
| 50 kN | 46 | 84 | 40 | 28 | 21.5 | 28 | M16x1.5 | 80 | approx. 5.5 | 8 |

Knuckle eye:

| Nominal (rated) force ZGW | A | B | D | F | G | H | J | K | L | M | a.f. | W |
|---------------------------|----|------------------|----|----|----|------|----|----|-----|---------|------|----|
| 50 N...1 kN | 10 | 5 ^{H7} | 18 | 27 | 36 | 6 | 9 | 11 | 4 | M5 | 9 | 8 |
| 2...20 kN | 20 | 10 ^{H7} | 28 | 43 | 57 | 10.5 | 15 | 19 | 6.5 | M10 | 17 | 14 |
| 50 kN | 28 | 16 ^{H7} | 42 | 64 | 85 | 15 | 22 | 27 | 8 | M16x1.5 | 22 | 21 |

Cable assignment (Four wire-circuit)



Specifications

| Type | | | U9B | | | | | | | | | | |
|--|-------------|-----------------------------|---|-----|-----|-----------|------|------|------|------|----|------|----|
| Nominal (rated) force | F_{nom} | N | 50 | 100 | 200 | | | | | | | | |
| | | kN | | | | 0.5 | 1 | 2 | 5 | 10 | 20 | 50 | |
| Accuracy class | | | 0.5 | | | | | | | | | | |
| Nominal (rated) sensitivity | C_{nom} | mV/V | 1 | | | | | | | | | | |
| Rel. sensitivity deviation | d_c | % | $\leq \pm 1$ tension / $\leq \pm 2$ compression | | | | | | | | | | |
| Temperature effect on the sensitivity per 10 K in the nominal (rated) temperature range in the operating temperature range | TK_C | % | $\leq \pm 0.5$ | | | | | | | | | | |
| | | % | $\leq \pm 0.8$ | | | | | | | | | | |
| Temperature effect on the zero signal per 10 K in the nominal (rated) temperature range in the operating temperature range | TK_0 | % | $\leq \pm 0.5$ | | | | | | | | | | |
| | | % | $\leq \pm 0.8$ | | | | | | | | | | |
| Zero signal tolerance | $d_{s,o}$ | mV/V | ± 0.075 | | | ± 0.2 | | | | | | | |
| Linearity | d_{lin} | % | $\leq \pm 0.5$ | | | | | | | | | | |
| Rel. reversibility error | U | % | $\leq \pm 0.5$ | | | | | | | | | | |
| Rel. repeatability error without rotation | brg | % | $\leq \pm 0.5$ | | | | | | | | | | |
| Creep, over 30 min | d_{crF+E} | % | $\leq \pm 0.2$ | | | | | | | | | | |
| Input resistance | R_e | Ω | > 345 | | | 300–400 | | | | | | | |
| Output resistance | R_a | Ω | 300–400 | | | < 350 | | | | | | | |
| Insulation resistance | R_{Is} | G Ω | $> 1 \times 10^9$ | | | | | | | | | | |
| Operating range of supply voltage | $B_{U,G}$ | V | 0.5...12 | | | | | | | | | | |
| Reference supply voltage | U_{ref} | V | 5 | | | | | | | | | | |
| Reference temperature | t_{ref} | $^{\circ}C$ [$^{\circ}F$] | + 23 [+73.4] | | | | | | | | | | |
| Nominal (rated) temperature range | $B_{t,nom}$ | $^{\circ}C$ [$^{\circ}F$] | –10...+70 [+14...+158] | | | | | | | | | | |
| Operating temperature range | $B_{t,G}$ | $^{\circ}C$ [$^{\circ}F$] | –30...+85 [–22...+185] | | | | | | | | | | |
| Storage temperature range | $B_{t,S}$ | $^{\circ}C$ [$^{\circ}F$] | –30...+85 [–58...+185] | | | | | | | | | | |
| Protection to DIN EN 60 529 | | | IP 67 | | | | | | | | | | |
| Nominal (rated) measuring displacement $\pm 15\%$ | S_{nom} | mm | < 0.1 | | | 0.04 | 0.06 | 0.09 | 0.11 | 0.13 | | | |
| Natural frequency $\pm 15\%$ | | | kHz | 7.3 | 10 | 15.7 | 15.5 | 23.7 | 18.7 | 20 | 23 | 27.8 | 20 |
| Working force | (F_G) | % | 120 | | | | | | | | | | |
| Breaking force | (F_B) | % | > 200 | | | | | | | | | | |
| Relative static lateral limit force ¹⁾ | (F_Q) | % | 40 | | | | | 20 | | | | | |
| Permissible vibration amplitude to DIN 50 100 | Frb | % | 70 | | | | | | | | | 40 | |
| Weight, approx. | | | g | 75 | | | 100 | | | | | 400 | |
| Cable length | | | m | 1.5 | | | | | | | | | |

¹⁾ referred to the 2 mm force introduction point above diaphragm

Order numbers:

Force transducer

| Order code | Nominal (rated) force | | | | | | | | | | Unit |
|------------|-----------------------|-----|-----|-----|---|---|---|----|----|----|------|
| 1-U9B/ ... | 50 | 100 | 200 | | | | | | | | N |
| | | | | 0,5 | 1 | 2 | 5 | 10 | 20 | 50 | kN |

Ordering numbers: 1-U9B/2kN

Accessories (to be ordered separately)

| | |
|----------------|---|
| 1-Z8/100kg/ZGW | Knuckle eye 50 N ... 1 kN |
| 1-U9/20kN/ZGWR | Knuckle eye 2 kN ... 20 kN |
| 1-U9A/50kN/ZGW | Knuckle eye 50 kN |
| D-15D/MONT | 15pin D-connector, mounted to transducer cable |
| D-MS/MONT | MS3106PEMV-connector, mounted to transducer cable |

Modifications reserved.

All details describe our products in general form only. They are not to be understood as express warranty and do not constitute any liability whatsoever.

B0143-4.3 en

Hottinger Baldwin Messtechnik GmbH

Im Tiefen See 45, D-64293 Darmstadt, Germany
Tel.: +49 6151 803-0 Fax: +49 6151 8039100
Email: support@hbm.com Internet: www.hbm.com



measurement with confidence

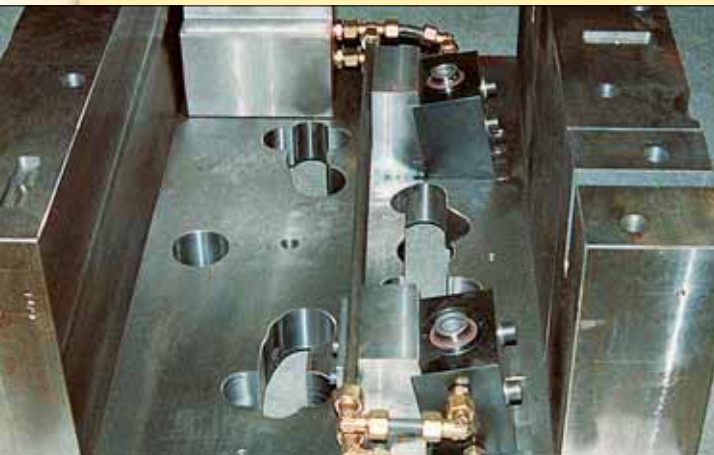
Block cylinders *Application & selection*

Shown: BD-18202, BMD-70502, BD-40252



▶ Block cylinders are used for punching, pressing, riveting and bending applications. In general, these cylinders are used for moving, positioning, lifting, opening and closing.

■ The versatile Enerpac block cylinders, fixture mounted for clamping applications.



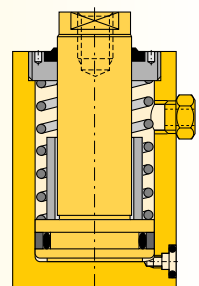
Versatile, all purpose cylinder

- Six clamping capabilities, enable you to choose the right size for your application
- Variety of strokes, to meet design needs
- Double acting and single-acting (spring return), allows selection of cylinder that best conforms to your hydraulic system
- Two oil connection possibilities:
 - with BSPP threaded oil ports
 - manifold O-ring ports
- Compact cylinder design does not require large amounts of space on your fixture
- Integral wiper ring, keeps contaminants out of cylinder to extend life
- Designed according ISO-standards

i Select your block cylinder type

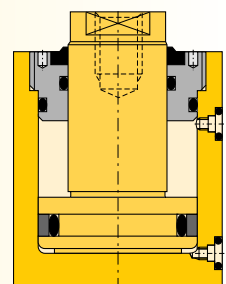
BMS, BS series, Single-acting

- BS series with BSPP oil port
- BMS series with manifold O-ring ports
- Internal threaded plunger
- Nickel-plated plunger
- Strong return spring
- Black oxide base
- Filtered vent plug



BMD, BD series, Double-acting

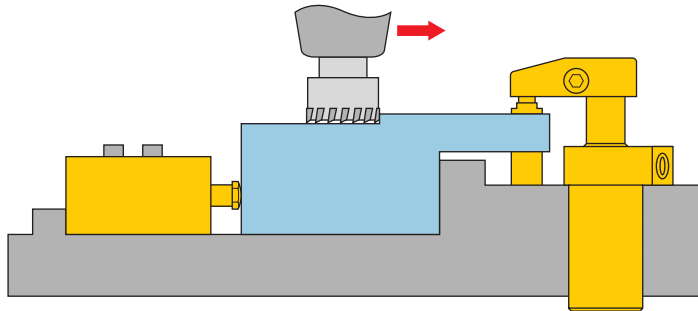
- BD series with BSPP oil port
- BMS series with manifold O-ring ports
- Internal threaded plunger
- Nickel-plated plunger
- Black oxide base





i Application example

Block cylinder positions workpiece against fixed point with further clamping coming from an Enerpac swing cylinder.



Force: 10,9 - 274,8 kN

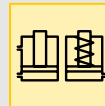
Stroke: 8 - 56 mm

Pressure: 40 - 350 bar

E Cilindros tipo bloque

F Vérins cube

D Blockzylinder



i Options

Contact bolts

72 ▶



Fittings

110 ▶



Valves

86 ▶



i Product selection

| Piston Ø | Rod Ø | Clamping force at 350 bar | | Stroke mm | Model number Manifold O-ring oil port | Model number BSPP threaded oil port | Cylinder effective area | | Cylinder oil capacity | | Minimum spring return force N | kg |
|------------------------|----------|---------------------------------|------------|--------------|---|---|-------------------------------|-------------------------|-----------------------------|-------------------------|---|------|
| | | push kN | pull kN | | | | push cm ² | pull cm ² | push cm ³ | pull cm ³ | | |
| ▼ Single-acting | | | | | | | | | | | | |
| 20 | 12 | 10,9 | - | 8 | BMS-1082 | BS-1082 | 3,1 | - | 2,5 | - | 93 | 0,9 |
| 20 | 12 | 10,9 | - | 18 | BMS-10182 | BS-10182 | 3,1 | - | 5,7 | - | 108 | 1,2 |
| 25 | 16 | 17,0 | - | 10 | BMS-18102 | BS-18102 | 4,9 | - | 4,9 | - | 168 | 1,3 |
| 25 | 16 | 17,0 | - | 25 | BMS-18252 | BS-18252 | 4,9 | - | 12,3 | - | 157 | 1,8 |
| 40 | 25 | 43,6 | - | 12 | BMS-40122 | BS-40122 | 12,6 | - | 15,1 | - | 378 | 2,0 |
| 40 | 25 | 43,6 | - | 25 | BMS-40252 | BS-40252 | 12,6 | - | 31,4 | - | 381 | 2,7 |
| 50 | 32 | 68,2 | - | 12 | BMS-70122 | BS-70122 | 19,6 | - | 23,6 | - | 471 | 3,3 |
| 50 | 32 | 68,2 | - | 25 | BMS-70252 | BS-70252 | 19,6 | - | 49,1 | - | 425 | 4,4 |
| 80 | 50 | 174,9 | - | 20 | BMS-180202 | BS-180202 | 50,2 | - | 100,5 | - | 917 | 12,0 |
| 100 | 63 | 273,4 | - | 25 | BMS-280252 | BS-280252 | 78,5 | - | 196,3 | - | 1419 | 19,0 |
| ▼ Double-acting | | | | | | | | | | | | |
| 20 | 12 | 11,0 | 7,0 | 16 | BMD-10162 | BD-10162 | 3,1 | 2,0 | 5,0 | 3,2 | - | 0,9 |
| 20 | 12 | 11,0 | 7,0 | 36 | BMD-10362 | BD-10362 | 3,1 | 2,0 | 11,3 | 7,2 | - | 1,2 |
| 25 | 16 | 17,2 | 10,1 | 20 | BMD-18202 | BD-18202 | 4,9 | 2,9 | 9,8 | 5,8 | - | 1,3 |
| 25 | 16 | 17,2 | 10,1 | 50 | BMD-18502 | BD-18502 | 4,9 | 2,9 | 24,5 | 14,8 | - | 1,8 |
| 40 | 25 | 44,0 | 26,8 | 25 | BMD-40252 | BD-40252 | 12,6 | 6,3 | 31,4 | 15,8 | - | 1,9 |
| 40 | 25 | 44,0 | 26,8 | 50 | BMD-40502 | BD-40502 | 12,6 | 6,3 | 62,8 | 31,6 | - | 2,6 |
| 50 | 32 | 68,7 | 40,6 | 25 | BMD-70252 | BD-70252 | 19,6 | 11,6 | 49,1 | 29,0 | - | 3,2 |
| 50 | 32 | 68,7 | 40,6 | 50 | BMD-70502 | BD-70502 | 19,6 | 11,6 | 98,2 | 58,0 | - | 4,3 |
| 80 | 50 | 175,8 | 107,2 | 25 | BMD-180252 | BD-180252 | 50,2 | 30,6 | 125,6 | 76,6 | - | 9,3 |
| 80 | 50 | 175,8 | 107,2 | 50 | BMD-180502 | BD-180502 | 50,2 | 30,6 | 251,2 | 153,1 | - | 11,5 |
| 100 | 63 | 274,8 | 165,7 | 28 | BMD-280282 | BD-280282 | 78,5 | 47,3 | 219,8 | 132,6 | - | 14,7 |
| 100 | 63 | 274,8 | 165,7 | 56 | BMD-280562 | BD-280562 | 78,5 | 47,3 | 439,6 | 265,1 | - | 18,2 |

Block cylinders *Dimensions & options*

Shown: BD-18202, BMD-70502, BD-40252

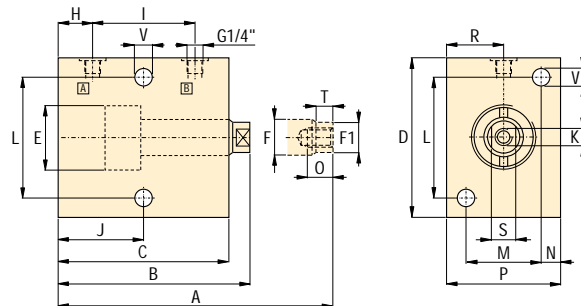


▶ These compact block cylinders are easily mounted in horizontal or vertical position for a range of special tooling applications. They can be used for positioning, clamping, pushing, pressing or punching operations. The plunger has an internal thread to accommodate accessories such as contact bolts.

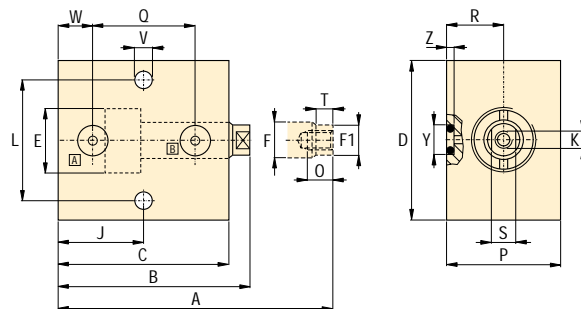
■ Block cylinder used for punching applications.



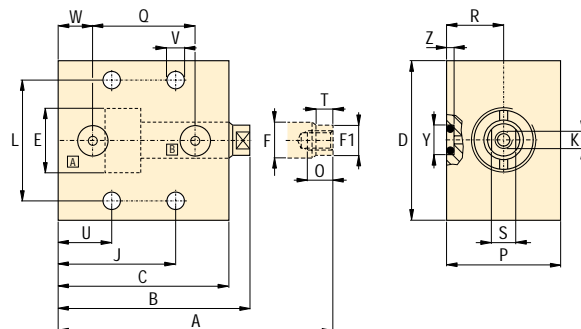
All BS and BD models



BMS-1082 BMD-10162
 BMS-18102 BMD-18202
 BMS-40122 BMD-40252
 BMS-70122 BMD-70252
 BMD-280282



BMS-10182 BMD-10362
 BMS-18252 BMD-18502
 BMS-40252 BMD-40502
 BMS-70252 BMD-70502
 BMS-180252 BMD-180502
 BMS-280252 BMD-280562



Product dimensions in mm [D]

| Model nr. Manifold O-ring port | Model nr. BSPP port | A | B | C | D | E | F | F1 | H | I | J |
|--------------------------------------|------------------------|-----|-----|-------|-----|-----|----|----|------|----|------|
| | | | | | ∅ | | | | | | |
| ▼ Single-acting | | | | | | | | | | | |
| BMS-1082 | BS-1082 | 70 | 62 | 54,5 | 60 | 20 | 12 | 11 | 12,0 | 25 | 24,5 |
| BMS-10182 | BS-10182 | 100 | 82 | 74,5 | 60 | 20 | 12 | 11 | 12,0 | 45 | 44,5 |
| BMS-18102 | BS-18102 | 80 | 70 | 62,0 | 65 | 25 | 16 | 15 | 12,0 | 30 | 27,0 |
| BMS-18252 | BS-18252 | 125 | 100 | 92,0 | 65 | 25 | 16 | 15 | 12,0 | 60 | 57,0 |
| BMS-40122 | BS-40122 | 92 | 80 | 68,0 | 80 | 40 | 25 | 24 | 12,0 | 35 | 32,0 |
| BMS-40252 | BS-40252 | 130 | 105 | 93,0 | 80 | 40 | 25 | 24 | 12,0 | 60 | 57,0 |
| BMS-70122 | BS-70122 | 102 | 90 | 76,0 | 100 | 50 | 32 | 31 | 14,0 | 40 | 36,0 |
| BMS-70252 | BS-70252 | 140 | 115 | 101,0 | 100 | 50 | 32 | 31 | 14,0 | 65 | 61,0 |
| BMS-180202 | BS-180202 | 151 | 131 | 114,0 | 140 | 80 | 50 | 49 | 15,5 | 70 | 66,5 |
| BMS-280252 | BS-280252 | 177 | 152 | 132,5 | 170 | 100 | 63 | 62 | 18,0 | 80 | 77,5 |
| ▼ Double-acting | | | | | | | | | | | |
| BMD-10162 | BD-10162 | 78 | 62 | 54,5 | 60 | 20 | 12 | 11 | 12,0 | 25 | 24,5 |
| BMD-10362 | BD-10362 | 118 | 82 | 74,5 | 60 | 20 | 12 | 11 | 12,0 | 45 | 44,5 |
| BMD-18202 | BD-18202 | 90 | 70 | 62,0 | 65 | 25 | 16 | 15 | 12,0 | 30 | 27,0 |
| BMD-18502 | BD-18502 | 150 | 100 | 92,0 | 65 | 25 | 16 | 15 | 12,0 | 60 | 57,0 |
| BMD-40252 | BD-40252 | 105 | 80 | 68,0 | 80 | 40 | 25 | 24 | 12,0 | 35 | 32,0 |
| BMD-40502 | BD-40502 | 155 | 105 | 93,0 | 80 | 40 | 25 | 24 | 12,0 | 60 | 57,0 |
| BMD-70252 | BD-70252 | 115 | 90 | 76,0 | 100 | 50 | 32 | 31 | 14,0 | 40 | 36,0 |
| BMD-70502 | BD-70502 | 165 | 115 | 101,0 | 100 | 50 | 32 | 31 | 14,0 | 65 | 61,0 |
| BMD-180252 | BD-180252 | 131 | 106 | 89,0 | 140 | 80 | 50 | 49 | 15,5 | 45 | 41,5 |
| BMD-180502 | BD-180502 | 181 | 131 | 114,0 | 140 | 80 | 50 | 49 | 15,5 | 70 | 66,5 |
| BMD-280282 | BD-280282 | 152 | 124 | 104,5 | 170 | 100 | 63 | 62 | 18,0 | 52 | 49,5 |
| BMD-280562 | BD-280562 | 208 | 152 | 132,5 | 170 | 100 | 63 | 62 | 18,0 | 80 | 77,5 |



i Installation Instructions

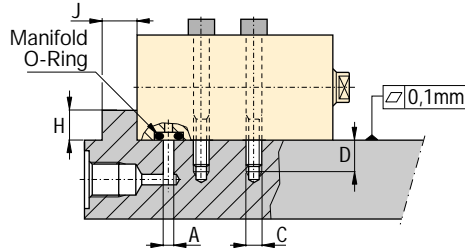
When operating above 140 bar in applications as shown in the figure below, provide cylinder back-up using a support to eliminate shear loads on the mounting bolts.

Manifold Mounting

When hydraulic connections are made through the standard integrated O-ring ports as shown in figure, the sealing surface must have a roughness of 1,6 micrometers.

Single-acting cylinders

If the risk of machining coolants or debris entering via the breather vent (port B) exists, it is recommended that this port be connected to a clean, remote termination point.



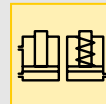
A Installation dimensions in mm [⌀]

| Clamping force at 350 bar | Oil channel diameter | Mounting thread | Minimum thread length | Torque (bolt type 12.9 DIN 912) | Minimum support dimensions | | Manifold O-ring | |
|---------------------------|----------------------|-----------------|-----------------------|---------------------------------|----------------------------|----|-----------------|------------|
| kN | øA | C | D | Nm | H | J | Di x W | Partnumber |
| 11 | ø 4 | M6 | 11 | 17 | 5 | 7 | 4,34x3,53 | CZ392.041 |
| 17 | ø 4 | M8 | 13 | 40 | 5 | 8 | 4,34x3,53 | CZ392.041 |
| 44 | ø 4 | M10 | 16 | 85 | 5 | 10 | 4,34x3,53 | CZ392.041 |
| 68 | ø 4 | M12 | 19 | 145 | 5 | 13 | 4,34x3,53 | CZ392.041 |
| 175 | ø 6 | M16 | 24 | 353 | 10 | 16 | 7,52x3,53 | CZ935.041 |
| 275 | ø 6 | M20 | 30 | 675 | 10 | 21 | 7,52x3,53 | CZ935.041 |

Note: Manifold O-rings included.


| | |
|-----------|-----------------|
| Force: | 10,9 - 274,8 kN |
| Stroke: | 16 - 56 mm |
| Pressure: | 40 - 350 bar |

- E** Cilindros tipo bloque
- F** Vérins cube
- D** Blockzylinder



i Options

Contact bolts  72 ▶

Fittings  110 ▶

! Important

Linear cylinder support is required at operating pressures above 140 bar. Follow the instructions on this page.

| | K | L | M | N | O | P | Q | R | S | T | U | V | W | Y | Z | Model nr. Manifold O-ring | Model nr. BSPP thread |
|-----|-----------------|----|------|----|-----|------|------|----|------|------|------|------|-------------|-----------|------------|---------------------------|-----------------------|
| | | | | | | | | | | | | | | | | ø | ø |
| | Single-acting ▼ | | | | | | | | | | | | | | | | |
| M6 | 45 | 25 | 7,5 | 10 | 40 | 25,0 | 20,0 | 9 | 5,5 | - | 7,0 | 12,0 | 11,0 - 11,1 | 2,8 - 2,9 | BMS-1082 | BS-1082 | |
| M6 | 45 | 25 | 7,5 | 10 | 40 | 45,0 | 20,0 | 9 | 5,5 | 24,5 | 7,0 | 12,0 | 11,0 - 11,1 | 2,8 - 2,9 | BMS-10182 | BS-10182 | |
| M8 | 50 | 30 | 7,5 | 12 | 45 | 30,0 | 22,5 | 13 | 6,0 | - | 9,0 | 12,0 | 11,0 - 11,1 | 2,8 - 2,9 | BMS-18102 | BS-18102 | |
| M8 | 50 | 30 | 7,5 | 12 | 45 | 60,0 | 22,5 | 13 | 6,0 | 27,0 | 9,0 | 12,0 | 11,0 - 11,1 | 2,8 - 2,9 | BMS-18252 | BS-18252 | |
| M16 | 60 | 35 | 10,0 | 25 | 55 | 37,5 | 27,5 | 22 | 9,5 | - | 11,0 | 9,5 | 11,0 - 11,1 | 2,8 - 2,9 | BMS-40122 | BS-40122 | |
| M16 | 60 | 35 | 10,0 | 25 | 55 | 62,5 | 27,5 | 22 | 9,5 | 27,0 | 11,0 | 9,5 | 11,0 - 11,1 | 2,8 - 2,9 | BMS-40252 | BS-40252 | |
| M20 | 80 | 45 | 10,0 | 30 | 65 | 40,0 | 32,5 | 27 | 11,0 | - | 12,5 | 12,5 | 11,0 - 11,1 | 2,8 - 2,9 | BMS-70122 | BS-70122 | |
| M20 | 80 | 45 | 10,0 | 30 | 65 | 65,0 | 32,5 | 27 | 11,0 | 26,0 | 12,5 | 12,5 | 11,0 - 11,1 | 2,8 - 2,9 | BMS-70252 | BS-70252 | |
| M30 | 110 | 80 | 15,0 | 45 | 110 | 70,0 | 55,0 | 41 | 14,5 | 26,5 | 17,0 | 15,5 | 14,1 - 14,2 | 2,8 - 2,9 | BMS-180202 | BS-180202 | |
| M36 | 135 | 90 | 17,5 | 50 | 125 | 80,0 | 62,5 | 50 | 17,0 | 37,5 | 21,0 | 18,0 | 14,1 - 14,2 | 2,8 - 2,9 | BMS-280252 | BS-280252 | |
| | Double-acting ▼ | | | | | | | | | | | | | | | | |
| M6 | 45 | 25 | 7,5 | 10 | 40 | 25,0 | 20,0 | 9 | 5,5 | - | 7,0 | 12,0 | 11,0 - 11,1 | 2,8 - 2,9 | BMD-10162 | BD-10162 | |
| M6 | 45 | 25 | 7,5 | 10 | 40 | 45,0 | 20,0 | 9 | 5,5 | 24,5 | 7,0 | 12,0 | 11,0 - 11,1 | 2,8 - 2,9 | BMD-10362 | BD-10362 | |
| M8 | 50 | 30 | 7,5 | 12 | 45 | 30,0 | 22,5 | 13 | 6,0 | - | 9,0 | 12,0 | 11,0 - 11,1 | 2,8 - 2,9 | BMD-18202 | BD-18202 | |
| M8 | 50 | 30 | 7,5 | 12 | 45 | 60,0 | 22,5 | 13 | 6,0 | 27,0 | 9,0 | 12,0 | 11,0 - 11,1 | 2,8 - 2,9 | BMD-18502 | BD-18502 | |
| M16 | 60 | 35 | 10,0 | 25 | 55 | 37,5 | 27,5 | 22 | 9,5 | - | 11,0 | 9,5 | 11,0 - 11,1 | 2,8 - 2,9 | BMD-40252 | BD-40252 | |
| M16 | 60 | 35 | 10,0 | 25 | 55 | 62,5 | 27,5 | 22 | 9,5 | 27,0 | 11,0 | 9,5 | 11,0 - 11,1 | 2,8 - 2,9 | BMD-40502 | BD-40502 | |
| M20 | 80 | 45 | 10,0 | 30 | 65 | 40,0 | 32,5 | 27 | 11,0 | - | 12,5 | 12,5 | 11,0 - 11,1 | 2,8 - 2,9 | BMD-70252 | BD-70252 | |
| M20 | 80 | 45 | 10,0 | 30 | 65 | 65,0 | 32,5 | 27 | 11,0 | 26,0 | 12,5 | 12,5 | 11,0 - 11,1 | 2,8 - 2,9 | BMD-70502 | BD-70502 | |
| M30 | 110 | 80 | 15,0 | 45 | 110 | 45,0 | 55,0 | 41 | 14,5 | - | 17,0 | 15,5 | 14,1 - 14,2 | 2,8 - 2,9 | BMD-180252 | BD-180252 | |
| M30 | 110 | 80 | 15,0 | 45 | 110 | 70,0 | 55,0 | 41 | 14,5 | 26,5 | 17,0 | 15,5 | 14,1 - 14,2 | 2,8 - 2,9 | BMD-180502 | BD-180502 | |
| M36 | 135 | 90 | 17,5 | 50 | 125 | 52,0 | 62,5 | 50 | 17,0 | - | 21,0 | 18,0 | 14,1 - 14,2 | 2,8 - 2,9 | BMD-280282 | BD-280282 | |
| M36 | 135 | 90 | 17,5 | 50 | 125 | 80,0 | 62,5 | 50 | 17,0 | 37,5 | 21,0 | 18,0 | 14,1 - 14,2 | 2,8 - 2,9 | BMD-280562 | BD-280562 | |

Pull cylinders - Threaded body models

Shown: PTSS-22, PTSD-52

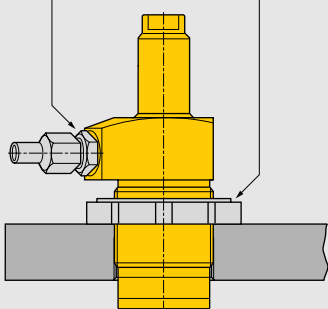


▶ PT series

The threaded body pull cylinders can be bolted to the fixture. This allows easy installation or removal of the unit and does not require machined fixture holes. The cylinder is adjusted to the appropriate height, and then locked in place using a flange nut (□ 72).

BSPB oil connection

Flange nut



■ Threaded body pull cylinder with modified clamp arm, mounted on a frame-straightening fixture.



Threaded directly into the fixture

...can be secured at any height

- Guided linear plunger movement
- Threaded port connection
- Internal plunger thread allows easy mounting of attachments
- Simple mounting preparation
- Easy installation and removal
- Greatest flexibility in fixture design

🌐 Product selection

| Cylinder capacity | | Stroke mm | Model number | Cylinder effective area | | Oil capacity | |
|------------------------|------|--------------|--------------|-------------------------|-------|-------------------------|-------|
| Pull kN | Push | | | Pull cm ² | Push | Pull cm ³ | Push |
| ▼ Single-acting | | | | | | | |
| 2,6 | - | 16,5 | PTSS-22 | 0,77 | - | 1,31 | - |
| 5,6 | - | 22,6 | PTSS-52 | 1,81 | - | 4,10 | - |
| 13,3 | - | 28,4 | PTSS-121 | 4,06 | - | 11,47 | - |
| ▼ Double-acting | | | | | | | |
| 2,7 | 5,3 | 16,5 | PTSD-22 | 0,77 | 1,55 | 1,31 | 2,62 |
| 6,3 | 13,3 | 22,6 | PTSD-52 | 1,81 | 3,81 | 4,10 | 8,69 |
| 11,2 | 28,0 | 22,0 | PTSD-92 | 3,16 | 8,06 | 6,88 | 17,70 |
| 14,3 | 27,4 | 28,4 | PTSD-121 | 4,06 | 7,94 | 11,47 | 22,94 |
| 43,5 | 81,9 | 30,0 | PTSD-352 | 12,39 | 23,74 | 37,20 | 71,28 |

Note: - Call Enerpac to order models with imperial thread and SAE port connections.
- Pull forces for single-acting cylinders reduced to overcome spring force.

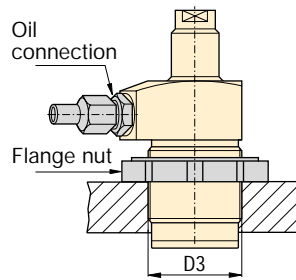
📐 Dimensions in mm [▷⊕]

| Model number | A | B | C1 | D | D1 | D2 | E |
|------------------------|-----|-----|------|-------------|------|------|----|
| | | | | ∅ | | | ∅ |
| ▼ Single-acting | | | | | | | |
| PTSS-22 | 107 | 91 | 25,4 | M28 x 1,5 | 39,4 | 33,0 | 10 |
| PTSS-52 | 129 | 106 | 25,4 | M35 x 1,5 | 50,0 | 38,1 | 16 |
| PTSS-121 | 160 | 132 | 25,4 | 1.875-16 UN | 60,5 | 50,8 | 22 |
| ▼ Double-acting | | | | | | | |
| PTSD-22 | 107 | 91 | 25,4 | M28 x 1,5 | 39,4 | 33,0 | 10 |
| PTSD-52 | 129 | 106 | 25,4 | M35 x 1,5 | 50,0 | 38,1 | 16 |
| PTSD-92 | 130 | 108 | 30,0 | M48 x 1,5 | 62,5 | 48,0 | 25 |
| PTSD-121 | 160 | 132 | 25,4 | 1.875-16 UN | 60,5 | 50,8 | 22 |
| PTSD-352 | 196 | 166 | 32,0 | M80 x 2 | 88,4 | 80,0 | 38 |



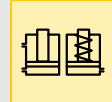
A Installation dimensions
in mm

| Pull Force kN | Fixture hole thread size D3 |
|---------------|-----------------------------|
| 2,7 | M28 x 1,5 |
| 6,3 | M35 x 1,5 |
| 11,2 | M48 x 1,5 |
| 14,3 | 1.875-16 UNF |
| 43,5 | M80 x 2 |



| | |
|-------------|----------------|
| Pull force: | 2,6 - 43,5 kN |
| Push force: | 5,3 - 81,9 kN |
| Stroke: | 16,5 - 30,0 mm |
| Pressure: | 35 - 350 bar |

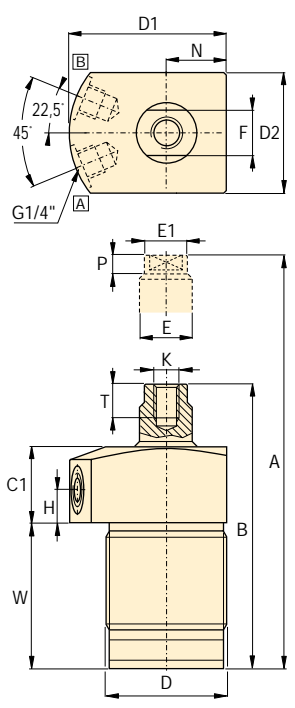
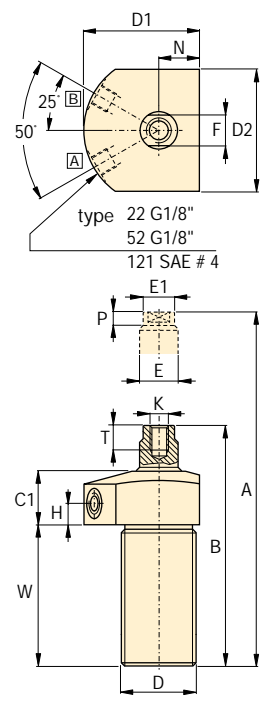
- E** Cilindros de tracción
- F** Vérins traction
- D** Zugzylinder



Linear cylinders
Power sources
Valves
System components
Yellow pages

-22, 52, 121

-92, -352



A = Pull
B = Push (venting)

B Options

- Sequence valve [92](#)
- Accessories [72](#)
- Collet-Lok® push cylinders [52](#)
- Swing cylinders [10](#)

! Important

Single-acting cylinders can be vented through the manifold port.

In case there is a risk of machining coolants and debris being inhaled via the breather vent, it is recommended to pipe this port to an area outside the fixture that is protected from machining coolants and debris.

| | E1 | F | H | K | N | P | T | W | kg | Model number |
|--|-----------------|----|----|-------------|------|----|----|------|-----|--------------|
| | ∅ | | | | | | | | | |
| | Single-acting ▼ | | | | | | | | | |
| | 9 | 7 | 10 | M5 x 0,8 | 15,5 | 5 | 8 | 52,6 | 0,5 | PTSS-22 |
| | 15 | 13 | 10 | M8 x 1,25 | 19,1 | 6 | 16 | 65,6 | 1,1 | PTSS-52 |
| | 21 | 17 | 10 | .500-20 UNF | 25,4 | 10 | 19 | 85,8 | 1,6 | PTSS-121 |
| | Double-acting ▼ | | | | | | | | | |
| | 9 | 7 | 10 | M5 x 0,8 | 15,5 | 5 | 8 | 52,6 | 0,5 | PTSD-22 |
| | 15 | 13 | 10 | M8 x 1,25 | 19,1 | 6 | 16 | 65,6 | 1,1 | PTSD-52 |
| | 24 | 18 | 13 | M10 x 1,5 | 23,9 | 10 | 16 | 63,0 | 2,0 | PTSD-92 |
| | 21 | 17 | 10 | .500-20 UNF | 25,4 | 10 | 19 | 85,8 | 1,6 | PTSD-121 |
| | 36 | 28 | 13 | M16 x 2 | 39,9 | 13 | 31 | 82,0 | 4,7 | PTSD-352 |

Ferri precision universal joints achieve consistent performance and longer life due to design features. Particular attention is paid to matching the hardness of wearing parts and lubrication.

Low speed models feature plain bearings. Gaiters are essential for types G, GB, H & HB, optional for types S & A. High speed models are fitted with special needle roller bearings and are sealed for life.

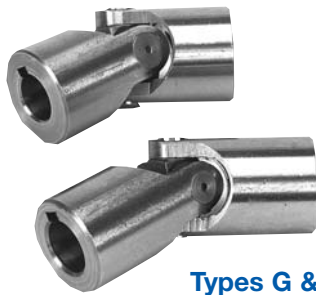
The European dimension standard is DIN808 met by most of these joints. In addition models GB, HB, GBD & HBD meet DIN7551 which is also common in the UK.

Single joints – for angles up to 45° type G are to DIN808. Type G is lower in cost. Above 1000 r/min select Types H.

Double joints – for angles up to 90° and giving constant velocity output. Types GD and GBD suit up to 1000 r/min, use HD & HBD for higher speeds.

Telescopic joints – Type HA is stocked in standard lengths for speeds to 1000 r/min. Other lengths and higher speeds on request.

Stainless steel – Type G joints are now available in stainless steel, please ask for details.



Types G & GB

- **Type G** precision single joint with sliding plain bushes. Suits angles up to 45° and speeds to 1000 r/min. Shaft sizes 6 to 50 mm, dimensions to DIN 808.
- **Type GB** precision single joint with the specification of Type G, except smaller OD/ID ratio allows joints to have smaller body diameters. Shaft sizes 10 – 40 mm, dimensions to DIN 7551.

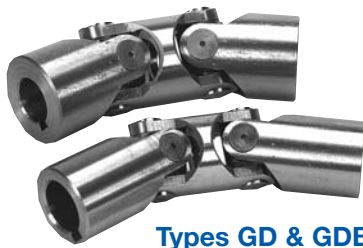


Types H & HB

- **Type H** precision high speed single joint with needle roller bearings. Suits angles up to 45° and speeds to 4000 r/min. Shaft sizes 10 to 50mm. Maintenance-free, dimensions to DIN 808.
- **Type HB** to the specification of Type H, except smaller OD/ID ratio allows the joint to have a smaller body diameter. Shaft sizes 12 to 50mm, dimensions to DIN 7551.

Single joints

Double joints

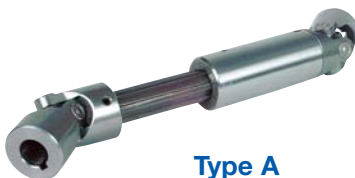


Types GD & GBD

- **Type GD** precision double joint with the specification of Type G.
- **Type GBD** precision double joint with the specification of Type GB.

- **Type HD** precision high speed double joint with the specification of Type H.
- **Type HBD** precision high speed double joint with the specification of Type HB.

Telescopic joints



Type A

- **Type GA** telescopic universal joint with plain bearings either to standard lengths or customised to your requirements. Angles up to 45° per joint and speeds to 1000 r/min. Shaft sizes 10 to 50mm, dimensions to DIN 808.
- **Type HA** high speed telescopic universal joints with needle roller bearings. Details are available on request.

Extras



Gaiters

- **Quick release hubs** can be provided for all types of joints with keyways, square or hexagon boxes.
- **Gaiters** in synthetic rubber are available for all types of joints, recommended for models G, GB, GD and GBD. For models H, HB, HD, HBD, A and HA they are not usually necessary except in severe environments.

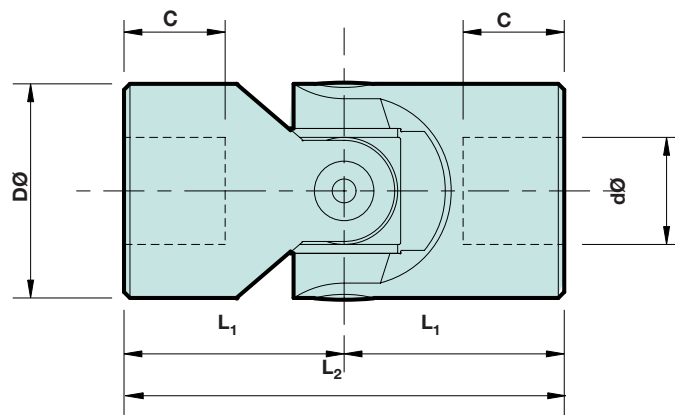
FERRI precision universal joints

Type G to DIN 808
Type GB to DIN 7551

- Suitable for up to 1000 r/min and up to 45°
- Constructed with wear resistant sliding bushes
- Precision ground surfaces
- Gaiters are recommended for most applications
- Available with round bores to H7 for pinning or with Js9 keyways to BS4235
- Square and hexagonal bores on request



Selection – size selection depends on torque, speed and running angle. Contact us with your application.



Type G to DIN 808

Type GB to DIN 7551

| Bores d(H7) | Size | Nominal* torque (Nm) at 200 r/min max 10° | Stockline numbers | | D | Dimensions (mm) | | | Weight kg |
|----------------|------|--|-------------------|-------------------|----|-----------------|------|-----|--------------|
| | | | Plain bores | Keyways to BS4235 | | C | L1 | L2 | |
| 6 | 01G* | 10 | U5-77 184 | – | 16 | 8 | 17 | 34 | 0.05 |
| 8 | 02G* | 10 | U5-77 342 | – | 16 | 11 | 20 | 40 | 0.05 |
| 10 | 03G* | 26 | U5-77 421 | U5-519 203 | 22 | 12 | 24 | 48 | 0.10 |
| 12 | 04G* | 35 | U5-78 086 | U5-519 211 | 25 | 13 | 28 | 56 | 0.16 |
| 14 | 05G | 48 | U5-78 733 | U5-519 246 | 28 | 13 | 30 | 60 | 0.20 |
| 16 | 1G* | 70 | U5-80 267 | U5-519 254 | 32 | 16 | 34 | 68 | 0.30 |
| 18 | 2G | 95 | U5-94 461 | U5-519 262 | 36 | 17 | 37 | 74 | 0.45 |
| 20 | 3G* | 130 | U5-94 508 | U5-519 270 | 42 | 18 | 41 | 82 | 0.60 |
| 22 | 4G | 160 | U5-95 241 | U5-519 289 | 45 | 22 | 47.5 | 95 | 0.95 |
| 25 | 5G* | 200 | U5-96 222 | U5-519 309 | 50 | 26 | 54 | 108 | 1.20 |
| 30 | 6G* | 240 | U5-96 98X | U5-519 317 | 58 | 29 | 61 | 122 | 1.85 |
| 32 | 6G1 | 240 | U5-97 700 | U5-519 325 | 58 | 33 | 65 | 130 | 2.00 |
| 35 | 7G | 360 | U5-97 727 | U5-519 333 | 70 | 35 | 70 | 140 | 3.15 |
| 40 | 8G | 450 | U5-519 175 | U5-519 341 | 80 | 40 | 80 | 160 | 4.60 |
| 50 | 9G | 580 | U5-519 191 | U5-519 35X | 95 | 50 | 95 | 190 | 7.60 |
| 10 | 03GB | 10 | U5-264 968 | U5-519 455 | 16 | 14 | 26 | 52 | 0.05 |
| 12 | 04GB | 26 | U5-519 376 | U5-519 471 | 22 | 18 | 31 | 62 | 0.12 |
| 16 | 1GB | 35 | U5-519 404 | U5-519 48X | 25 | 21 | 37 | 74 | 0.20 |
| 20 | 3GB | 70 | U5-519 412 | U5-519 498 | 32 | 24 | 43 | 86 | 0.35 |
| 25 | 5GB | 130 | U5-519 420 | U5-519 50X | 42 | 31 | 54 | 108 | 0.80 |
| 30 | 6GB | 200 | U5-519 439 | U5-519 518 | 50 | 38 | 66 | 132 | 1.20 |
| 40 | 8GB | 360 | U5-519 447 | U5-519 526 | 70 | 48 | 83 | 166 | 2.90 |

Stockline nos in black — delivery times on request

**These sizes also available in stainless steel, details on request.*

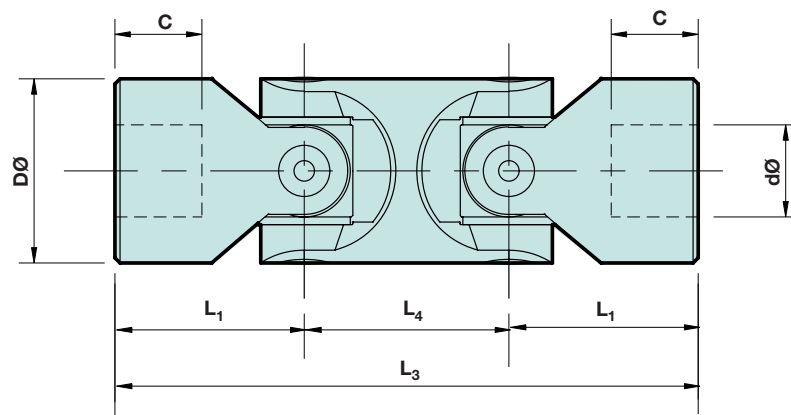
FERRI precision universal joints

Type GD to DIN 808
Type GBD to DIN 7551

- Suitable for up to 1000 r/min and up to 45° per joint
- Up to 90° total drive angle possible
- Constructed with wear resistant sliding bushes
- Gaiters recommended for most applications
- Available with round bores for pinning or with keyways. Square and hexagonal bores on request
- Quick release hubs available, see page 473



Selection – size selection depends on torque, speed and running angle Contact us with your application.



Type GD to DIN 808 Type GBD to DIN 7551

| Bores d(H7) | Size | Nominal* torque (Nm) at 200 r/min max 10° | Stockline numbers | | D | Dimensions (mm) | | | | Weight kg |
|----------------|-------|--|-------------------|-------------------|----|-----------------|------|-----|-----|--------------|
| | | | Plain bores | Keyways to BS4235 | | C | L1 | L3 | L4 | |
| 6 | 01GD* | 10 | U5-418 87X | – | 16 | 8 | 17 | 56 | 22 | 0.08 |
| 8 | 02GD* | 10 | U5-434 652 | – | 16 | 11 | 20 | 62 | 22 | 0.08 |
| 10 | 03GD* | 26 | U5-437 287 | U5-55 523 | 22 | 12 | 24 | 74 | 26 | 0.15 |
| 12 | 04GD* | 35 | U5-437 295 | U5-120 215 | 25 | 13 | 28 | 86 | 30 | 0.25 |
| 14 | 05GD | 48 | U5-439 963 | U5-120 353 | 28 | 13 | 30 | 96 | 36 | 0.4 |
| 16 | 1GD* | 70 | U5-439 971 | U5-120 964 | 32 | 16 | 34 | 104 | 36 | 0.45 |
| 18 | 2GD | 95 | U5-441 462 | U5-12 13X | 36 | 17 | 37 | 114 | 40 | 0.7 |
| 20 | 3GD* | 130 | U5-441 470 | U5-121 535 | 42 | 18 | 41 | 128 | 46 | 1 |
| 22 | 4GD | 160 | U5-441 489 | U5-135 705 | 45 | 22 | 47.5 | 145 | 50 | 1.55 |
| 25 | 5GD* | 200 | U5-442 364 | U5-165 689 | 50 | 26 | 54 | 163 | 55 | 2 |
| 30 | 6GD* | 240 | U5-442 443 | U5-179 77X | 58 | 29 | 61 | 190 | 68 | 2.9 |
| 32 | 6GD1 | 240 | U5-442 451 | U5-179 867 | 58 | 33 | 65 | 198 | 68 | 3 |
| 35 | 7GD | 360 | U5-442 486 | U5-179 911 | 70 | 35 | 70 | 212 | 72 | 5 |
| 40 | 8GD | 450 | U5-442 506 | U5-198 913 | 80 | 40 | 80 | 245 | 85 | 7 |
| 50 | 9GD | 580 | U5-442 530 | U5-233 269 | 95 | 50 | 95 | 290 | 100 | 12 |
| 10 | 3GBD | 10 | U5-442 549 | U5-252 88X | 16 | 14 | 26 | 74 | 22 | 0.08 |
| 12 | 04GBD | 26 | U5-442 557 | U5-74 70X | 22 | 18 | 31 | 88 | 26 | 0.2 |
| 16 | 1GBD | 35 | U5-442 565 | U5-74 734 | 25 | 21 | 37 | 104 | 30 | 0.3 |
| 20 | 3GBD | 70 | U5-444 543 | U5-74 793 | 32 | 24 | 43 | 124 | 38 | 0.5 |
| 25 | 5GBD | 130 | U5-447 632 | U5-74 805 | 42 | 31 | 54 | 156 | 48 | 1.2 |
| 30 | 6GBD | 200 | U5-55 113 | U5-74 83X | 50 | 38 | 66 | 188 | 56 | 1.7 |
| 40 | 8GBD | 350 | U5-55 306 | U5-74 848 | 70 | 48 | 83 | 238 | 72 | 4.3 |

Stockline nos in black — delivery times on request

**These sizes also available in stainless steel, details on request.*

FERRI precision universal joints with needle roller bearings

Type H to DIN 808
Type HB to DIN 7551

Constructed with special needle roller bearings, lubricated for life

Allows speeds up to 4000 r/min and running angles up to 45°

Backlash low

Precision ground surfaces

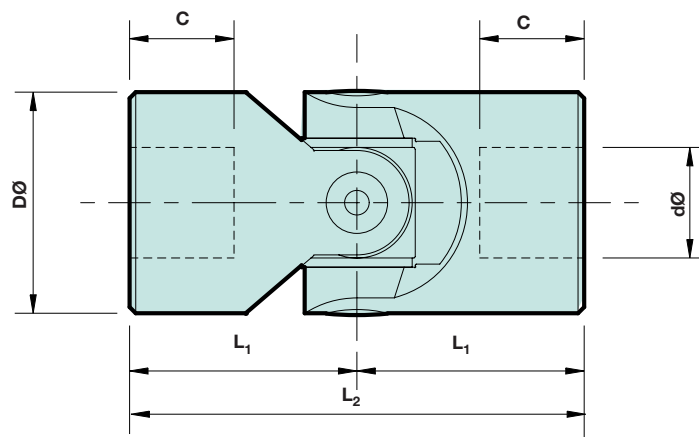
Gaiters unnecessary for most applications

Available with round bores to H7 for pinning or with Js9 keyways to BS4235

Square and hexagonal bores on request



Selection – size selection depends on torque, speed and running angle. Contact us with your application



Type H to DIN 808

Type HB to DIN 7551

| Bores d(H7) | Size | Nominal* torque (Nm) at 200 r/min max 10° | Stockline numbers | | D | Dimensions (mm) | | | Weight kg |
|-------------|------|---|-------------------|-------------------|----|-----------------|----------------|----------------|-----------|
| | | | Plain bores | Keyways to BS4235 | | C | L ₁ | L ₂ | |
| 10 | 03H | 22 | U5-13 161 | U5-175 013 | 22 | 12 | 24 | 48 | 0.10 |
| 12 | 04H | 36 | U5-133 140 | U5-175 194 | 25 | 13 | 28 | 56 | 0.16 |
| 14 | 05H | 55 | U5-138 494 | U5-180 176 | 28 | 13 | 30 | 60 | 0.20 |
| 16 | 1H | 80 | U5-138 514 | U5-180 405 | 32 | 16 | 34 | 68 | 0.3 |
| 18 | 2H | 110 | U5-139 834 | U5-180 448 | 36 | 17 | 37 | 74 | 0.45 |
| 20 | 3H | 140 | U5-139 964 | U5-180 519 | 42 | 18 | 41 | 82 | 0.60 |
| 22 | 4H | 160 | U5-140 379 | U5-180 578 | 45 | 22 | 47.5 | 95 | 0.95 |
| 25 | 5H | 220 | U5-140 825 | U5-180 665 | 50 | 26 | 54 | 108 | 1.20 |
| 30 | 6H | 260 | U5-141 124 | U5-180 890 | 58 | 29 | 61 | 122 | 1.85 |
| 32 | 6H1 | 260 | U5-142 460 | U5-181 374 | 58 | 33 | 65 | 130 | 2.00 |
| 35 | 7H | 350 | U5-142 732 | U5-183 186 | 70 | 35 | 70 | 140 | 3.15 |
| 40 | 8H | 420 | U5-14 378 | U5-183 379 | 80 | 40 | 80 | 160 | 4.60 |
| 50 | 9H | 550 | U5-144 134 | U5-183 955 | 95 | 50 | 95 | 190 | 7.60 |
| 12 | 04HB | 22 | U5-31 052 | U5-31 237 | 22 | 18 | 31 | 62 | 0.12 |
| 16 | 1HB | 36 | U5-31 095 | U5-31 253 | 25 | 21 | 37 | 74 | 0.20 |
| 20 | 3HB | 80 | U5-31 107 | U5-343 803 | 32 | 24 | 43 | 86 | 0.35 |
| 25 | 5HB | 140 | U5-31 115 | U5-344 894 | 42 | 31 | 54 | 108 | 0.80 |
| 30 | 6HB | 220 | U5-31 123 | U5-344 906 | 50 | 38 | 66 | 132 | 1.20 |
| 40 | 8HB | 350 | U5-31 131 | U5-344 914 | 70 | 48 | 83 | 166 | 2.90 |

Stockline nos in black — delivery times on request

Stockline numbers in blue are normally held in stock

FERRI precision universal joints with needle roller bearings

Type HD to DIN 808
Type HBD to DIN 7551

Suitable for 4000 r/min and up to 45° per joint

All contact surfaces hardened and ground

Up to 90° total drive angle possible

Lubricated for life, no maintenance required

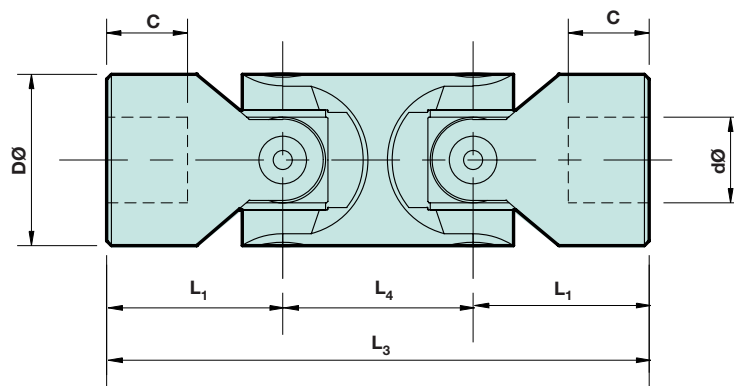
Gaiters unnecessary for most applications

Available with round bores for pinning or with keyways. Square and hexagonal bores on request

Quick release hubs available see page 473



Selection – size selection depends on torque, speed and running angle.
Contact us with your application.



Type HD to DIN 808 Type HBD to DIN 7551

| Bores d(H7) | Size | Nominal* torque (Nm) at 200 r/min max 10° | Stockline numbers | | Dimensions (mm) | | | | | Weight kg |
|----------------|-------|--|-------------------|-------------------|-----------------|----|------|-----|-----|--------------|
| | | | Plain bores | Keyways to BS4235 | D | C | L1 | L3 | L4 | |
| 10 | 03HD | 22 | U5-352 137 | U5-69 665 | 22 | 12 | 24 | 74 | 26 | 0.15 |
| 12 | 04HD | 36 | U5-352 161 | U5-70 526 | 25 | 13 | 28 | 86 | 30 | 0.25 |
| 14 | 05HD | 55 | U5-352 17X | U5-71 077 | 28 | 13 | 30 | 96 | 36 | 0.4 |
| 16 | 1HD | 80 | U5-354 174 | U5-72 433 | 32 | 16 | 34 | 104 | 36 | 0.45 |
| 18 | 2HD | 110 | U5-354 296 | U5-72 965 | 36 | 17 | 37 | 114 | 40 | 0.7 |
| 20 | 3HD | 140 | U5-354 308 | U5-73 327 | 42 | 18 | 41 | 128 | 46 | 1 |
| 22 | 4HD | 160 | U5-354 316 | U5-73 729 | 45 | 22 | 47.5 | 145 | 50 | 1.55 |
| 25 | 5HD | 220 | U5-355 991 | U5-516 516 | 50 | 26 | 54 | 163 | 55 | 2 |
| 30 | 6HD | 260 | U5-356 006 | U5-73 796 | 58 | 29 | 61 | 190 | 68 | 2.9 |
| 32 | 6HD1 | 260 | U5-356 073 | U5-74 525 | 58 | 33 | 65 | 198 | 68 | 3 |
| 35 | 7HD | 350 | U5-361 280 | U5-74 994 | 70 | 35 | 70 | 212 | 72 | 5 |
| 40 | 8HD | 420 | U5-69 456 | U5-76 52X | 80 | 40 | 80 | 245 | 85 | 7 |
| 50 | 9HD | 550 | U5-69 527 | U5-77 701 | 95 | 50 | 95 | 290 | 100 | 12 |
| 12 | 04HBD | 22 | U5-77 815 | U5-92 057 | 22 | 18 | 31 | 88 | 26 | 0.2 |
| 16 | 1HBD | 36 | U5-86 62X | U5-92 302 | 25 | 21 | 37 | 104 | 30 | 0.3 |
| 20 | 3HBD | 80 | U5-90 785 | U5-92 440 | 32 | 24 | 43 | 124 | 38 | 0.5 |
| 25 | 5HBD | 140 | U5-91 451 | U5-92 483 | 42 | 31 | 54 | 156 | 48 | 1.2 |
| 30 | 6HBD | 220 | U5-91 908 | U5-93 499 | 50 | 38 | 66 | 188 | 56 | 1.7 |
| 40 | 8HBD | 350 | U5-91 967 | U5-93 543 | 70 | 48 | 83 | 238 | 72 | 4.3 |

Stockline nos in black — delivery times on request

FERRI telescopic universal joints

Type GA
Type HA

Available customised to any length up to 3m or as standard lengths from stock

Suitable for all types of machinery where the distance between shafts is variable

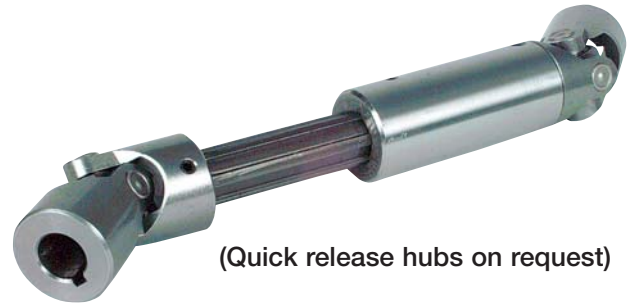
Ground nickel chrome wearing surfaces for long life

Pre-lubricated and fitted with grease valve

Standard models with H7 bore and keyways to BS4235, square or hexagonal bores on request

Up to 90° total drive angle possible

Two versions available from stock to suit varying speeds and duties



(Quick release hubs on request)

Length adjustments should be made statically without torque loadings

| | Type GA | Type HA |
|---------------------|-------------------------|------------------------|
| Maximum speed r/min | 1000 | 4000 |
| Construction | hardened plain bearings | needle roller bearings |
| Maintenance | re-lubricate regularly | maintenance free |

Ordering example

(2) off Ferrri telescopic universal joints type 1HA, stroke 190-220mm.

Stockline No. **U5-828 025**

To construct telescopic joints, the following criteria must be met:

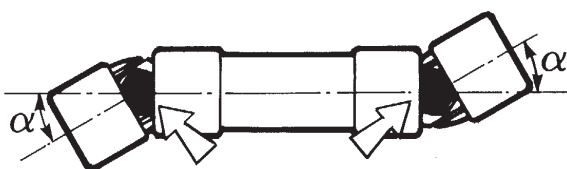
$$\text{Stroke } C_H \leq \frac{L_{\text{max}} - 2L_2 - B}{2}$$

$$L_{\text{min}} \geq \frac{L_{\text{max}} + 2L_2 + B}{2}$$

Materials

All telescopic universal joints have splines made from extruded steel grade C45 to UNI222. Precision machined female bushes are made from the same material.

Mounting



For correct running, the inner journals must be in line, and the joint angles α must be equal.

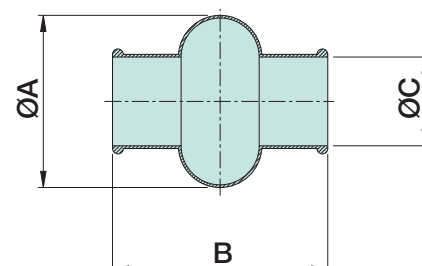
Type GA FERRI telescopic universal joints are pre-lubricated but we recommend regular re-greasing. FERRI gaiters can be fitted, see below.

Gaiters

Designed to protect the joint in severe or aggressive environments, these gaiters are made from synthetic rubber that is itself oil and acid resistant. They can be used to allow permanent lubrication of the joint.

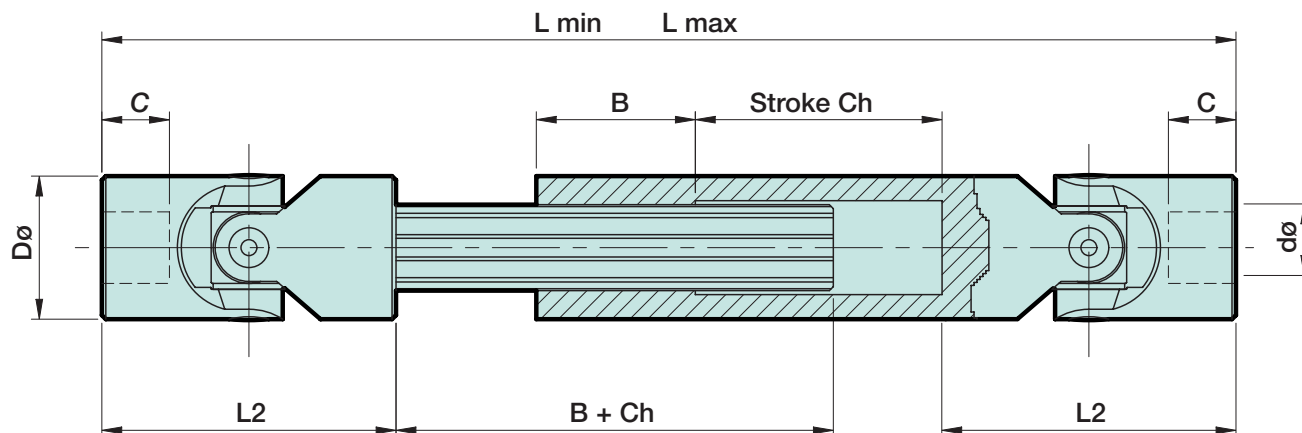
Note: 2 gaiters are required for double joints.

| Type | Size | A | B | C | Stockline No. |
|------|------|-----|-----|------|-------------------|
| 01M | 01 | 28 | 34 | 15 | U8-223 213 |
| 02M | 02 | 32 | 40 | 15.5 | U8-223 221 |
| 03M | 03 | 40 | 45 | 20.5 | U8-223 23X |
| 04M | 04 | 48 | 50 | 24.5 | U8-223 248 |
| 05M | 05 | 52 | 56 | 27.5 | U8-223 256 |
| 1M | 1 | 56 | 65 | 30.5 | U8-223 264 |
| 2M | 2 | 66 | 72 | 35.5 | U8-223 272 |
| 3M | 3 | 75 | 82 | 40 | U8-223 465 |
| 4M | 4 | 84 | 95 | 45 | U8-223 473 |
| 5M | 5 | 92 | 108 | 50 | U8-223 481 |
| 6M | 6 | 100 | 122 | 56 | U8-223 49X |



FERRI telescopic universal joints

Type GA
Type HA

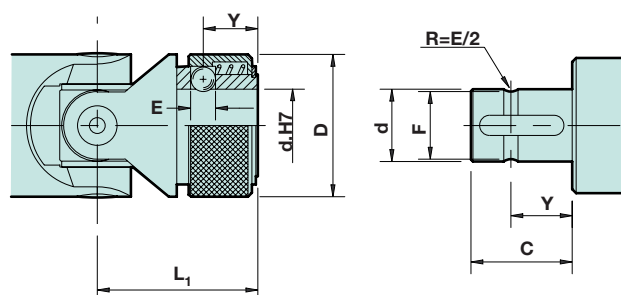


| Dimensions | | | | | | | |
|------------|----|----|-----|----|----|------------------------------------|------------|
| Size | dø | D | L2 | C | B | L min. mm | Lmax. mm |
| 03 | 10 | 22 | 48 | 12 | 30 | 140 180 | 170 240 |
| 04 | 12 | 25 | 56 | 13 | 40 | 160 200 | 190 270 |
| 05 | 14 | 28 | 60 | 13 | 40 | 170 220 | 200 300 |
| 1 | 16 | 32 | 68 | 16 | 40 | 190 240 | 220 320 |
| 2 | 18 | 36 | 74 | 17 | 40 | 230 290 | 280 400 |
| 3 | 20 | 42 | 82 | 18 | 45 | 250 320 | 300 440 |
| 4 | 22 | 45 | 95 | 22 | 50 | 270 330 | 320 430 |
| 5 | 25 | 50 | 108 | 26 | 50 | 295 350 | 345 450 |
| 6 | 30 | 58 | 122 | 29 | 60 | 330 400 | 380 510 |
| 7 | 35 | 70 | 140 | 35 | 70 | Built to order up to 3m long | |
| 8 | 40 | 80 | 160 | 40 | 80 | | |
| 9 | 50 | 95 | 190 | 50 | 90 | | |

| Type GA plain bearings | | | Type HA needle roller bearings | | |
|---------------------------|--|--|-----------------------------------|--|--|
| Model | Torque (Nm) at 200 r/min & 10°/end | Stockline No. | Model | Torque (Nm) at 200 r/min & 10°/end | Stockline No. |
| 03GA | 26 | U5-827 70X U5-827 785 | 03HA | 22 | U5-827 734 U5-827 978 |
| 04GA | 35 | U5-827 793 U5-827 813 | 04HA | 36 | U5-827 986 U5-827 994 |
| 05GA | 48 | U5-827 821 U5-827 848 | 05HA | 55 | U5-828 009 U5-828 017 |
| 1GA | 70 | U5-827 856 U5-827 864 | 1HA | 80 | U5-828 025 U5-828 033 |
| 2GA | 95 | U5-827 872 U5-827 880 | 2HA | 110 | U5-828 041 U5-828 05X |
| 3GA | 130 | U5-827 899 U5-827 900 | 3HA | 140 | U5-828 068 U5-828 076 |
| 4GA | 160 | U5-827 919 U5-827 927 | 4HA | 160 | U5-828 084 U5-828 092 |
| 5GA | 200 | U5-827 935 U5-827 943 | 5HA | 220 | U5-828 104 U5-828 112 |
| 6GA | 240 | U5-827 951 U5-827 96X | 6HA | 260 | U5-828 120 U5-828 139 |

Stockline numbers for sizes 7 to 9 on request

Quick release hubs



Quick release hubs are available for sizes 02-6 and can be fitted to any type of universal joint. Please send us your application requirements.

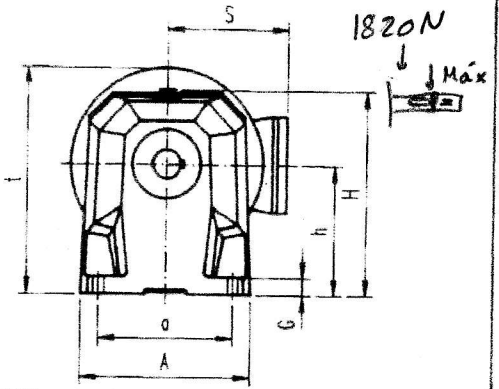
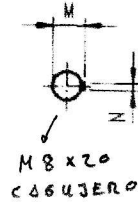
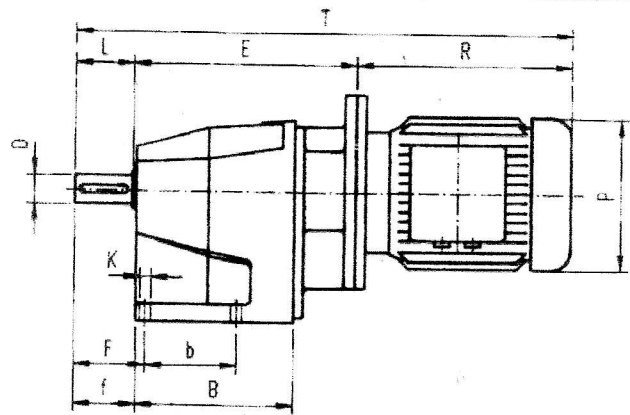
| Shaft d(h7) | Size | Dimensions mm | | | | | |
|----------------|------|---------------|----|------|------|----|------|
| | | C | D | E | F | L1 | Y |
| 8 | 02 | 14 | 16 | 3.5 | 7 | 26 | 9.5 |
| 10 | 03 | 17 | 22 | 4 | 8.7 | 31 | 11.5 |
| 12 | 04 | 21 | 25 | 4 | 11 | 37 | 13.5 |
| 14 | 05 | 21 | 25 | 4 | 13 | 37 | 13.5 |
| 16 | 1 | 24 | 32 | 6.35 | 14.8 | 43 | 14 |
| 18 | 2 | 28 | 36 | 8 | 16 | 48 | 19 |
| 20 | 3 | 31 | 42 | 8 | 18 | 54 | 19 |
| 22 | 4 | 34 | 45 | 10 | 20 | 60 | 20.5 |
| 25 | 5 | 38 | 50 | 10 | 23 | 66 | 20.5 |
| 30 | 6 | 49 | 58 | 10 | 28 | 83 | 25 |

COUPLING
TECHNOLOGY

DIMENSIONES

ME-12.056...ME-72.180

DIMENSIONS



| ME | TIPO | TYPE | A | a | B | b | D | E | F | f | G | H | h | K | L | M | N | P | R | S | T | t | KGS. | |
|----|--------|--------|--------|-----|-----|-----|-----|--------|-----|-----|----|-----|-----|----|-----|------|----|-------|-----|------|-----|-----|------|-----|
| 12 | 056.4 | 056.2 | 109 | 80 | 103 | 50 | 16 | 149 | 53 | 43 | 10 | 130 | 85 | | | 18.1 | 5 | 110 | 140 | 93 | 329 | 145 | 11 | |
| | 063.6 | 063.4 | | | | | | 063.2 | | | | | | | | | | 155 | 124 | 190 | 100 | 385 | 155 | 12 |
| | 071.8 | 071.6 | | | | | | 071.4 | | | | | | | | | | 071.2 | 161 | 140 | 210 | 109 | 411 | 165 |
| 22 | 056.4 | | 123 | 98 | 118 | 60 | 20 | 163 | 54 | 44 | 12 | 157 | 105 | | 40 | 22.5 | 6 | 110 | 140 | 93 | 343 | 205 | 165 | 12 |
| | 063.6 | 063.4 | | | | | | 063.2 | | | | | | | | | | 169 | 124 | 190 | 100 | | | |
| | 071.6 | 071.4 | | | | | | 071.2 | | | | | | | | | | 176 | 140 | 210 | 109 | 426 | 185 | 15 |
| | 080.4 | 080.2 | | | | | | 158 | | | | | | | | | | 234 | 117 | 450 | 18 | | | |
| | 090S.4 | 090S.2 | | | | | | 182 | | | | | | | | | | 252 | 140 | 485 | 21 | | | |
| | 090L.4 | 090L.2 | | | | | | 277 | | | | | | | | | | 510 | 24 | | | | | |
| 32 | 063.6 | 063.4 | 148 | 119 | 135 | 70 | 25 | 187 | 66 | 54 | 15 | 192 | 130 | | 50 | 27.9 | 8 | 124 | 190 | 100 | 427 | 200 | 18 | |
| | 071.6 | 071.4 | | | | | | 193 | | | | | | | | | | 140 | 210 | 109 | 453 | 210 | 20 | |
| | 080.6 | 080.4 | | | | | | 080.2 | | | | | | | | | | 158 | 234 | 117 | 477 | 23 | | |
| | 090S.4 | 090S.2 | | | | | | 212 | | | | | | | | | | 252 | 140 | 554 | 230 | 26 | | |
| | 090L.4 | 090L.2 | | | | | | K6 | | | | | | | | | | 277 | 539 | 29 | | | | |
| | 100L.4 | 100L.2 | | | | | | 219 | | | | | | | | | | 202 | 306 | 153 | 575 | 255 | 36 | |
| | 112M.2 | 227 | | | | | | 328 | | | | | | | | | | 166 | 597 | 43 | | | | |
| 42 | 071.8 | 071.6 | 071.4 | 177 | 140 | 164 | 85 | 214 | 77 | 64 | 18 | 208 | 135 | 11 | 60 | 32.9 | 8 | 140 | 210 | 109 | 484 | 215 | 26 | |
| | 080.6 | 080.4 | 213 | | | | | 158 | | | | | | | | | | 234 | 117 | 507 | 28 | | | |
| | 090S.6 | 090S.4 | 232 | | | | | 182 | | | | | | | | | | 252 | 140 | 544 | 235 | 31 | | |
| | 090L.4 | 090L.2 | 232 | | | | | 277 | | | | | | | | | | 569 | 34 | | | | | |
| | 100L.4 | 100L.2 | 241 | | | | | 202 | | | | | | | | | | 306 | 153 | 607 | 44 | | | |
| | 112M.4 | 112M.2 | 241 | | | | | 227 | | | | | | | | | | 328 | 166 | 629 | 51 | | | |
| 52 | 080.8 | 080.6 | 080.4 | 214 | 170 | 188 | 100 | 239 | 104 | 84 | 20 | 252 | 160 | 13 | 80 | 43.1 | 12 | 158 | 234 | 117 | 553 | 260 | 47 | |
| | 090S.6 | 090S.4 | 257 | | | | | 182 | | | | | | | | | | 252 | 140 | 589 | 50 | | | |
| | 090L.6 | 090L.4 | 266 | | | | | 277 | | | | | | | | | | 614 | 53 | | | | | |
| | 100L.6 | 100L.4 | 266 | | | | | 202 | | | | | | | | | | 306 | 153 | 652 | 60 | | | |
| | 112M.4 | 112M.2 | 288 | | | | | 227 | | | | | | | | | | 328 | 166 | 674 | 285 | 67 | | |
| | 132S.4 | 132S.2 | 288 | | | | | 267 | | | | | | | | | | 369 | 192 | 737 | 310 | 88 | | |
| 62 | 090S.6 | 090S.4 | 246 | 195 | 216 | 115 | 45 | 286 | 121 | 95 | 25 | 290 | 185 | 15 | 90 | 48.5 | 14 | 182 | 252 | 140 | 628 | 285 | 65 | |
| | 090L.8 | 090L.6 | | | | | | 090L.4 | | | | | | | | | | 277 | 653 | 68 | | | | |
| | 100L.6 | 100L.4 | | | | | | 293 | | | | | | | | | | 202 | 306 | 153 | 689 | 310 | 75 | |
| | 112M.6 | 112M.4 | | | | | | 316 | | | | | | | | | | 227 | 328 | 166 | 711 | 82 | | |
| | 132S.6 | 132S.4 | | | | | | 132S.2 | | | | | | | | | | 267 | 369 | 192 | 775 | 335 | 103 | |
| | 132M.4 | 132M.2 | | | | | | 347 | | | | | | | | | | 407 | 813 | 113 | | | | |
| | 160M.4 | 160M.2 | | | | | | 347 | | | | | | | | | | 324 | 475 | 212 | 912 | 360 | 145 | |
| | 160L.4 | 160L.2 | | | | | | 347 | | | | | | | | | | 509 | 946 | 163 | | | | |
| 72 | 100L.8 | 100L.6 | 100L.4 | 310 | 235 | 286 | 160 | 350 | 140 | 115 | 30 | 358 | 230 | 18 | 110 | 58.8 | 16 | 202 | 306 | 153 | 772 | 355 | 112 | |
| | 112M.6 | 112M.4 | 379 | | | | | 227 | | | | | | | | | | 328 | 166 | 794 | 119 | | | |
| | 132S.6 | 132S.4 | 379 | | | | | 267 | | | | | | | | | | 369 | 192 | 858 | 380 | 140 | | |
| | 132M.6 | 132M.4 | 411 | | | | | 407 | | | | | | | | | | 896 | 150 | | | | | |
| | 160M.4 | 160M.2 | 411 | | | | | 324 | | | | | | | | | | 475 | 212 | 996 | 182 | | | |
| | 160L.4 | 160L.2 | 411 | | | | | 509 | | | | | | | | | | 1030 | 200 | | | | | |
| | 180M.4 | 180M.2 | 411 | | | | | 360 | | | | | | | | | | 560 | 250 | 1081 | 260 | | | |
| | 180L.4 | 411 | 600 | | | | | 1121 | | | | | | | | | | 280 | | | | | | |

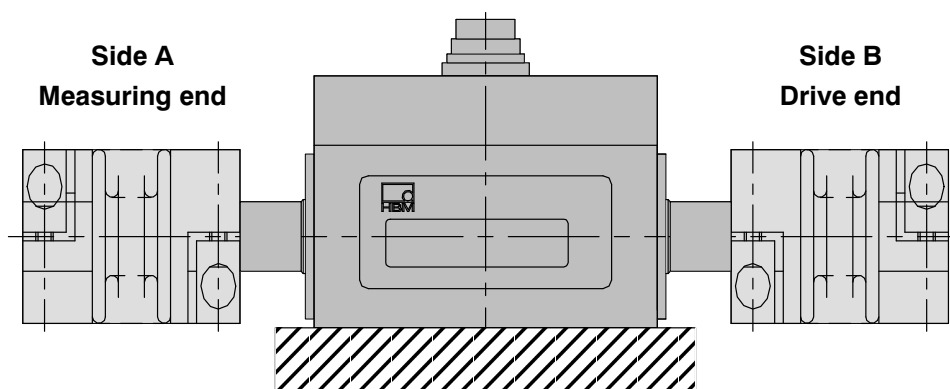
T20WN

Torque Transducers



Special features

- Nominal (rated) torques:
0.1 N·m, 0.2 N·m, 0.5 N·m, 1 N·m,
2 N·m, 5 N·m, 10 N·m, 20 N·m,
50 N·m, 100 N·m, 200 N·m
- Accuracy class: 0.2
- Contactless transmission of the
measurement signal
- Measurement on rotating and
stationary parts
- Cylindrical shaft ends for non-
play friction joints
- Integrated measuring system for
speed and angle of rotation
- Torque output signal: ± 10 V



This example requires two of the couplings offered

Specifications T20WN

| Type | T20WN | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|-------------|--------------|-----------|----------|-----------|-----------|----------|------------|-----------|------------|--|
| Accuracy class | 0.2 | | | | | | | | | | | | |
| Torque measuring system | | | | | | | | | | | | | |
| Nominal (rated) torque M_{nom} for reference only | N·m ft·lb | 0.1 0.075 | 0.2 0.15 | 0.5 0.375 | 1 0.75 | 2 1.5 | 5 3.75 | 10 7.5 | 20 15 | 50 37.5 | 100 75 | 200 150 | |
| Nominal (rated) sensitivity (nominal (rated) signal range between torque = zero and nominal (rated) torque) | V | 10 | | | | | | | | | | | |
| Characteristic tolerance (deviation of the actual output quantity at M_{nom} from the nominal (rated) signal range) | % | ± 0.2 | | | | | | | | | | | |
| Output signal at torque = zero | V | 0 ± 0.2 | | | | | | | | | | | |
| Nominal (rated) output signal with positive nominal (rated) torque with negative nominal (rated) torque | V V | +10 -10 | | | | | | | | | | | |
| Load resistance | MΩ | > 1 | | | | | | | | | | | |
| Long-term drift over 48 h | mV | < ± 50 | | | | | | | | | | | |
| Cut-off frequency (-3 dB) | Hz | 200 | | | | | | | | | | | |
| Residual ripple | mV _{PP} | < 80 | | | | | | | | | | | |
| Group delay time | ms | < 1,0 | | | | | | | | | | | |
| Temperature influence per 10 K in the nominal (rated) temperature range on the output signal, related to the actual value of signal span on the zero signal, related to the nominal (rated) sensitivity | % % | ± 0.1 ± 0.2 | | | | | | | | | | | |
| Power supply Nominal (rated) excitation voltage (separated extra-low voltage) Release of calibration signal Current consumption in measuring mode Nominal (rated) power consumption Allowed residual ripple of excitation voltage | V (DC) V A W mV _{PP} | 12 (10.8...13.2) 5...13.2 < 0.2 < 2.4 200 | | | | | | | | | | | |
| Characteristic curve deviation related to the nominal (rated) sensitivity | % | < ± 0.1 | | | | | | | | | | | |
| Variability , related to the change in output signal | % | < ± 0.05 | | | | | | | | | | | |
| Calibration signal | V | +10 ± 0.2% | | | | | | | | | | | |
| Measuring system for speed/angle of rotation | | | | | | | | | | | | | |
| Measuring system | | Optical | | | | | | | | | | | |
| Pulses per revolution | Number | 360 | | | | | | | | | | | |
| Output signal | V | 5 (asymmetrical); two square wave signals 90° phase shifted | | | | | | | | | | | |
| Minimum speed for sufficient pulse stability | rpm | 0 | | | | | | | | | | | |
| Load resistance | kΩ | > 10 | | | | | | | | | | | |
| Group delay time | μs | < 3 | | | | | | | | | | | |
| Maximum measurable speed | rpm | 3000 | | | | | | | | | | | |
| General data | | | | | | | | | | | | | |
| EMC | | | | | | | | | | | | | |
| EMI (Immunity) (EN50082-2) RF enclosure RF common mode Magnetic field Burst DSE | V/m V _{PP} A/m kV kV | 10 10 100 2/1 4/8 | | | | | | | | | | | |

Specifications T20WN

| | | | | | | | | | | | | |
|--|------------------------------|---|-------------|--------------|-----------|----------|-----------|-----------|----------|------------|-----------|------------|
| EME (Emission) (EN55011) RFI-Voltage Field strength | | Class B Class B | | | | | | | | | | |
| Degree of protection according to EN 60 529 | | IP40 | | | | | | | | | | |
| Weight, approx. | kg | 0.17 | | | | | 0.34 | | | 0.6 | | |
| Nominal (rated) torque M_{nom} for reference only | N·m ft·lb | 0.1 0.075 | 0.2 0.15 | 0.5 0.375 | 1 0.75 | 2 1.5 | 5 3.75 | 10 7.5 | 20 15 | 50 37.5 | 100 75 | 200 150 |
| Nominal (rated) temperature range | °C [°F] | +5 [41]...+45 [113] | | | | | | | | | | |
| Service temperature range | °C [°F] | 0 [32]...+60 [140] | | | | | | | | | | |
| Storage temperature range | °C [°F] | -5 [23]...+70 [158] | | | | | | | | | | |
| Impact resistance, test severity level to IEC 68; part 2-27; IEC 68-2-27-1987 Number of impacts Duration Acceleration (half-sine) | n ms m/s ² | 1000 3 650 | | | | | | | | | | |
| Vibration resistance, test severity level to IEC 68, part 2-6; IEC 68-2-6-1982 Frequency range Duration Acceleration (amplitude) | Hz h m/s ² | 5...65 1.5 50 | | | | | | | | | | |
| Nominal (rated) speed | rpm | 10 000 | | | | | | | | | | |
| Load limits ¹⁾ Limit torque, related to M_{nom} Breaking torque, related to M_{nom} Axial limit force Lateral limit force Bending limit moment Oscillation bandwidth according to DIN 50100 (peak-to-peak) ³⁾ | % % kN N Nm % | 200 ²⁾ > 280 0.2 0.2 0.2 0.34 0.5 1.1 1.75 2.75 5.3 7.6 12.5 3.6 3.6 3.6 5.7 8.3 18.2 29 46 88 127 207 0.12 0.12 0.12 0.23 0.4 0.93 1.9 3.7 10 17 36 80 | | | | | | | | | | |
| Mechanical values | | | | | | | | | | | | |
| Torsional stiffness C_T | kN·m / rad | 0.03 | 0.03 | 0.03 | 0.05 | 0.07 | 0.91 | 1.9 | 3.25 | 14 | 21.9 | 32.6 |
| Torsion angle at M_{nom} | degree | 0.2 | 0.38 | 0.96 | 1.1 | 1.7 | 0.32 | 0.3 | 0.35 | 0.2 | 0.26 | 0.35 |
| Max. limits for relative shaft vibration (peak-to-peak) ⁴⁾ | µm | $s_{max} = \frac{4500}{\sqrt{n}}$ | | | | | | | | | | |
| Rms value for the vibration velocity of the housing according to VDI 2056 | mm/s | $v_{eff} = \frac{\sqrt{n}}{3}$ | | | | | | | | | | |
| Mass moment of inertia of the rotor (around the axis of rotation) with speed measuring system ($\times 10^{-3}$) | gm ² | 0.06 | 0.06 | 0.06 | 0.063 | 0.068 | 6.1 | 6.13 | 6.23 | 53.7 | 54.6 | 57.2 |
| Balance quality-level per DIN ISO 1940 | - | G 6.3 | | | | | | | | | | |

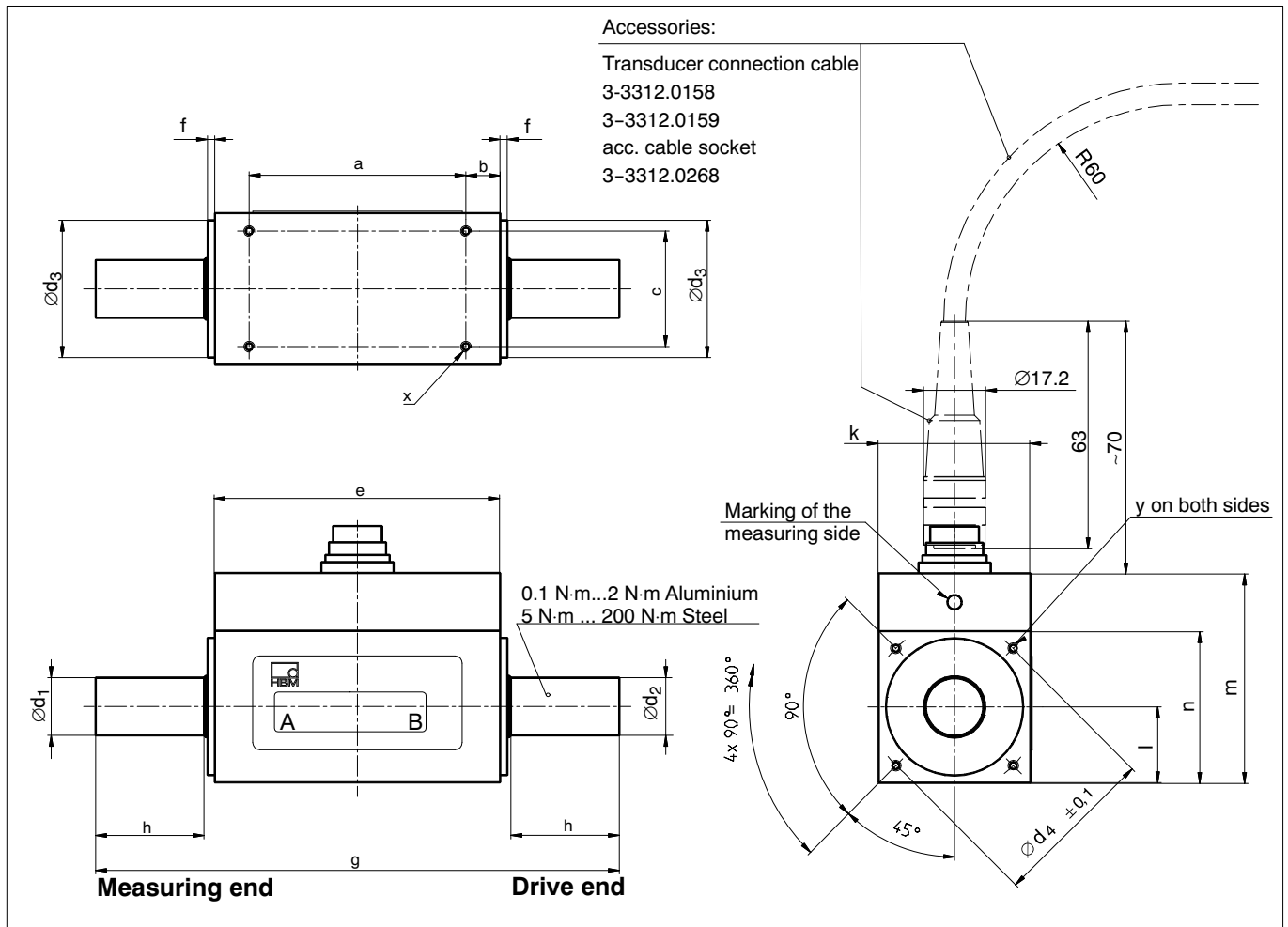
¹⁾ Each type of irregular stress can only be permitted with its given statistic load limit values (bending moment, lateral or axial load, exceeding the nominal (rated) torque) if none of the others can occur. Otherwise the limit values must be reduced. If for instance 30 % of the bending limit moment and also 30 % of the lateral limit force are present, only 40 % of the axial limit force are permitted, provided that the nominal (rated) torque is not exceeded. With the permitted bending moments, axial and lateral limit forces, measuring errors of about 1 % of the nominal (rated) torque can occur.

²⁾ Please observe the coupling's maximum torque (T_{Kmax}).

³⁾ The nominal (rated) torque must not be exceeded.

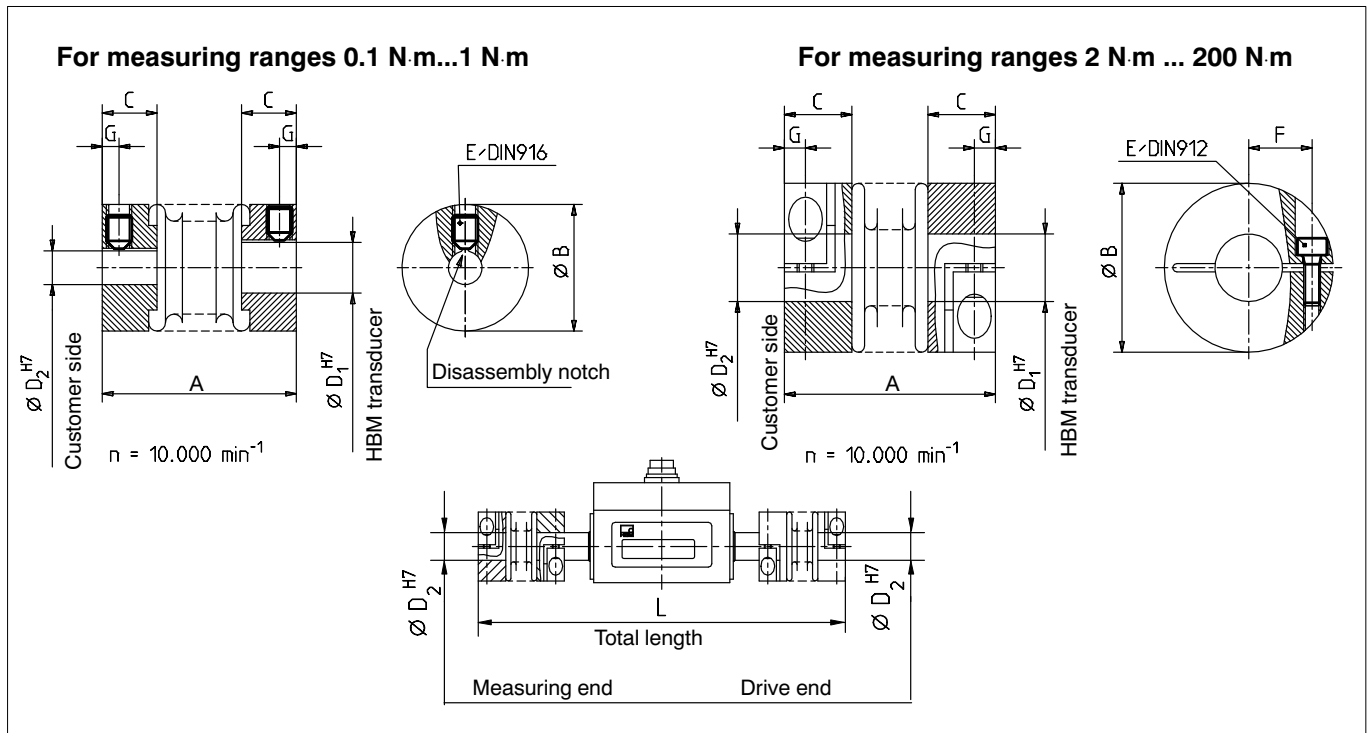
⁴⁾ Relative undulations within the range of the adapter flange in accordance with DIN 45670/VDI 2059.

Dimensions T20WN



| Measuring range (N·m) | Dimensions in mm | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-----------------------|------------------|-----|----|-----------------|---|-----|----|-----------------|----|-----------------|----|--------------------|--------------------|----------------------|----------------------|------------|------------|
| | a | b | c | e _{±1} | f | g | h | k _{±1} | l | m _{±1} | n | Ød _{1 g6} | Ød _{2 g6} | Ød _{3 -0.1} | Ød _{4 ±0.1} | y | x |
| 0.1 | 40 | 11 | 22 | 62 | 2 | 95 | 14 | 28 | 14 | 48.5 | 30 | 6 | 8 | 27 | 32 | M3/6 depth | M3/5 depth |
| 0.2 | 40 | 11 | 22 | 62 | 2 | 95 | 14 | 28 | 14 | 48.5 | 30 | 6 | 8 | 27 | 32 | M3/6 depth | M3/5 depth |
| 0.5 | 40 | 11 | 22 | 62 | 2 | 95 | 14 | 28 | 14 | 48.5 | 30 | 6 | 8 | 27 | 32 | M3/6 depth | M3/5 depth |
| 1 | 40 | 11 | 22 | 62 | 2 | 95 | 14 | 28 | 14 | 48.5 | 30 | 6 | 8 | 27 | 32 | M3/6 depth | M3/5 depth |
| 2 | 40 | 11 | 22 | 62 | 2 | 95 | 14 | 28 | 14 | 48.5 | 30 | 6 | 8 | 27 | 32 | M3/6 depth | M3/5 depth |
| 5 | 60 | 9.5 | 32 | 79 | 2 | 145 | 30 | 42 | 21 | 58 | 42 | 16 | 16 | 38 | 46 | M3/6 depth | M3/6 depth |
| 10 | 60 | 9.5 | 32 | 79 | 2 | 145 | 30 | 42 | 21 | 58 | 42 | 16 | 16 | 38 | 46 | M3/6 depth | M3/6 depth |
| 20 | 60 | 9.5 | 32 | 79 | 2 | 145 | 30 | 42 | 21 | 58 | 42 | 16 | 16 | 38 | 46 | M3/6 depth | M3/6 depth |
| 50 | 42 | 15 | 40 | 72 | 3 | 170 | 45 | 56 | 28 | 73 | 56 | 26 | 26 | 54 | 65 | M4/8 depth | M4/8 depth |
| 100 | 42 | 15 | 40 | 72 | 3 | 170 | 45 | 56 | 28 | 73 | 56 | 26 | 26 | 54 | 65 | M4/8 depth | M4/8 depth |
| 200 | 42 | 15 | 40 | 72 | 3 | 170 | 45 | 56 | 28 | 73 | 56 | 26 | 26 | 54 | 65 | M4/8 depth | M4/8 depth |

Bellow couplings



Dimensions

| Measuring range [N·m] | Parts-No. | Dimensions in mm | | | | | | | | | |
|-----------------------|-------------|-------------------|-------------|------|---------------------|-----------------|--------------------|-----|----|-----|-----|
| | | A | ØB | C | ØD_1 | | ØD_2 | E | F | G | L |
| | | | | | Measuring end T20WN | Drive end T20WN | variable from - to | | | | |
| 0.1 | 3-4412.0001 | 23 ₋₁ | 15 | 6.5 | 6 | 8 | 3-9 | M3 | - | 2 | 128 |
| 0.2 | | | | | | | | | | | |
| 0.5 | | | | | | | | | | | |
| 1 | 3-4412.0002 | 25 ₋₁ | 15 | 6.5 | 6 | 8 | 3-9 | M3 | - | 2 | 132 |
| 2 | 3-4412.0003 | 40 ₋₁ | 25 | 13 | 6 | 8 | 3-12.7 | M3 | 8 | 4 | 149 |
| 5 | 3-4412.0004 | 50 ₋₁ | 40 | 16 | 16 | 16 | 5-22 | M4 | 15 | 5 | 213 |
| 10 | | | | | | | | | | | |
| 20 | 3-4412.0005 | 69 ₋₂ | 56 | 21 | 16 | 16 | 10-32 | M6 | 19 | 7.5 | 241 |
| 50 | 3-4412.0006 | 80 ₋₂ | 66 | 23.5 | 26 | 26 | 12-32 | M8 | 23 | 9.5 | 283 |
| 100 | 3-4412.0007 | 93 ₋₂ | 82 | 28 | 26 | 26 | 19-40 | M10 | 27 | 11 | 300 |
| 200 | 3-4412.0008 | 109 ₋₂ | 110 | 35 | 26 | 26 | 24-56 | M12 | 39 | 13 | 318 |

Please specify upon order: D_2 connecting holes as specified by customer within the stated limits; H7 boring tolerance.

By using only **one** bellow coupling, please indicate the construction side of the coupling:

Measuring end = 6 mm / Drive end = 8 mm

Specifications

| Measuring range [N·m] | Coupling torque maximum T_{Kmax} [N·m] | Mass moment of inertia [kg·cm ²] | Weight [g] | Torsional stiffness [kNm/rad] | Max. permitted misalignment | | | Spring stiffness | | Material of coupling hub and fastening ring | Tightening torque of clamping screws [N·m] |
|--------------------------|--|---|---------------|----------------------------------|-----------------------------|----------------|------------------|------------------|------------------|---|---|
| | | | | | axial [mm] | radial [mm] | angular [deg] | axial [N/mm] | radial [N/mm] | | |
| 0.1 | 0.5 | 0.012 | 6 | 0.21 | 0.5 | 0.2 | 1.5 | 13.4 | 47.7 | Aluminium | 0.35 |
| 0.2 | | | | | | | | | | | |
| 0.5 | | | | | | | | | | | |
| 1 | 1 | 0.018 | 7 | 0.38 | 0.5 | 0.2 | 1.5 | 27.4 | 84.3 | | 0.75 |
| 2 | | | | | | | | | | | |
| 5 | 10 | 1.6 | 120 | 9.05 | 1 | 0.2 | 1.5 | 33.3 | 389 | | 1.5 |
| 10 | | | | | | | | | | | |
| 20 | | | | | | | | | | | |
| 50 | 60 | 2.0 | 400 | 72 | 1.5 | 0.15 | 1.5 | 67 | 679 | | 35 |
| 100 | | | | | | | | | | | |
| 200 | 300 | 40 | 3800 | 157 | 2 | 0.15 | 1.5 | 124 | 2940 | Steel | 120 |
| | | | | | | | | | | | |

General notes

- Install the shafts in the coupling hubs before fastening the couplings' clamping screws!
- Do not stretch the bellow couplings beyond the specified permissible elasticities.
- The input and output shafts must be free from grease and burrs.
- The shaft diameters should be made with a j6 tolerance to obtain the H7/j6 preference fit.

Mounting position

The T20WN Torque Transducer with bellow couplings can be used in any mounting position (horizontal, vertical or oblique). With vertical or oblique operation, please ensure that additional masses are sufficiently supported.

Equipment as supplied

The couplings and the torque transducer are delivered separately ex-works.

Accessories T20WN, to be ordered separately

Connection cable, 5 m long, order no. 3-3301.0158

Connection cable, 10 m long, order no. 3-3301.0159

Cable socket, 12-pole (Binder), order no. 3-3312.0268

Terminal box, order no. 1-VK20A

Bellows couplings

Modifications reserved.

All details describe our products in general form only. They are not to be understood as express warranty and do not constitute any liability whatsoever.

Hottinger Baldwin Messtechnik GmbH

Im Tiefen See 45, D-64293 Darmstadt, Germany

Tel.: +49 6151 8030; Fax: +49 6151 803 9100

E-mail: support@hbm.com www.hbm.com



measurement with confidence

**ANEXO 2:
ASPECTO SUPERFICIAL DE LOS
DISCOS TRAS LOS ENSAYOS**

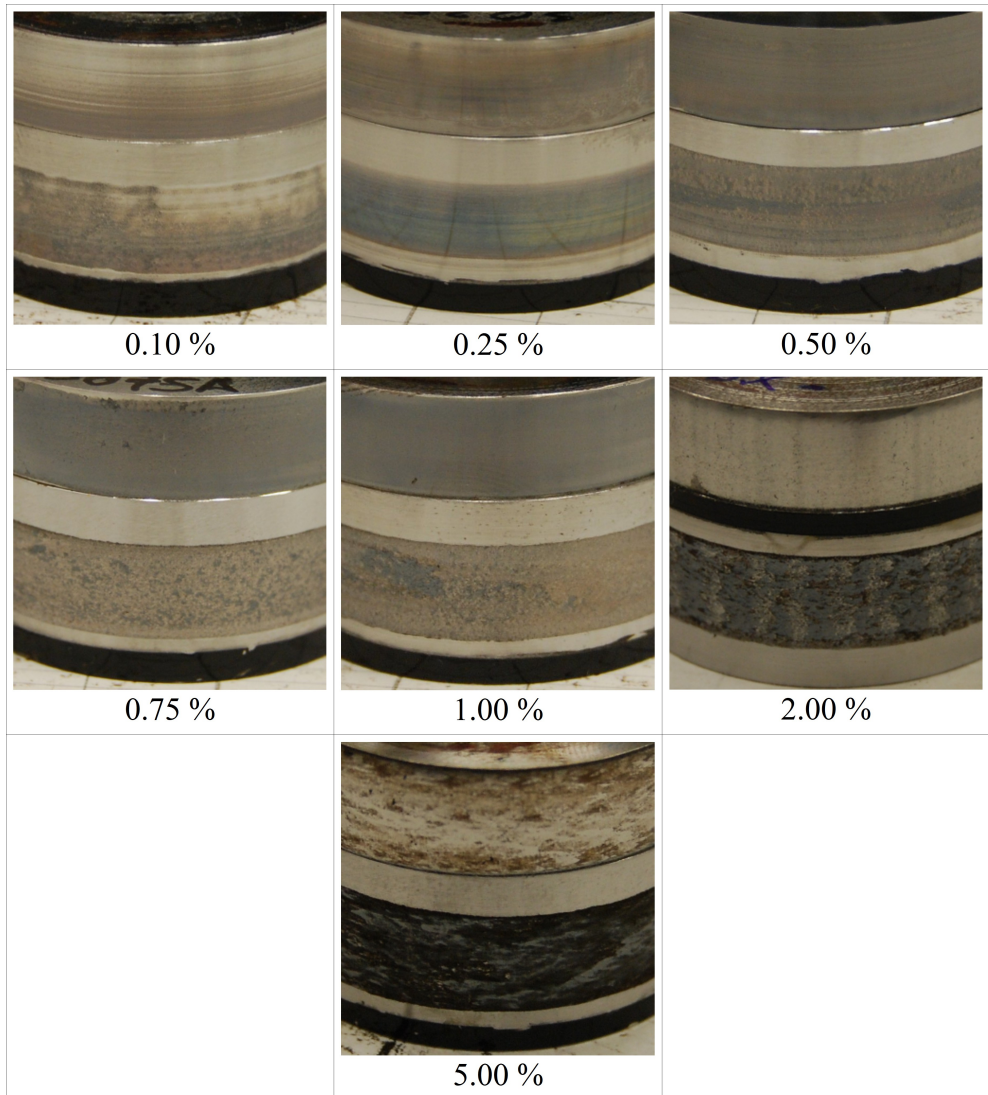


Figura A1.- Fotografías de los discos tras los ensayos entre los aceros C45 y C55 en seco con una presión máxima de 688.5 MPa y deslizamientos del 0.10 al 5%.

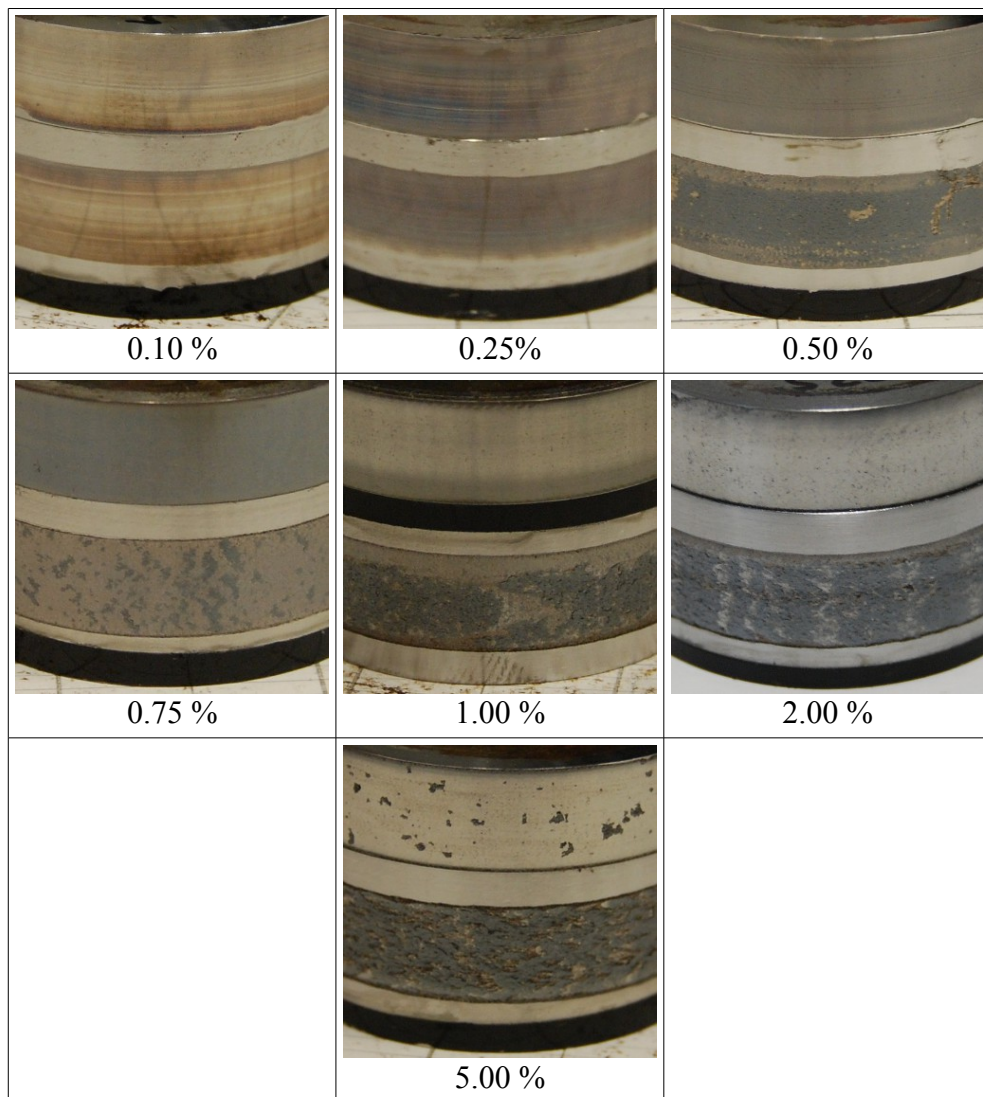


Figura A2.- Fotografías de los discos tras los ensayos entre los aceros C45 y C55 en seco con una presión máxima de 918.0 MPa y deslizamientos del 0.10 al 5%.

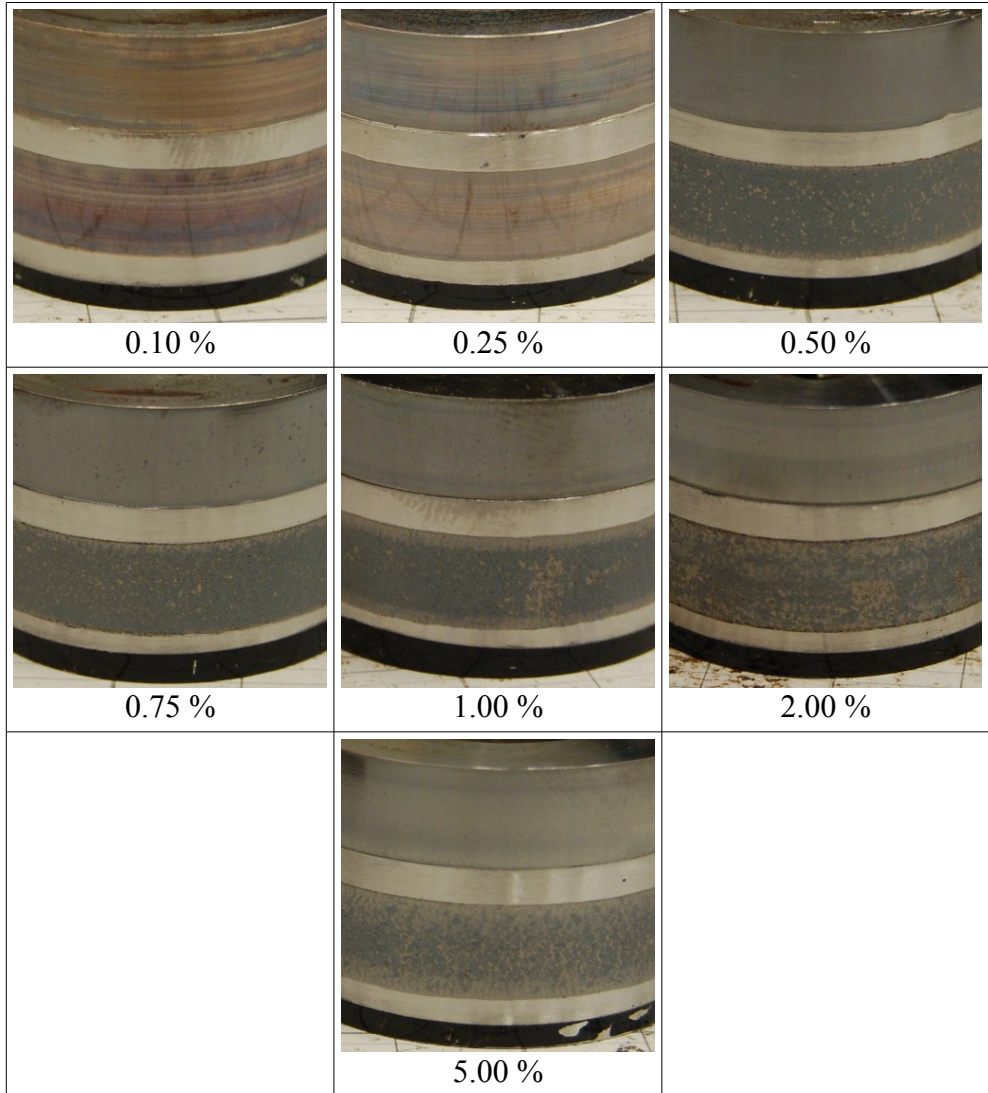


Figura A3.- Fotografías de los discos tras los ensayos entre los aceros C45 y C55 en seco con una presión máxima de 11747,5 MPa y deslizamientos del 0.10 al 5%.

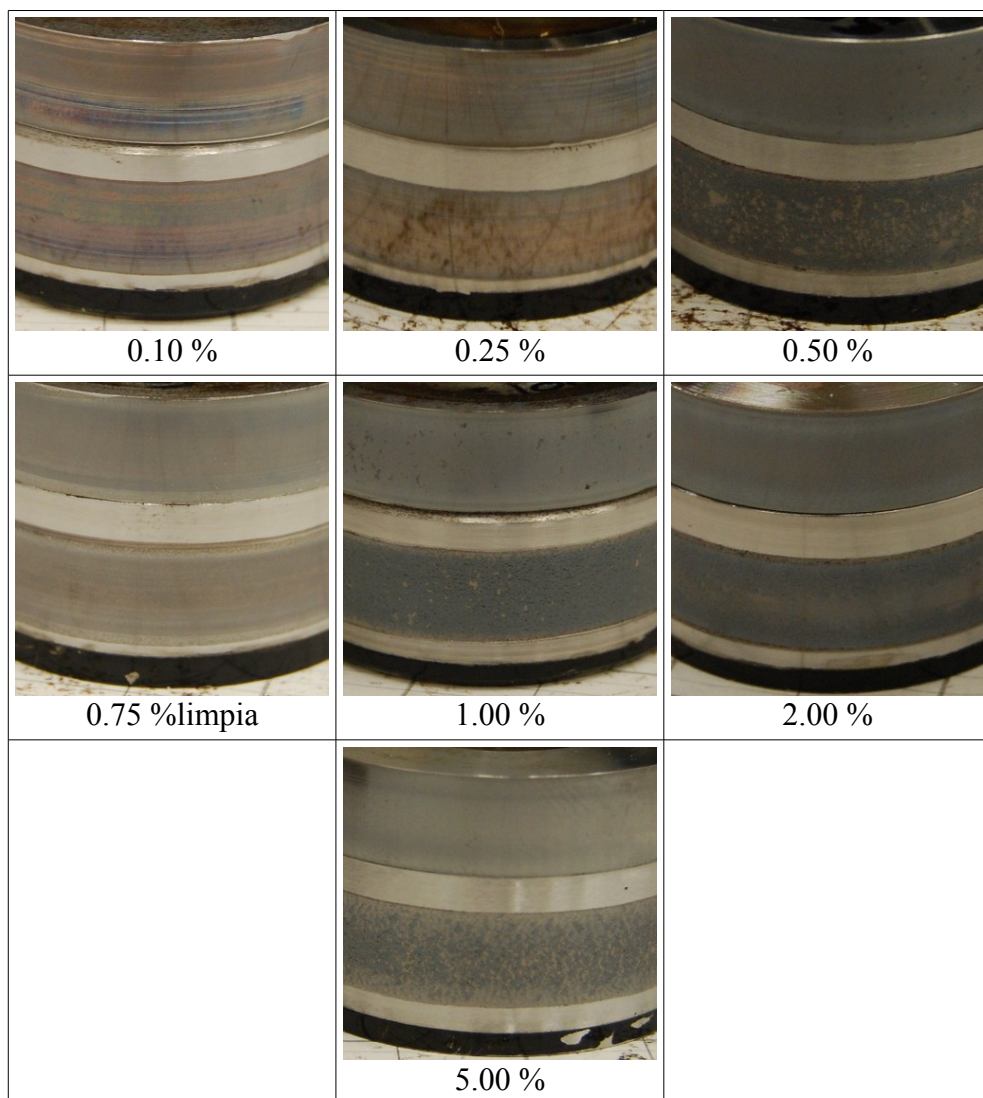


Figura A4.- Fotografías de los discos tras los ensayos entre los aceros C45 y C55 en seco con una presión máxima de 1383.7 MPa y deslizamientos del 0.10 al 5%.

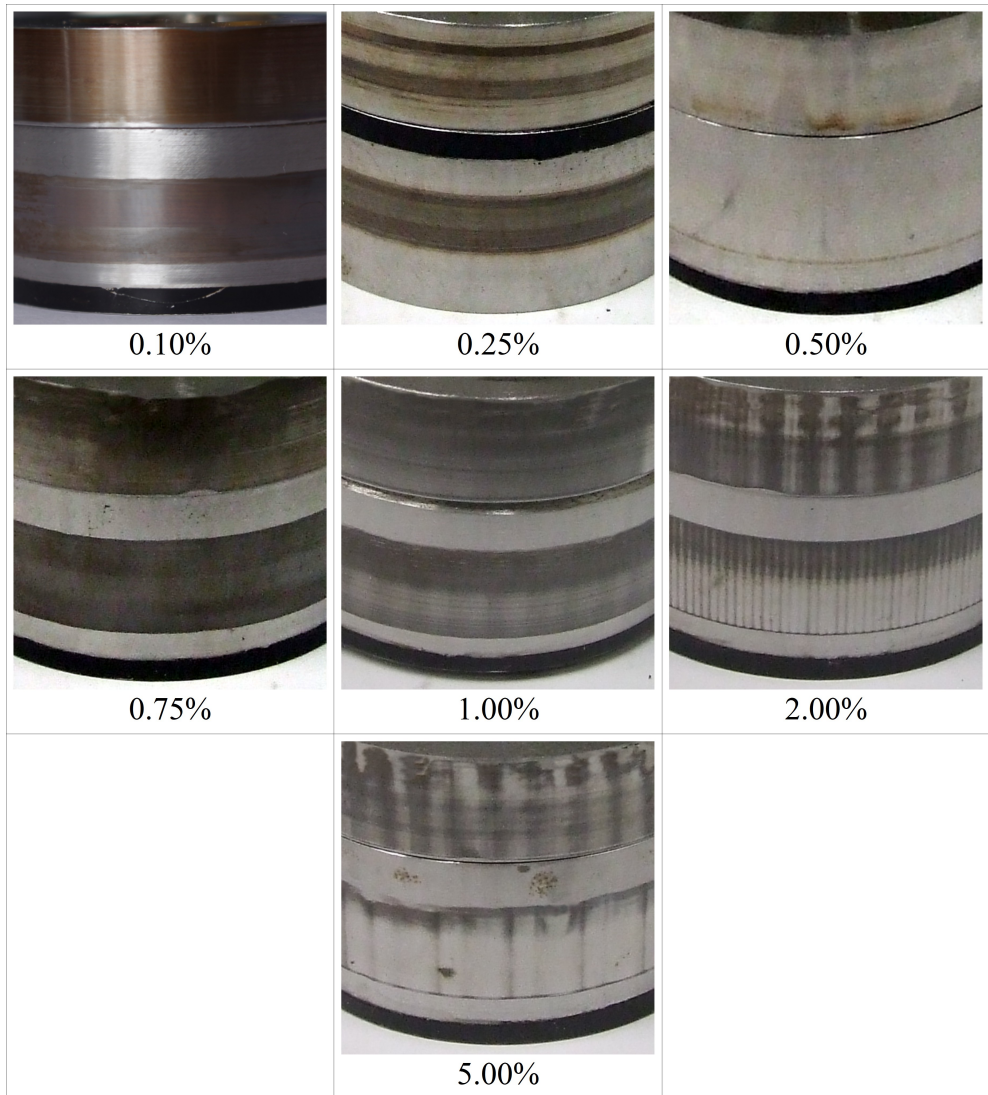


Figura A5.- Fotografías de los discos tras los ensayos entre los aceros C45 y C55 con agua con una presión máxima de 688.5 MPa y deslizamientos del 0.10 al 5%.

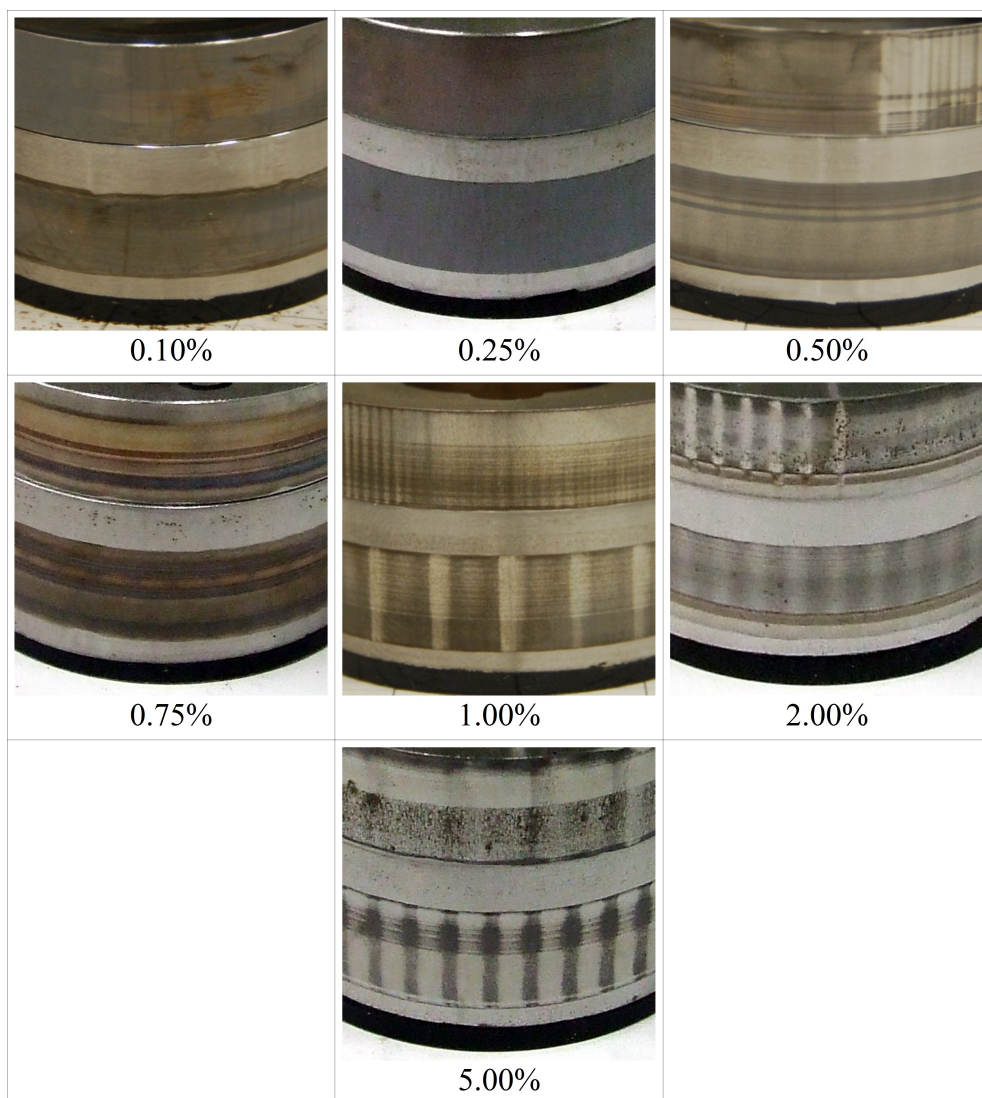


Figura A6.- Fotografías de los discos tras los ensayos entre los aceros C45 y C55 con agua con una presión máxima de 918.0 MPa y deslizamientos del 0.10 al 5%.

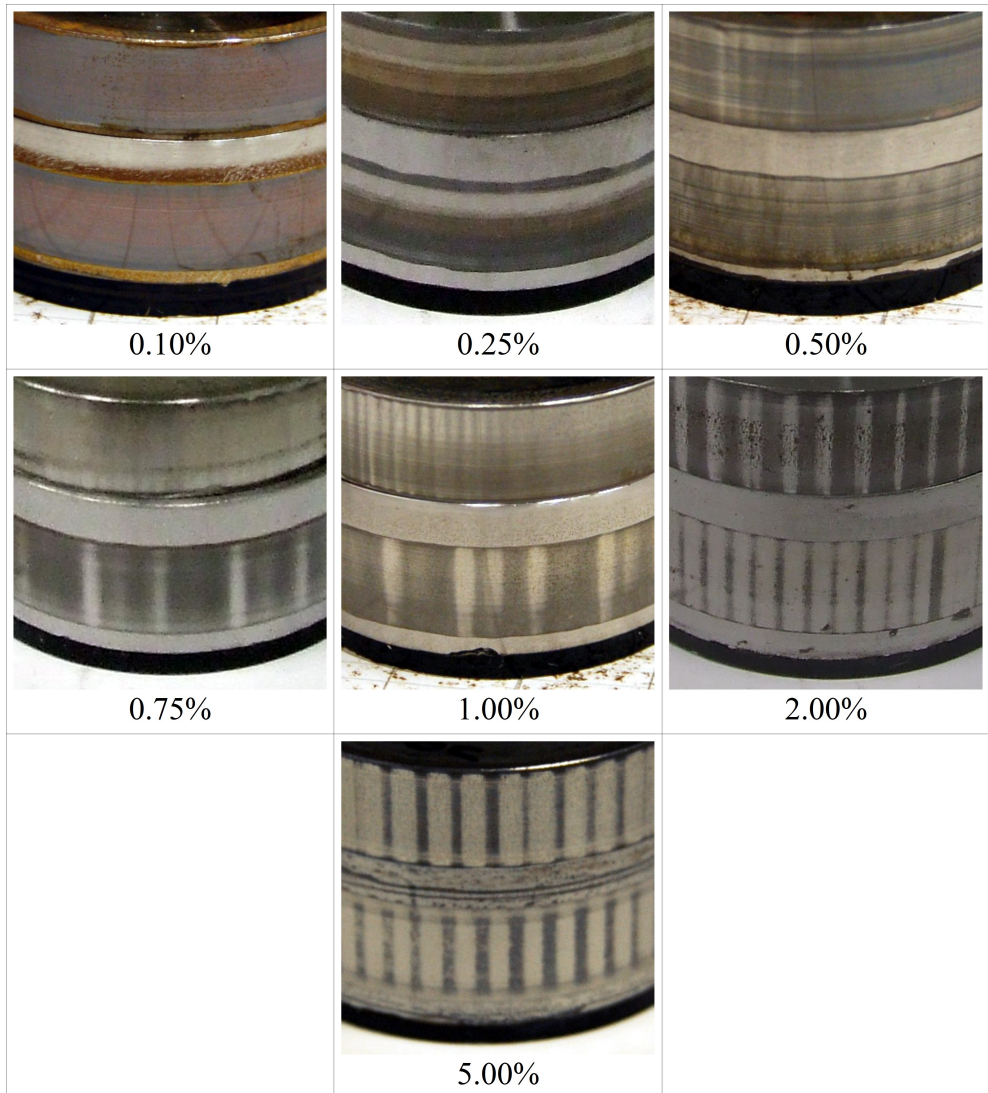


Figura A7.- Fotografías de los discos tras los ensayos entre los aceros C45 y C55 con agua con una presión máxima de 1147.5 MPa y deslizamientos del 0.10 al 5%.

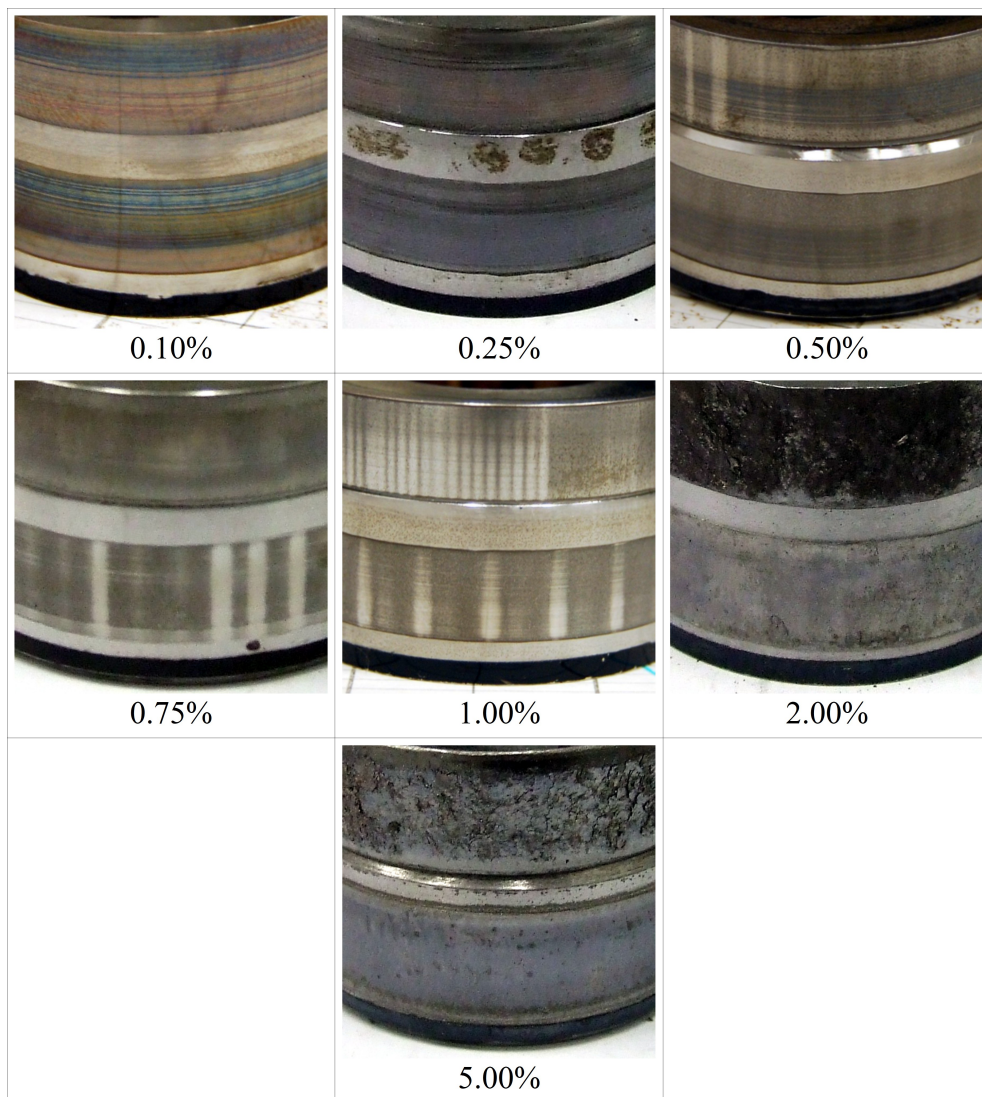


Figura A8.- Fotografías de los discos tras los ensayos entre los aceros C45 y C55 con agua con una presión máxima de 1383.7 MPa y deslizamientos del 0.10 al 5%.

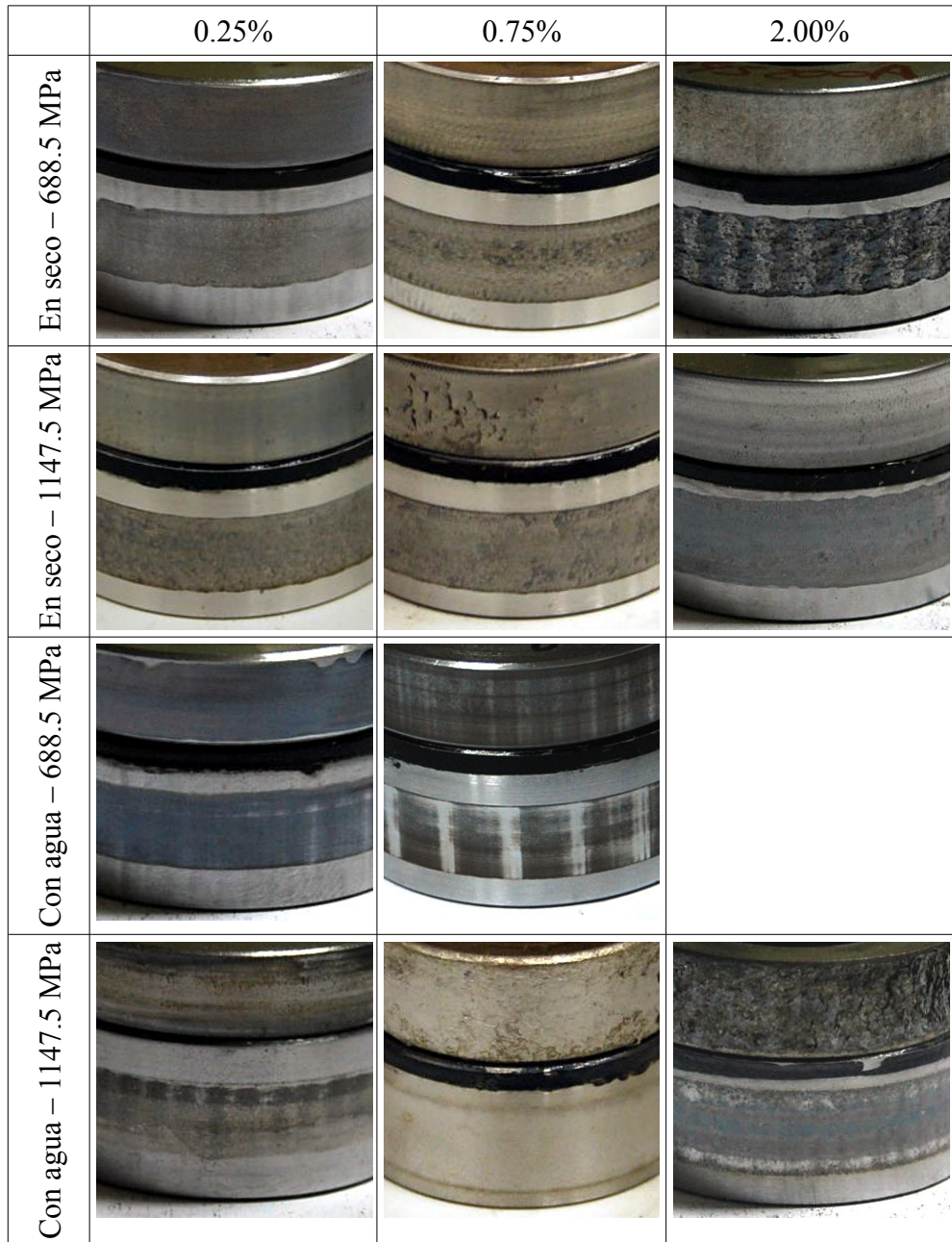


Figura A9.- Fotografías de los discos tras los ensayos entre los aceros bainítico (430HV) y C55 para las distintas presiones y deslizamientos probados.

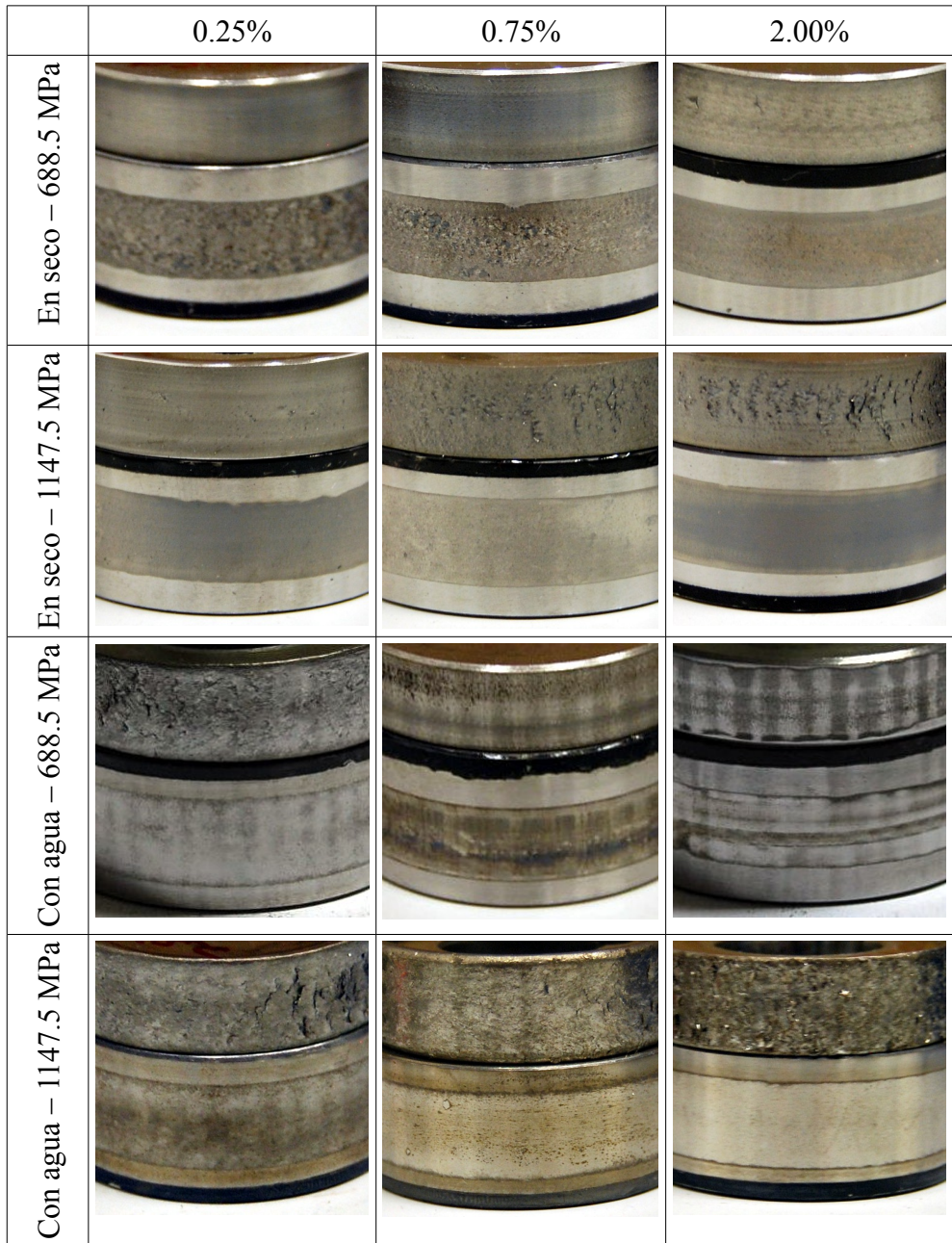


Figura A10.-Fotografías de los discos tras los ensayos entre los aceros bainítico (430HV) y C55 para las distintas presiones y deslizamientos probados.

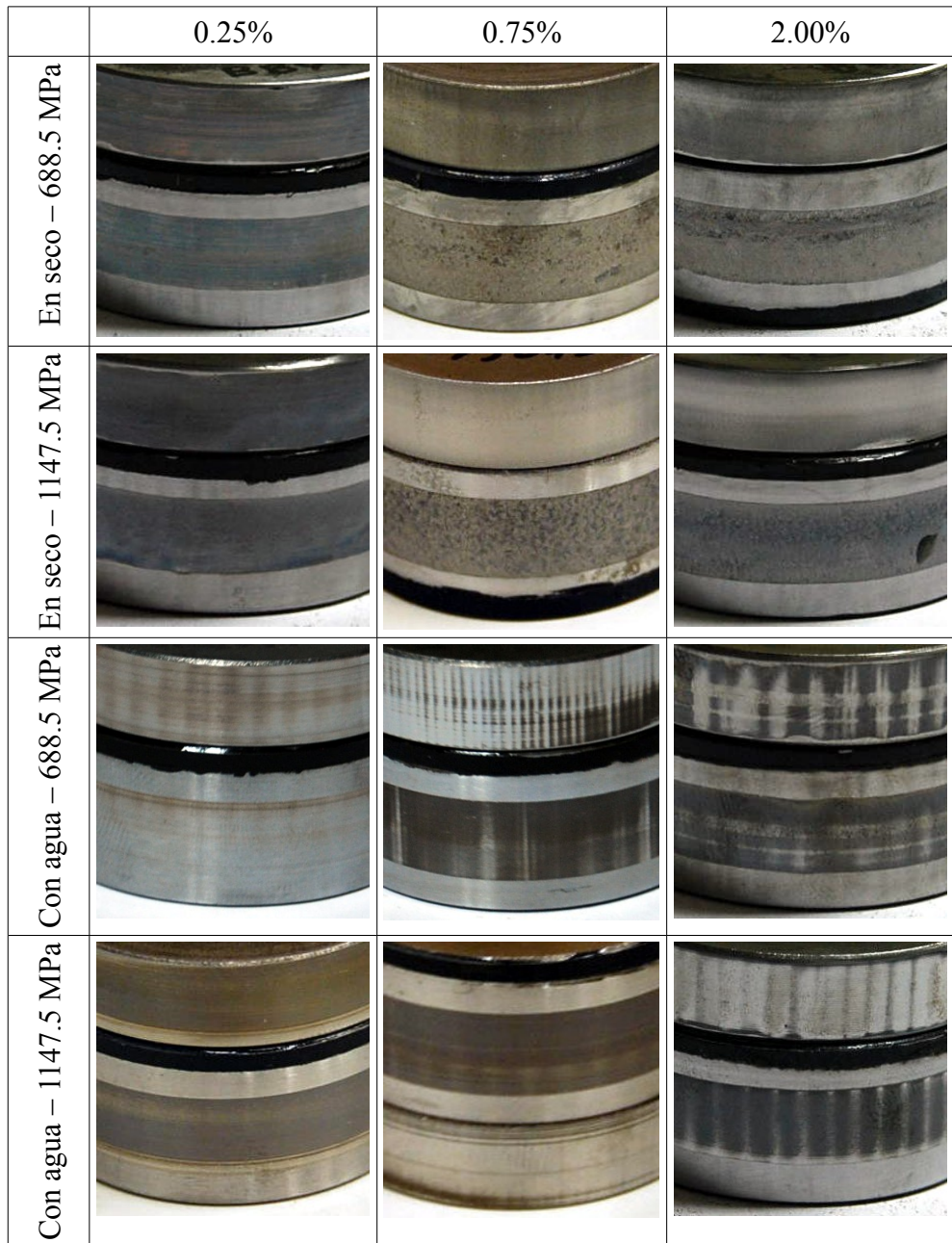


Figura A11.- Fotografías de los discos tras los ensayos entre dos aceros bainíticos de dureza 430HV para las distintas presiones y deslizamientos probados.

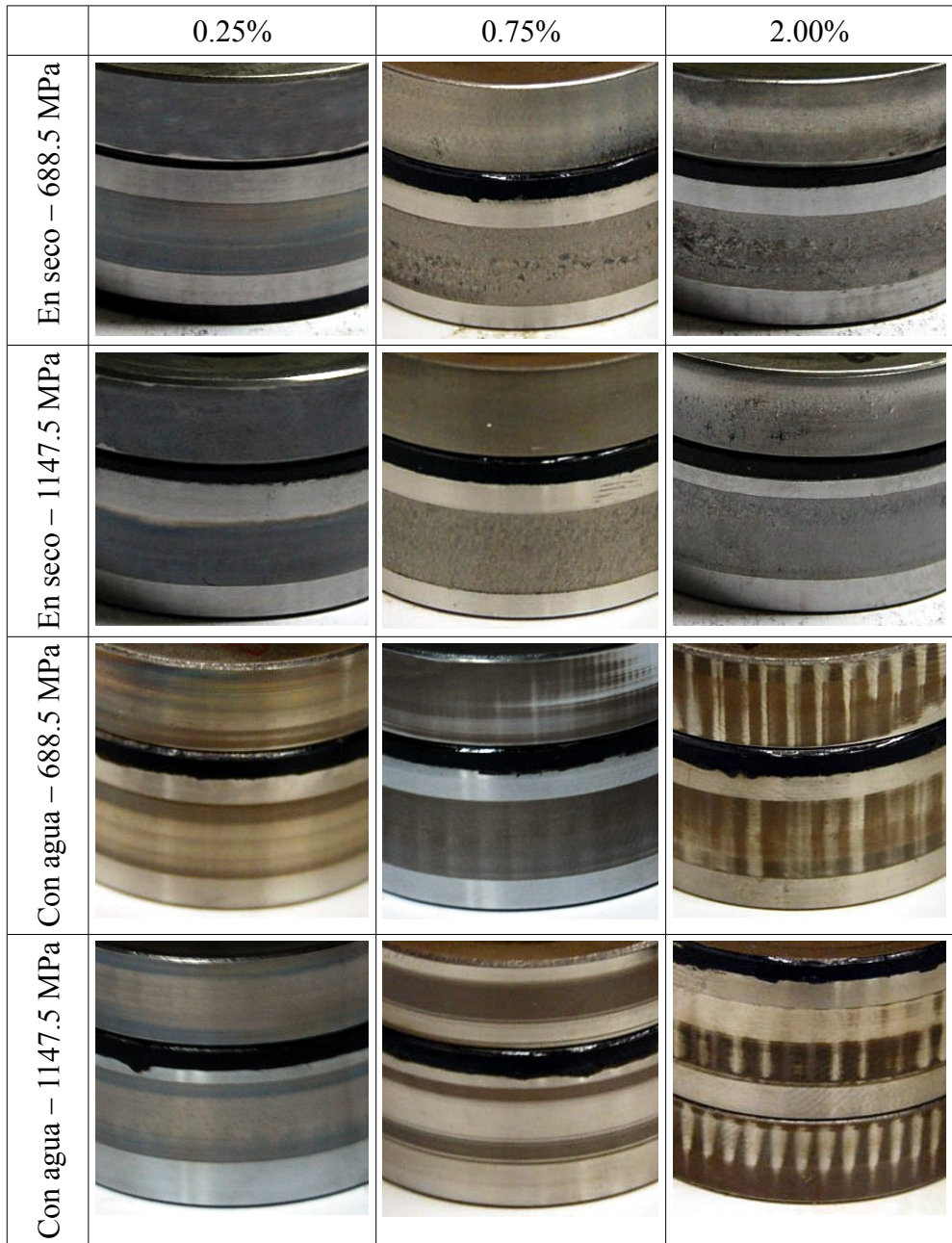


Figura A12,- Fotografías de los discos tras los ensayos entre dos aceros bainíticos de dureza 530HV para las distintas presiones y deslizamientos probados.

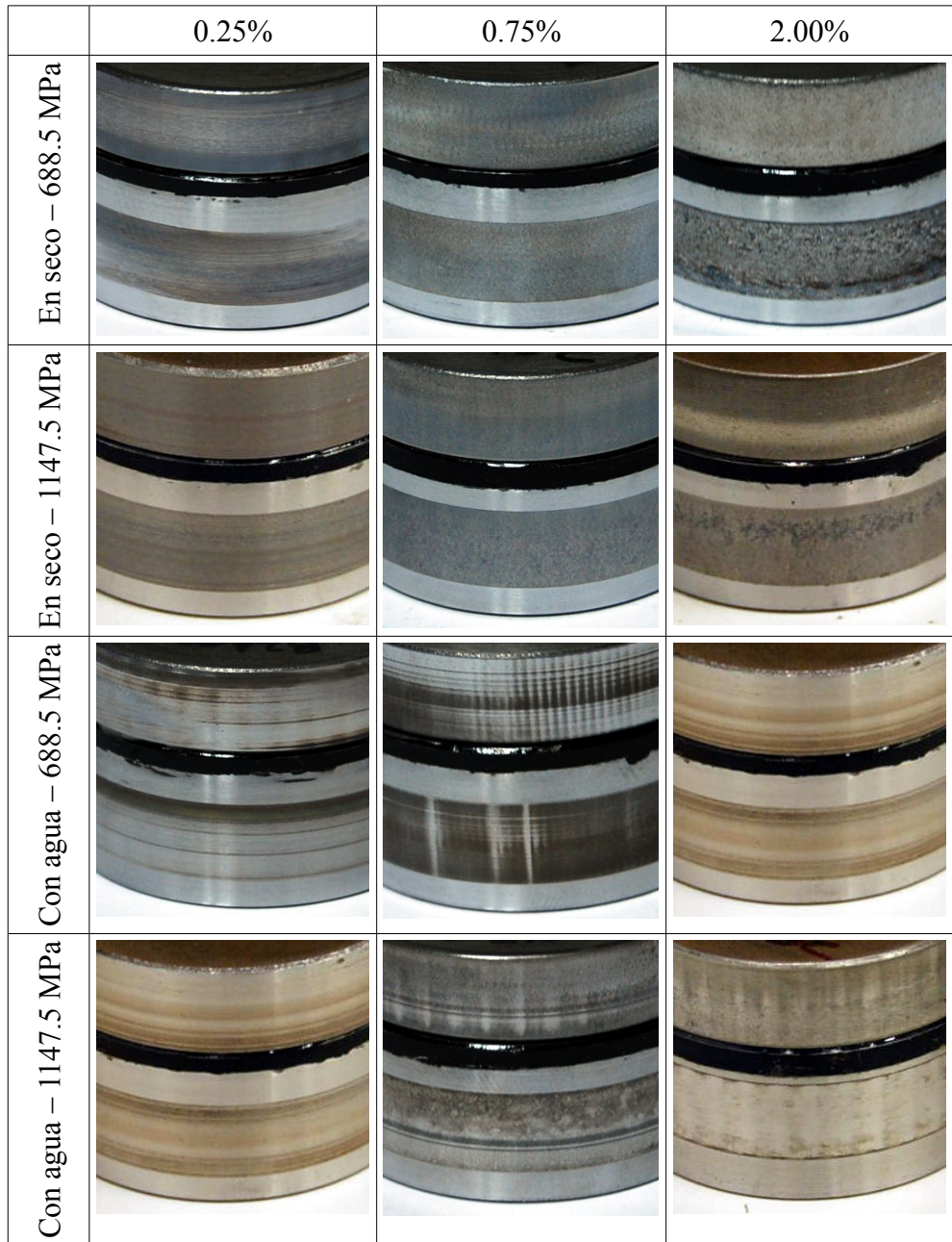


Figura A13.- Fotografías de los discos tras los ensayos entre dos aceros bainíticos de durezas 530 y 430HV para las distintas presiones y deslizamientos probados.

**ANEXO 3:
ASPECTO DE LOS DISCOS TRAS
LOS ENSAYOS (X100)**

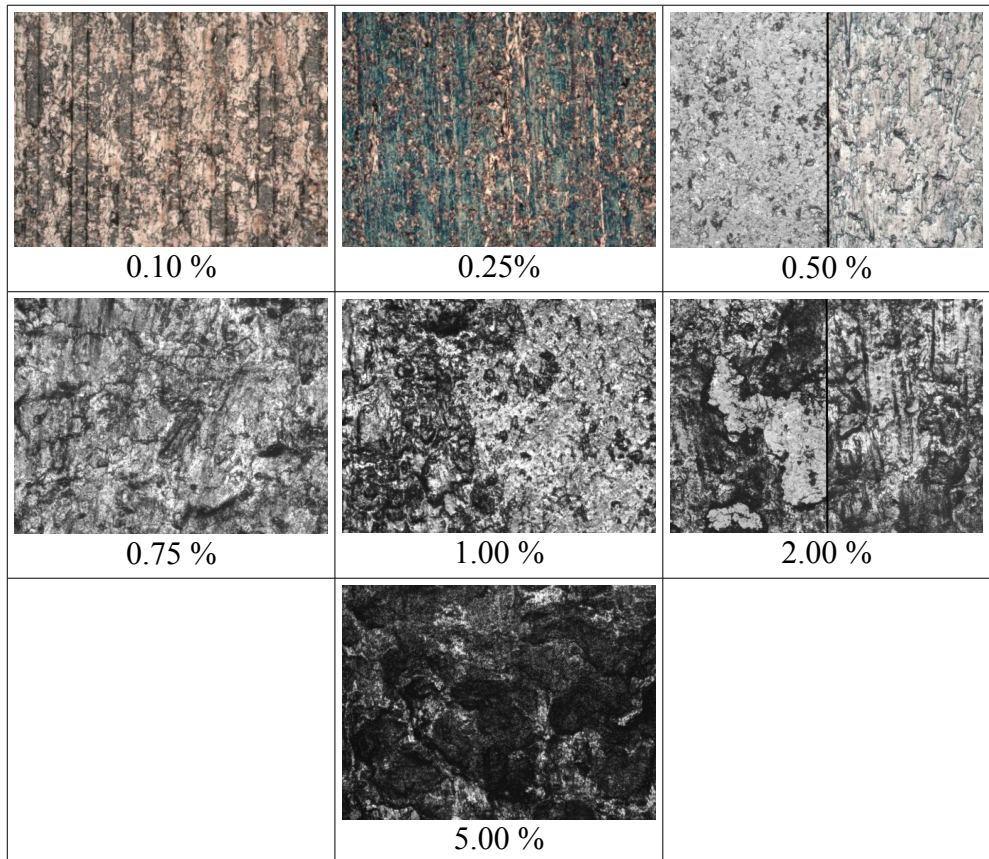


Figura 1.- Aspecto de la superficie de los discos anchos al microscopio óptico para los ensayos realizados con aceros C45 y C55 en seco y con una presión máxima de 688.5 MPa. (x100)

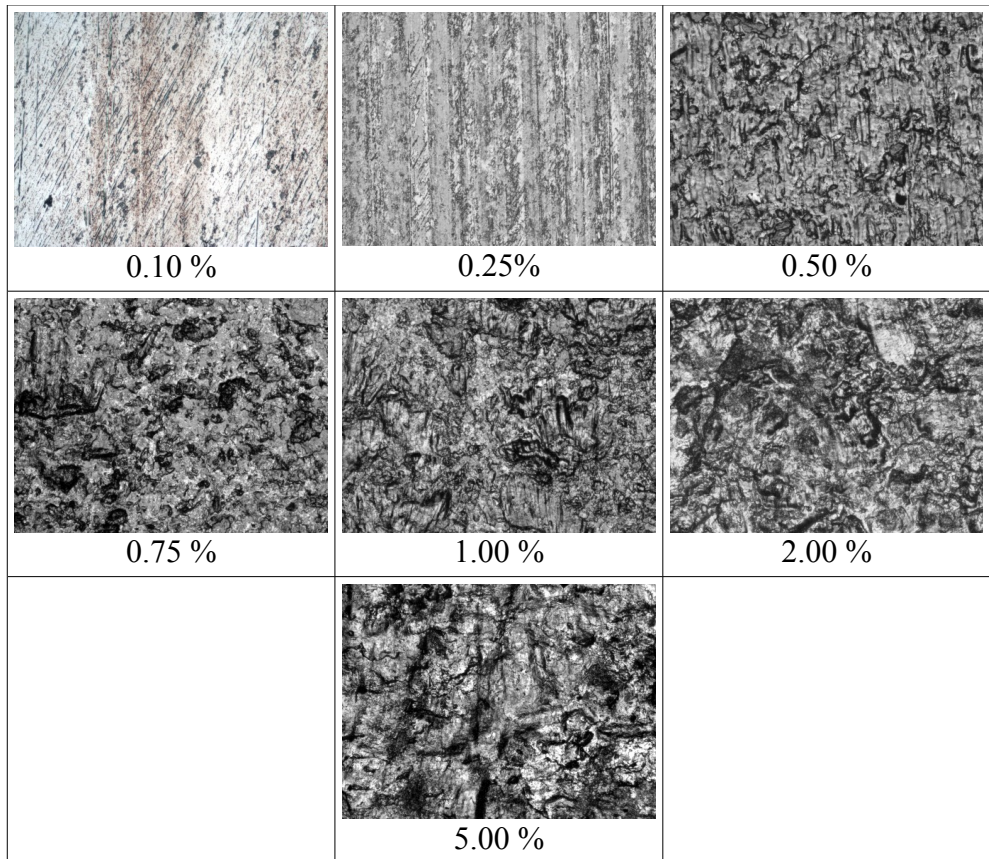


Figura 2.- Aspecto de la superficie de los discos anchos al microscopio óptico para los ensayos realizados con aceros C45 y C55 en seco y con una presión máxima de 918.0 MPa. (x100)

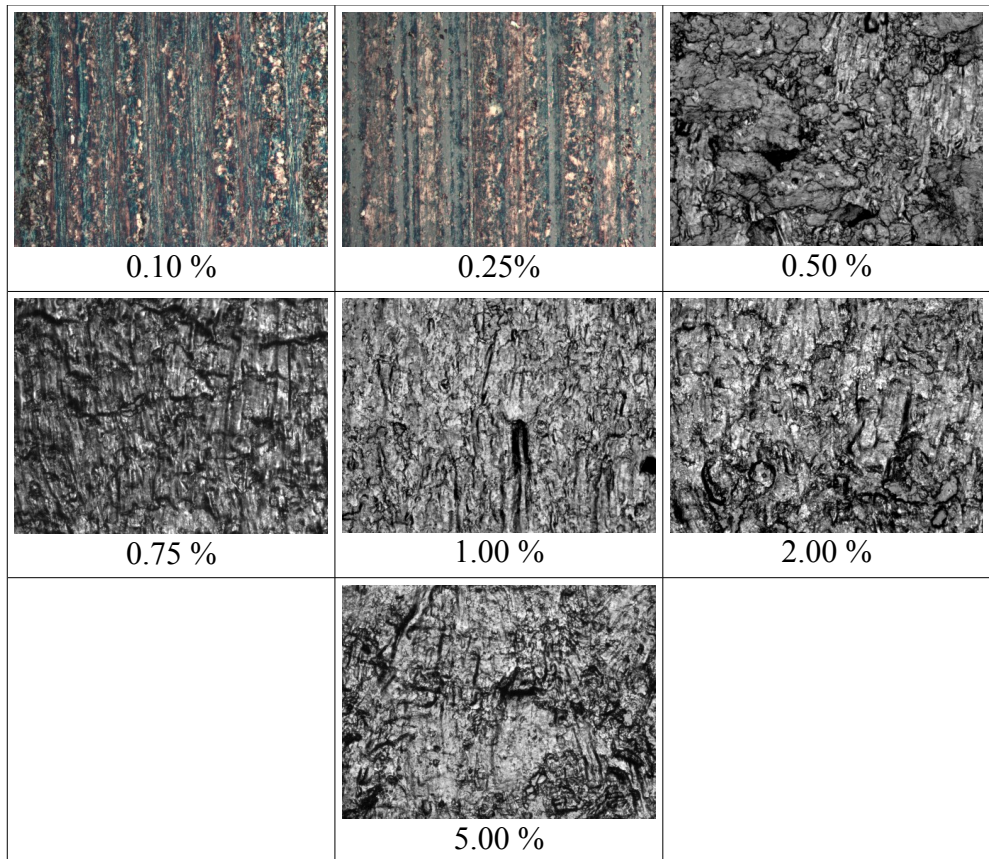


Figura 3.- Aspecto de la superficie de los discos anchos al microscopio óptico para los ensayos realizados con aceros C45 y C55 en seco y con una presión máxima de 1147.5 MPa. (x100)

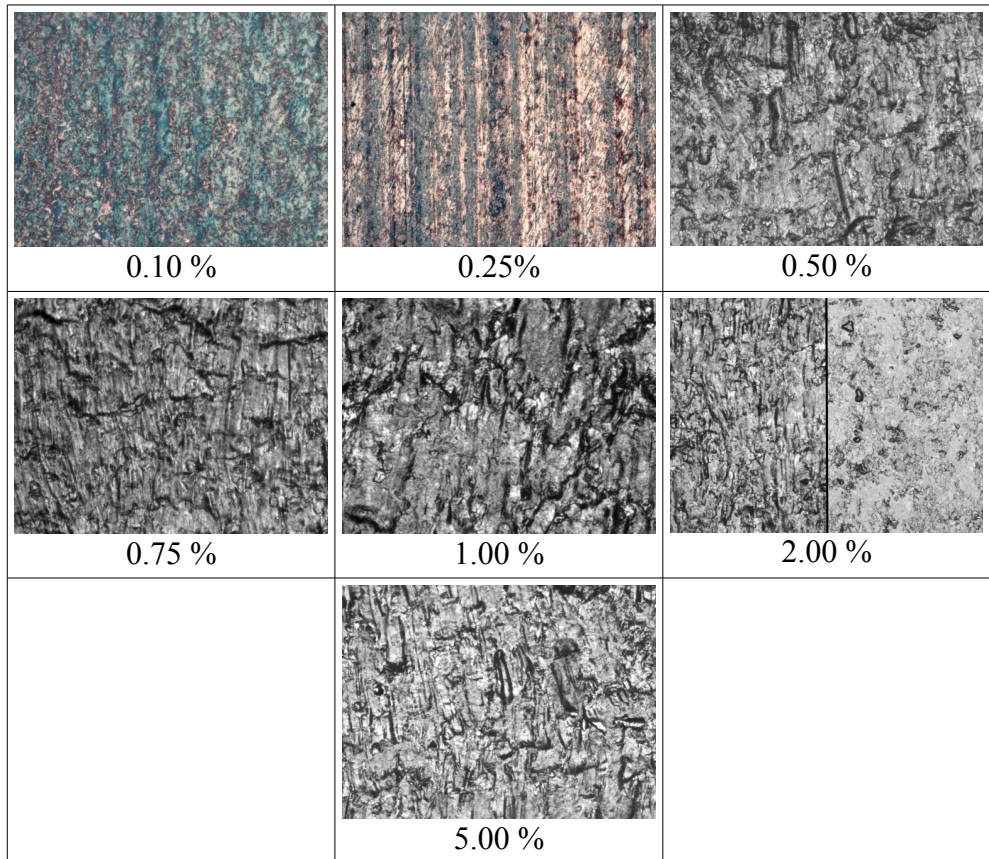


Figura 4.- Aspecto de la superficie de los discos anchos al microscopio óptico para los ensayos realizados con aceros C45 y C55 en seco y con una presión máxima de 1383.7 MPa. (x100)

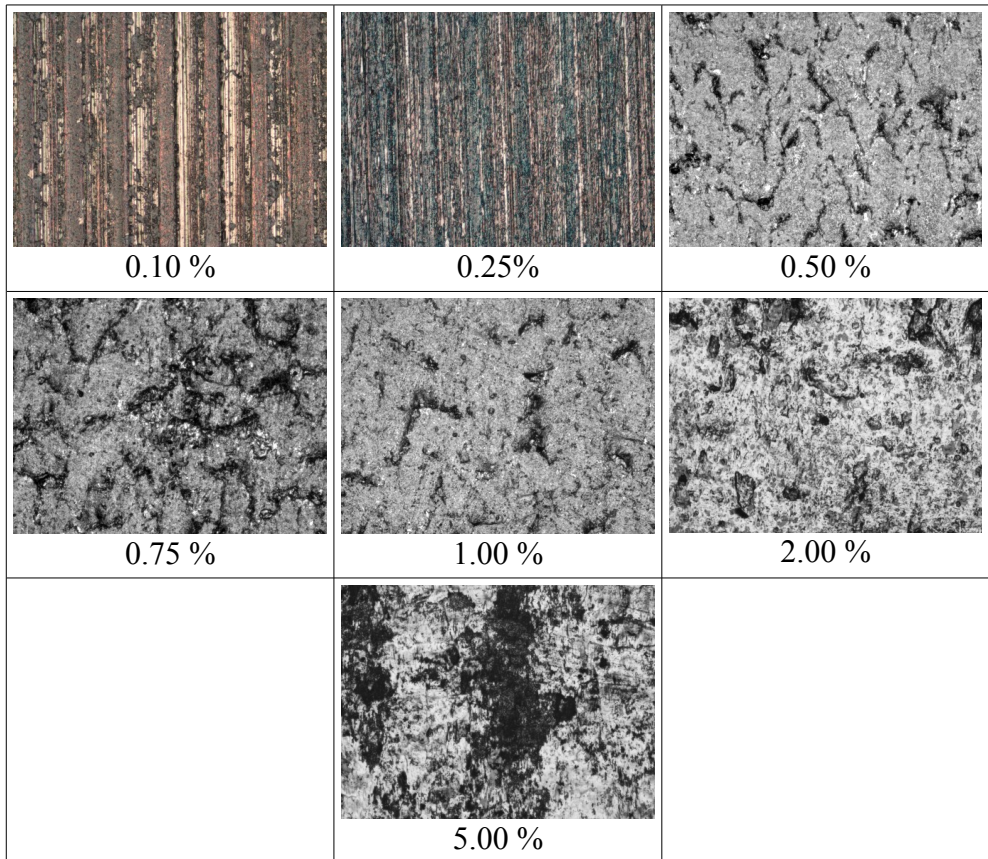


Figura 5.- Aspecto de la superficie de los discos estrechos al microscopio óptico para los ensayos realizados con aceros C45 y C55 en seco y con una presión máxima de 688.5 MPa. (x100)

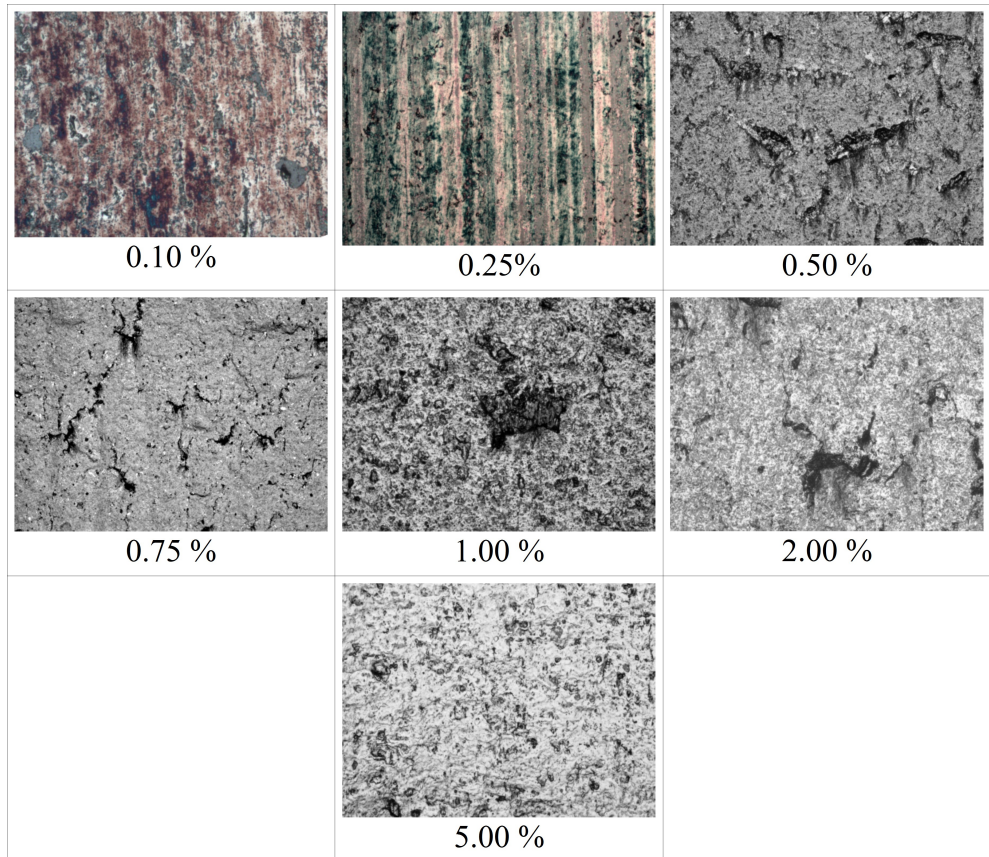


Figura 6.-Aspecto de la superficie de los discos estrechos al microscopio óptico para los ensayos realizados con aceros C45 y C55 en seco y con una presión máxima de 918.0 MPa. (x100)

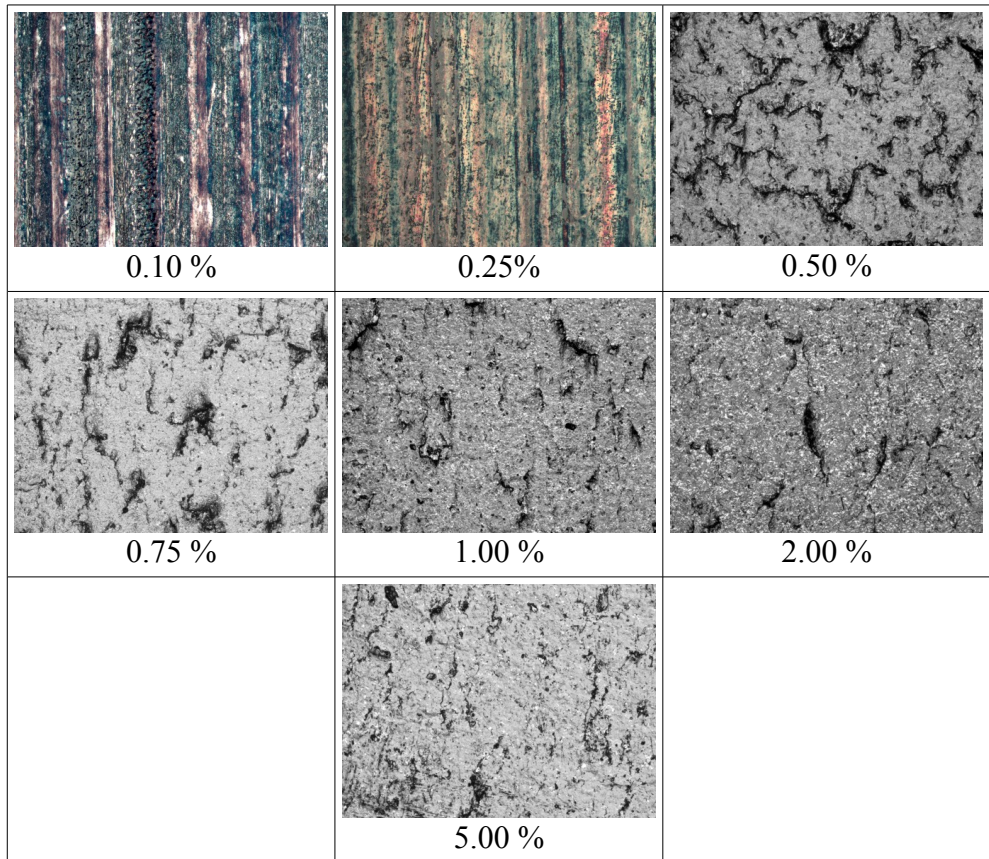


Figura 7.- Aspecto de la superficie de los discos estrechos al microscopio óptico para los ensayos realizados con aceros C45 y C55 en seco y con una presión máxima de 1147.5 MPa. (x100)

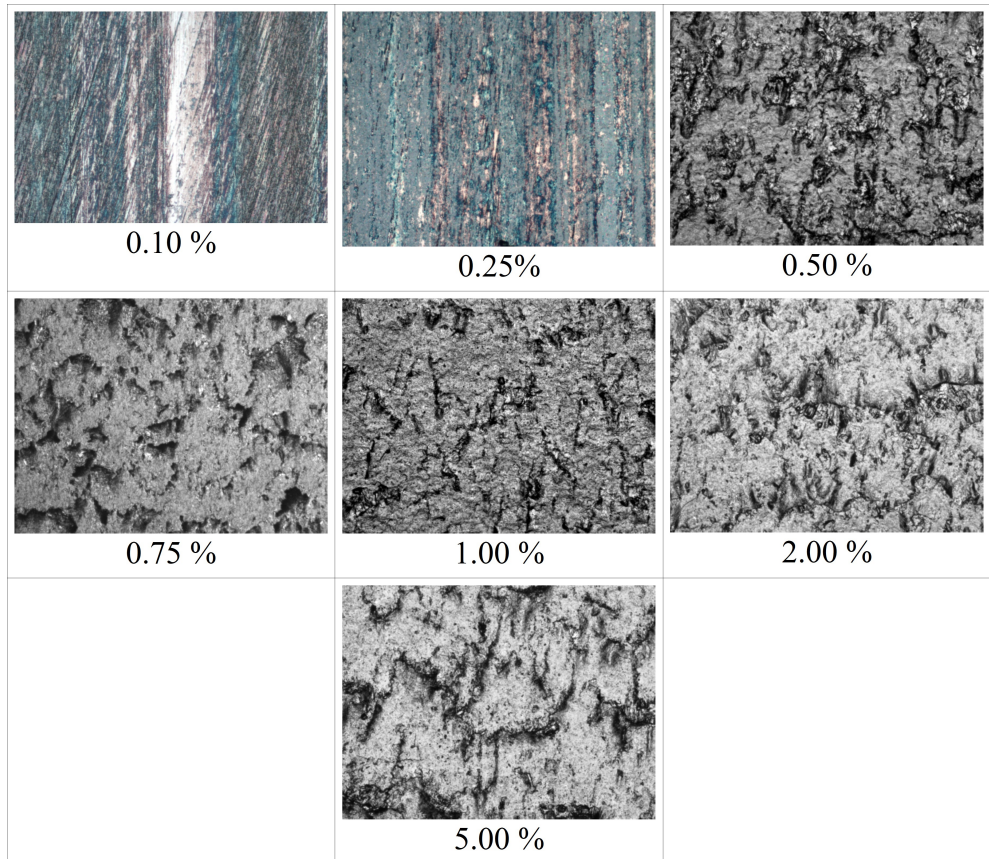


Figura 8.- Aspecto de la superficie de los discos estrechos al microscopio óptico para los ensayos realizados con aceros C45 y C55 en seco y con una presión máxima de 1383.7 MPa. (x100)

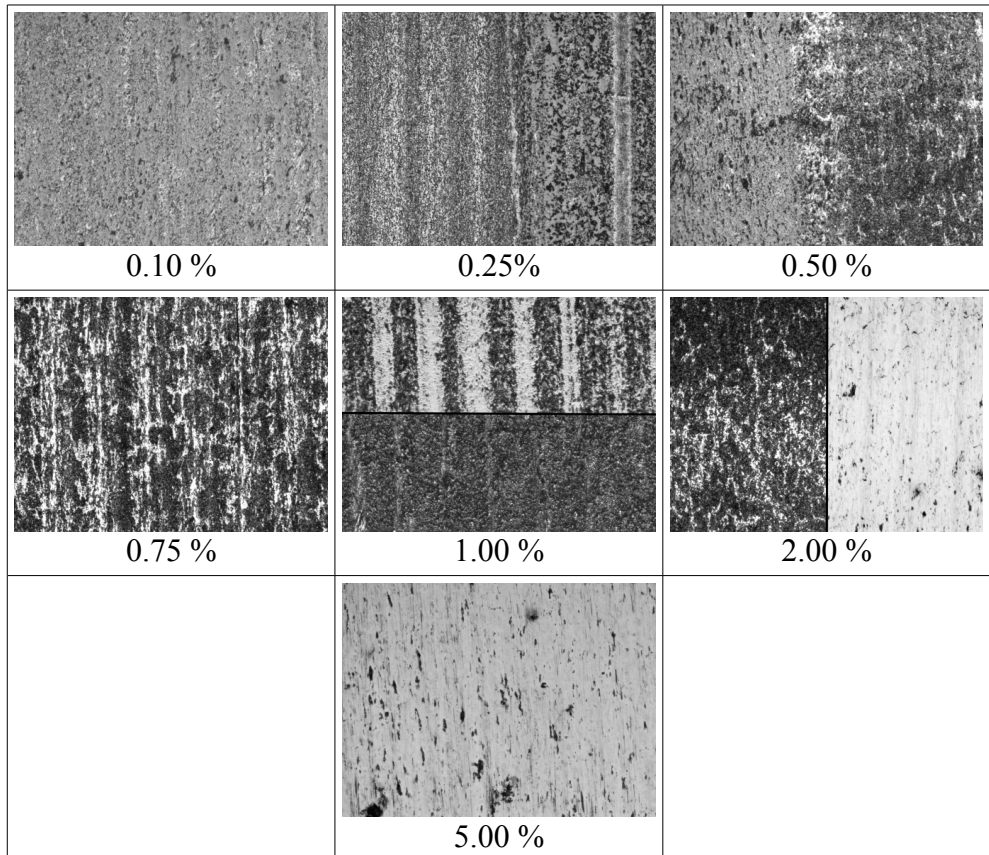


Figura 9.- Aspecto de la superficie de los discos anchos al microscopio óptico para los ensayos realizados con aceros C45 y C55 con agua y una presión máxima de 688.5 MPa. (x100)

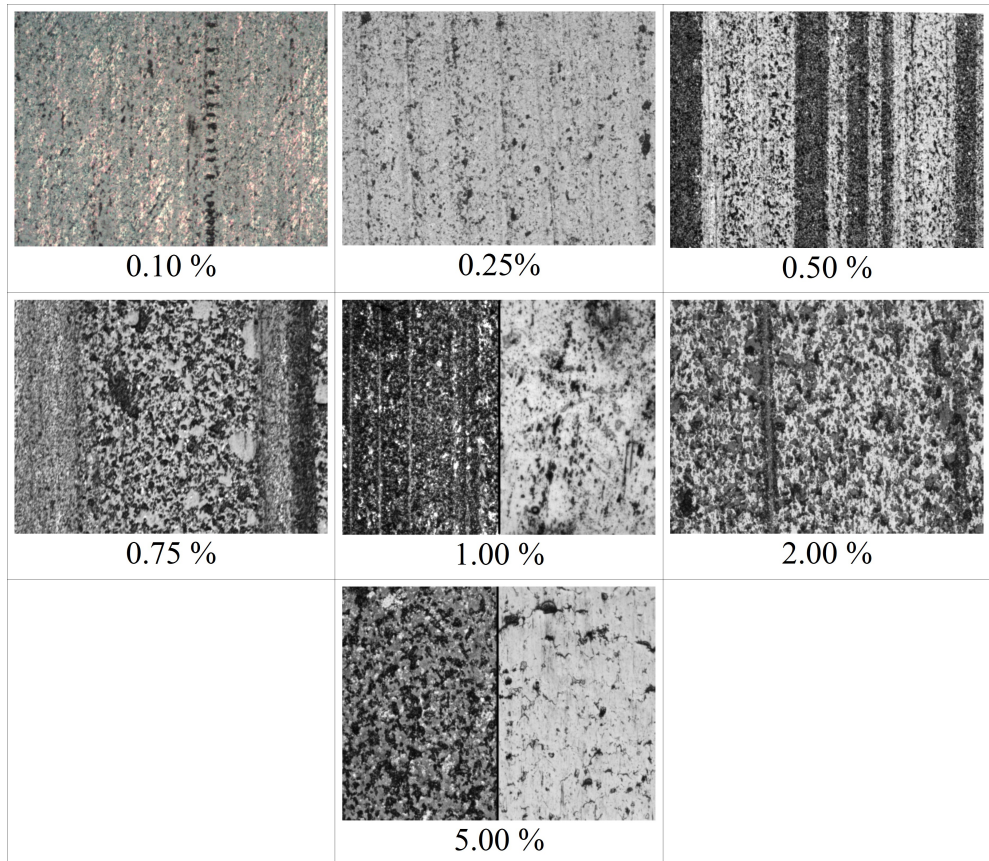


Figura 10.- Aspecto de la superficie de los discos anchos al microscopio óptico para los ensayos realizados con aceros C45 y C55 con agua y una presión máxima de 918.0 MPa. (x100)

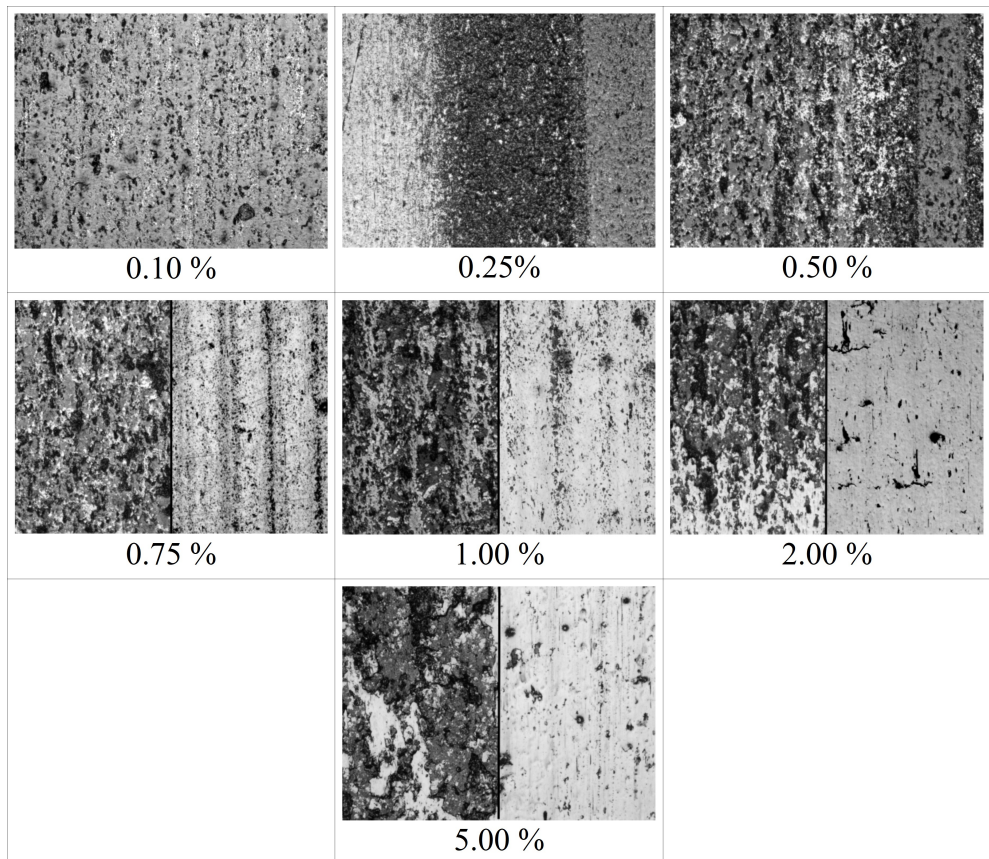


Figura 11.- Aspecto de la superficie de los discos anchos al microscopio óptico para los ensayos realizados con aceros C45 y C55 con agua y una presión máxima de 1147.5 MPa. (x100)

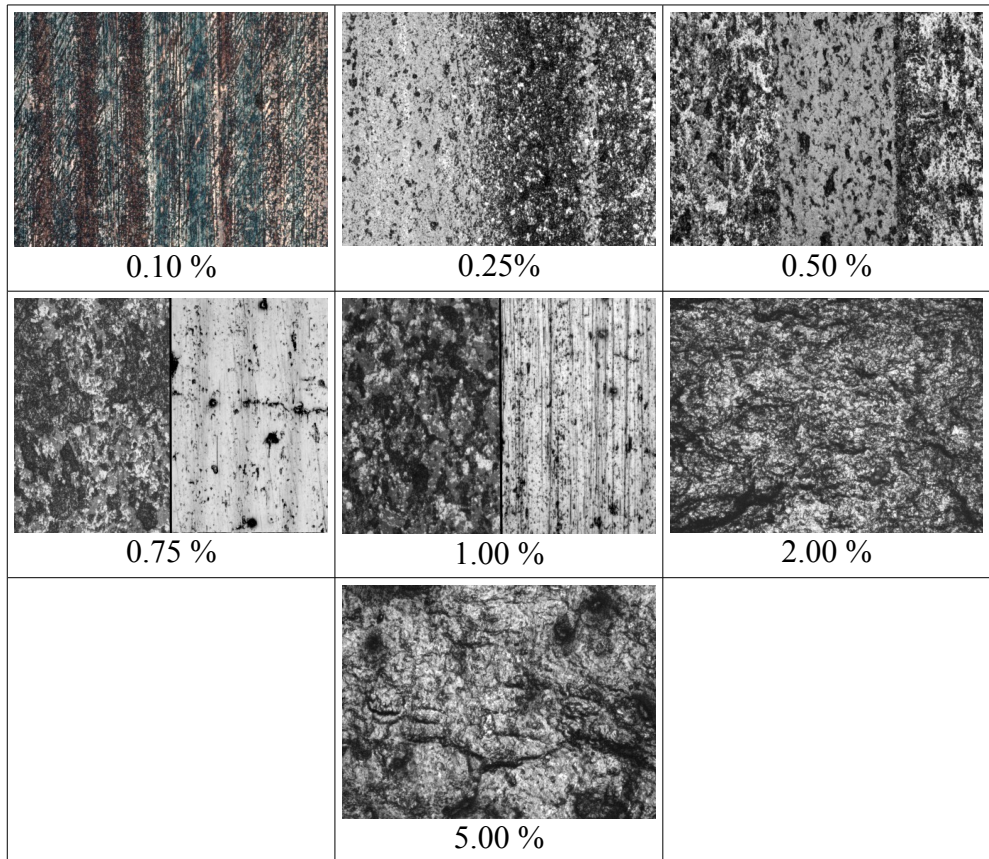


Figura 12.- Aspecto de la superficie de los discos anchos al microscopio óptico para los ensayos realizados con aceros C45 y C55 con agua y una presión máxima de 1383.7 MPa. (x100)

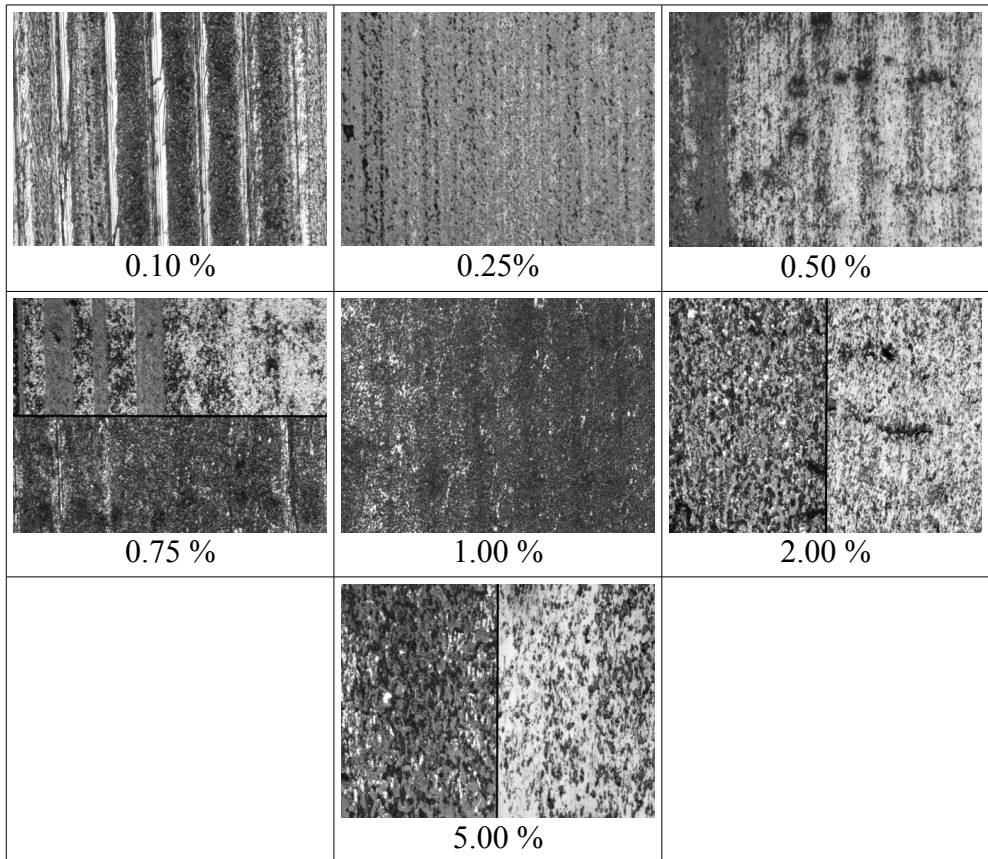


Figura 13.- Aspecto de la superficie de los discos estrechos al microscopio óptico para los ensayos realizados con aceros C45 y C55 con agua y una presión máxima de 688.5 MPa. (x100)

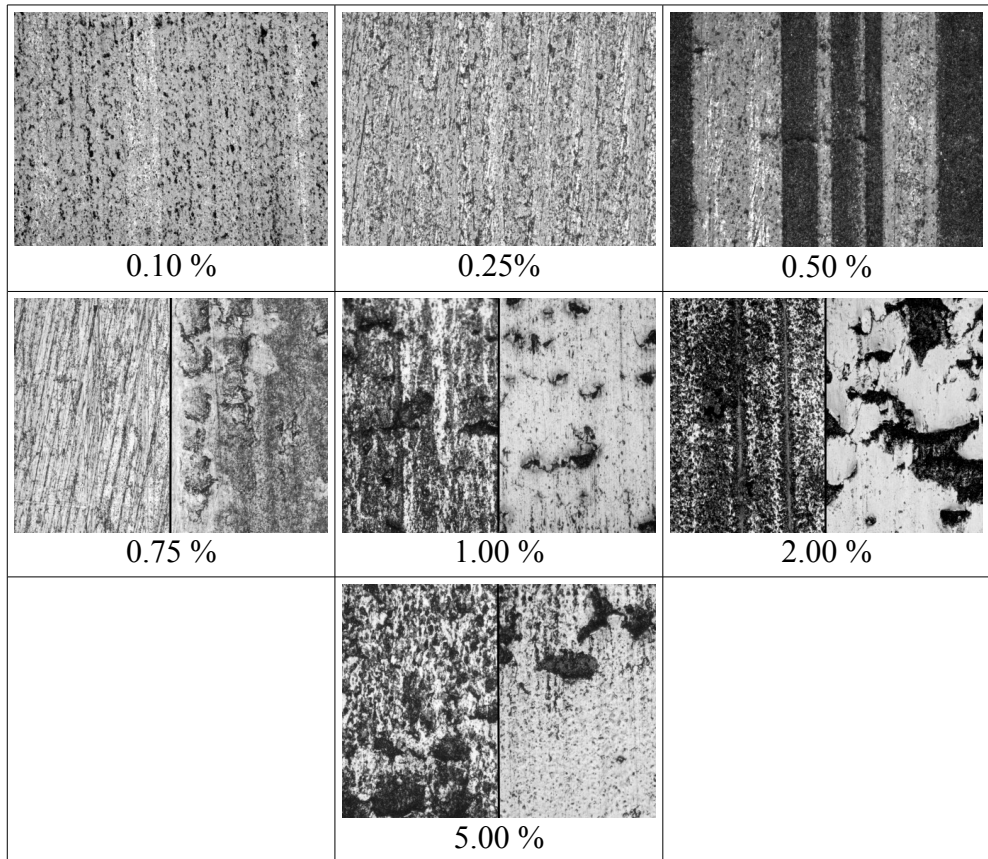


Figura 14.- Aspecto de la superficie de los discos estrechos al microscopio óptico para los ensayos realizados con aceros C45 y C55 con agua y una presión máxima de 918.0 MPa. (x100)

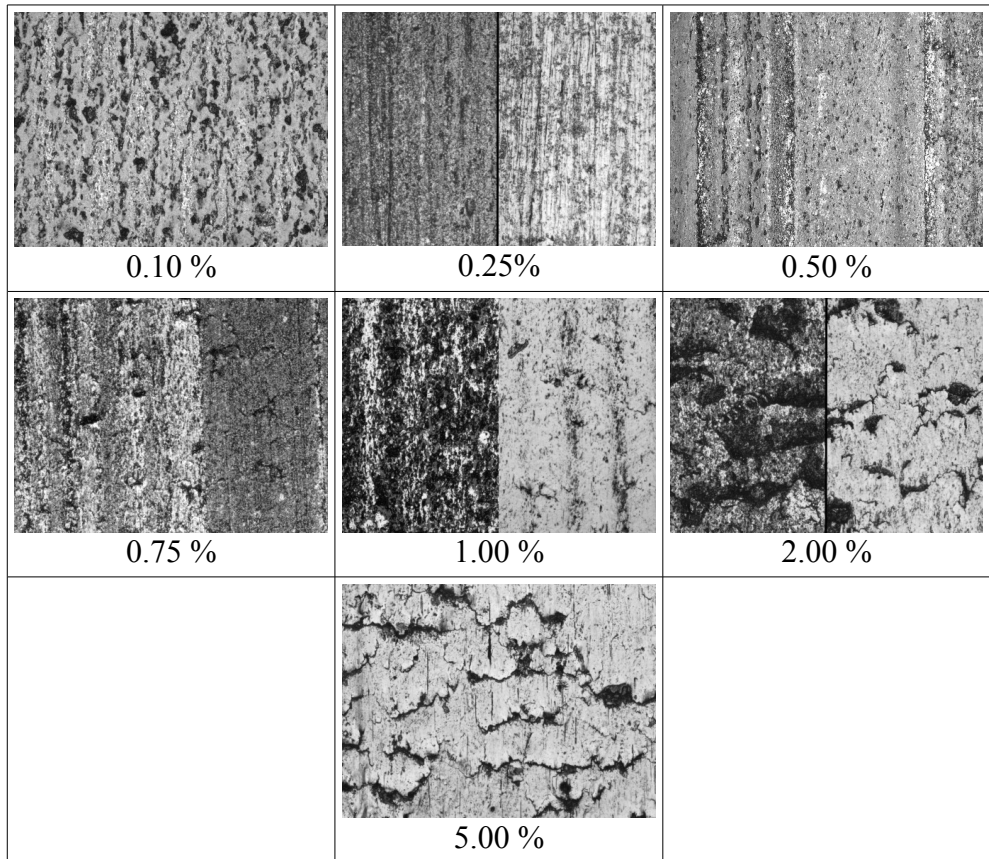


Figura 15.- Aspecto de la superficie de los discos estrechos al microscopio óptico para los ensayos realizados con aceros C45 y C55 con agua y una presión máxima de 1147.5 MPa. (x100)

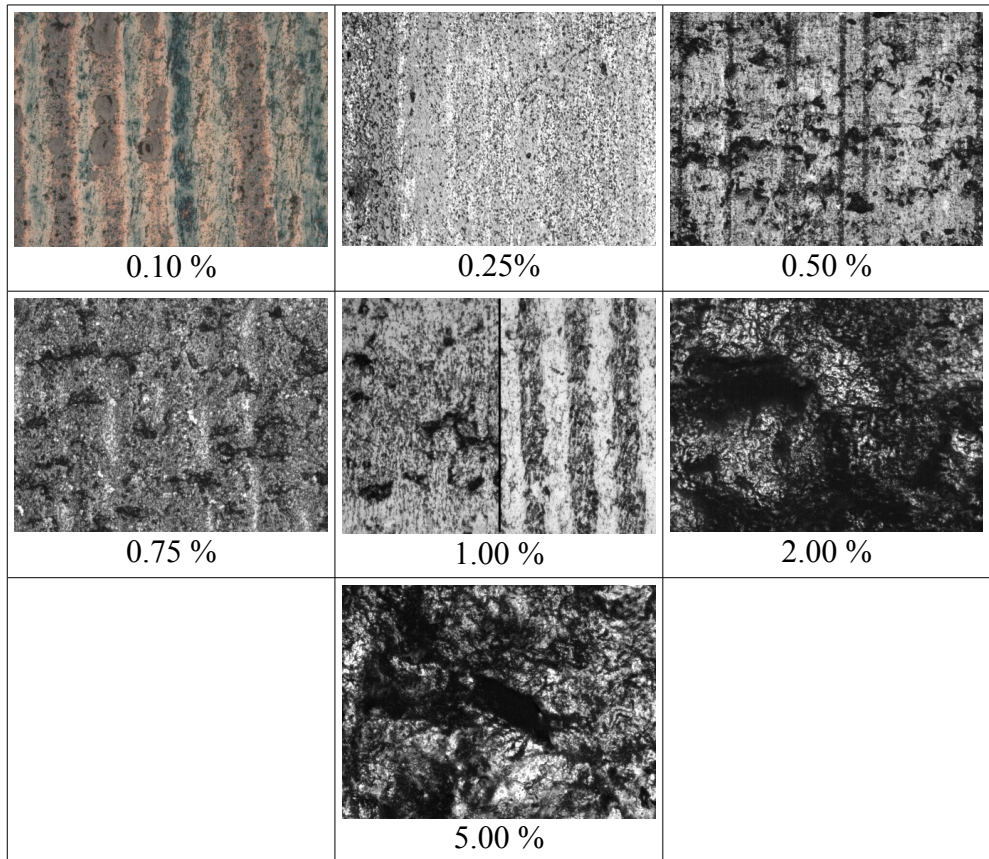


Figura 16.- Aspecto de la superficie de los discos estrechos al microscopio óptico para los ensayos realizados con aceros C45 y C55 con agua y una presión máxima de 1383.7 MPa. (x100)

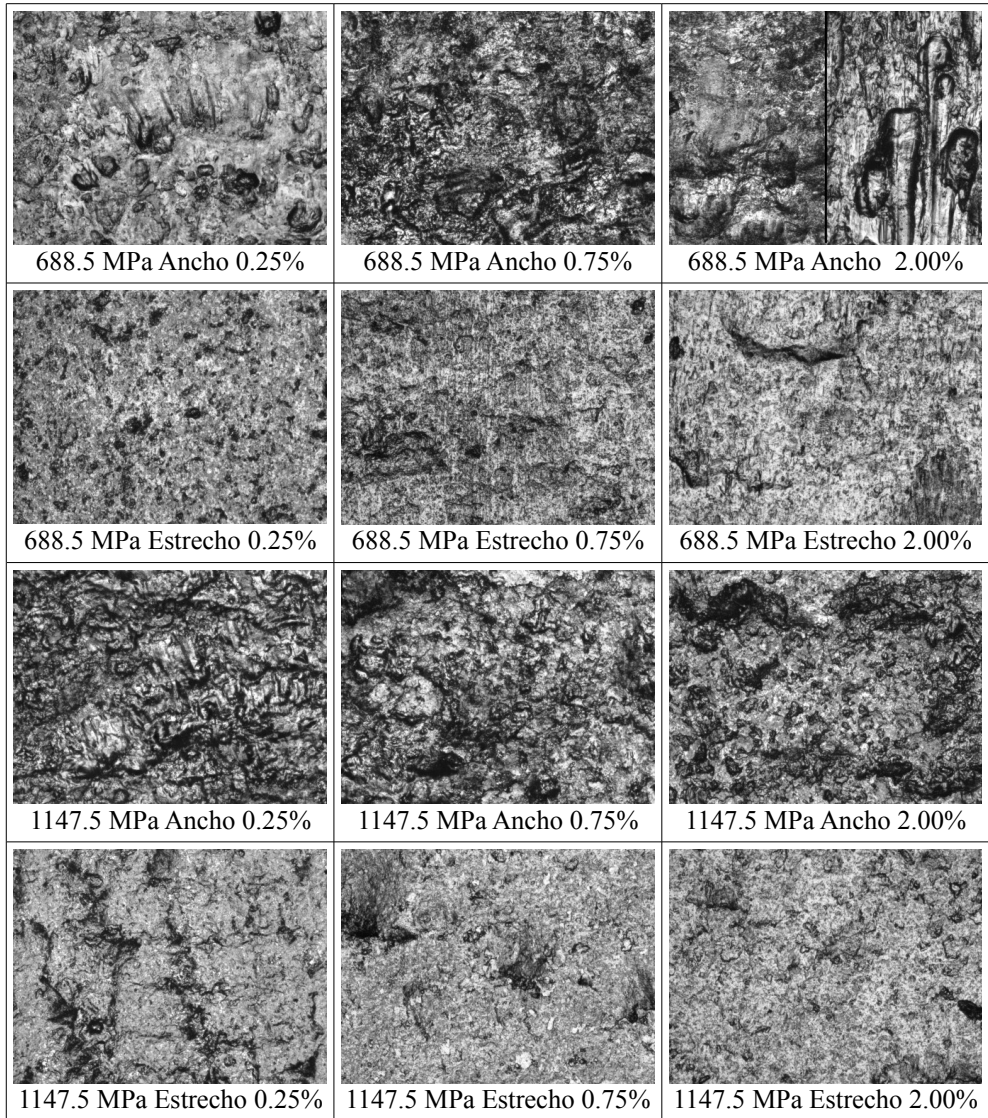


Figura 17.- Aspecto de la superficie de los discos anchos y estrechos al microscopio óptico para los ensayos realizados entre un acero bainítico (430HV) y el acero al carbono C55 en seco para las distintas presiones y deslizamientos probados (x100)

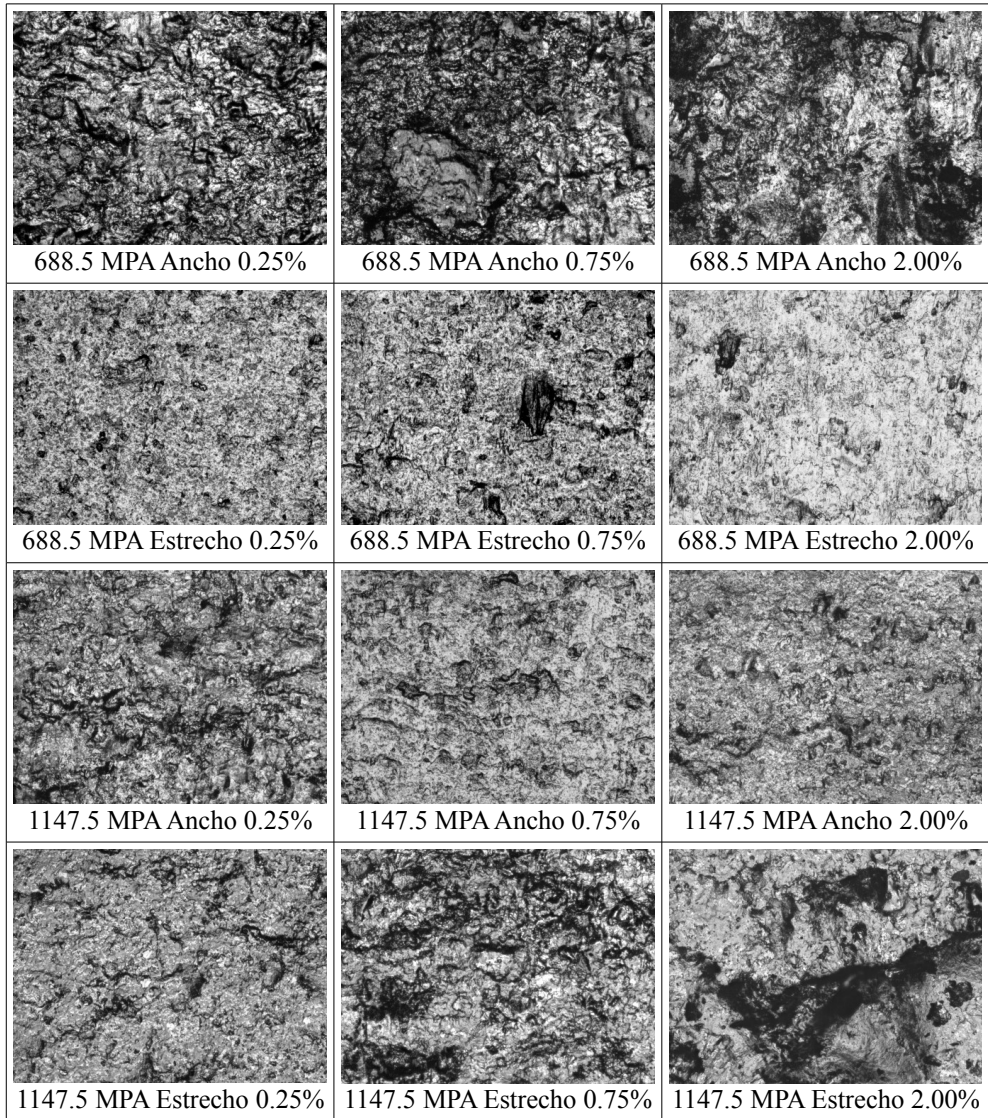


Figura 18.- Aspecto de la superficie de los discos anchos y estrechos estrechos al microscopio óptico para los ensayos realizados entre un acero bainítico (530HV) y el acero al carbono C55 en seco para las distintas presiones y deslizamientos probados (x100)

Anexo 3: Aspecto de los discos tras los ensayos (x100)

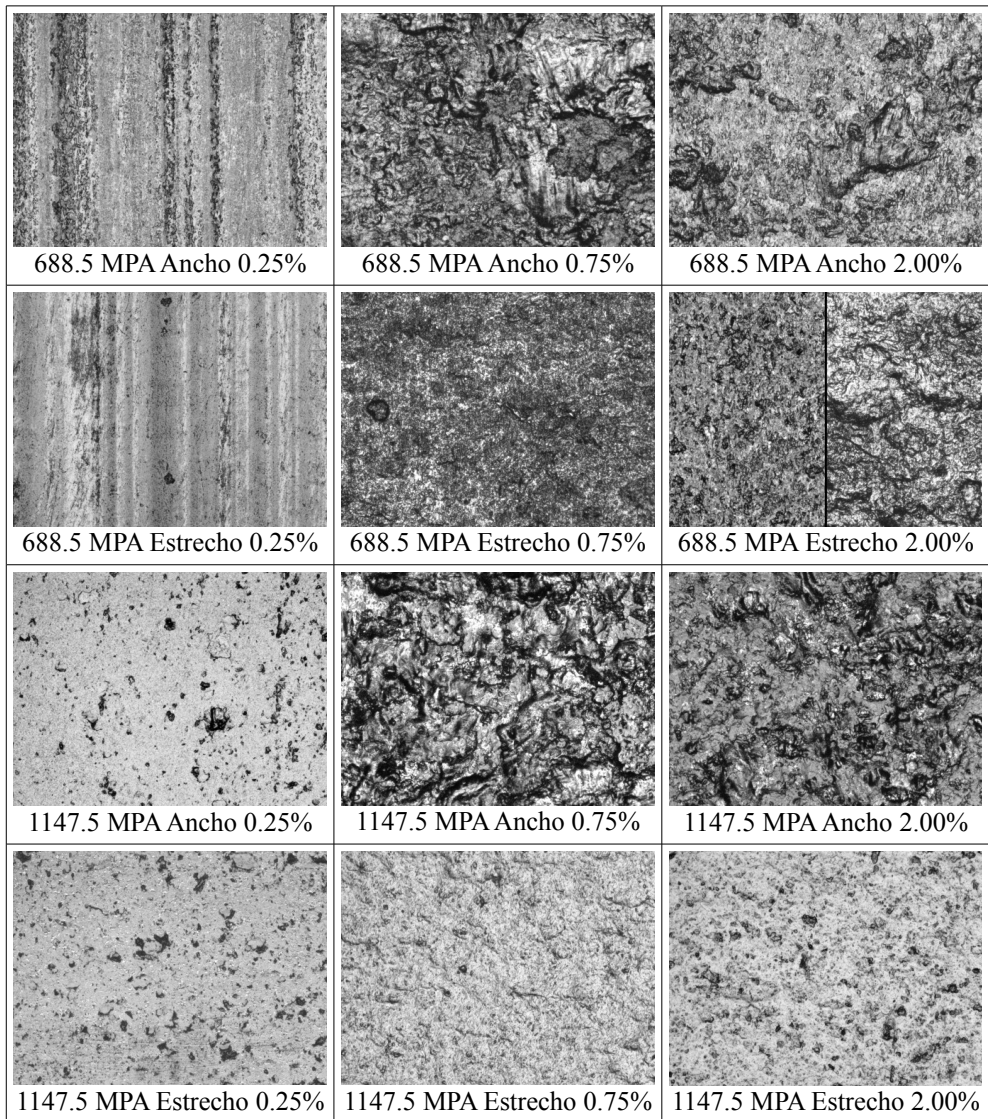


Figura 19.- Aspecto de la superficie de los discos anchos y estrechos estrechos al microscopio óptico para los ensayos realizados entre dos aceros bainíticos de 430 HV en seco para las distintas presiones y deslizamientos probados (x100)

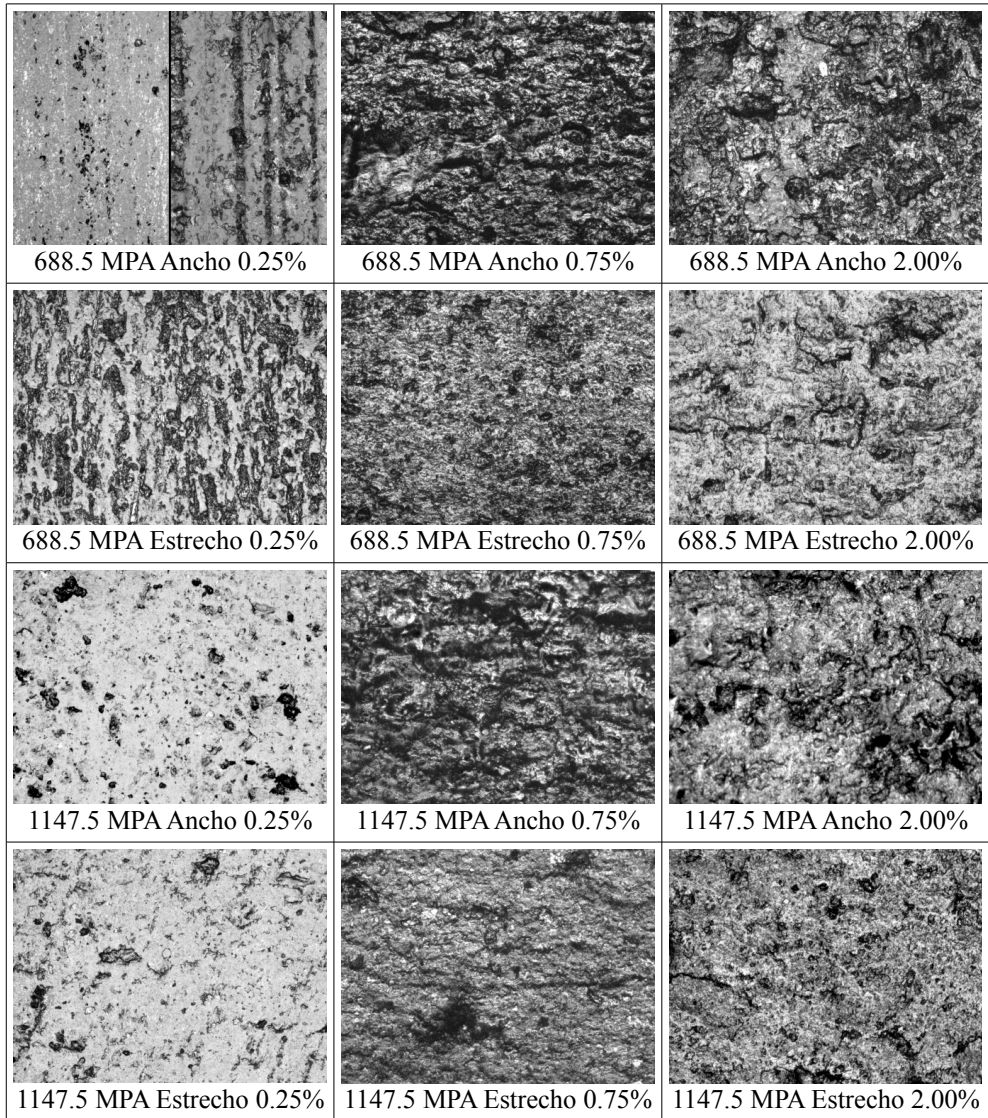


Figura 20.- Aspecto de la superficie de los discos anchos y estrechos estrechos al microscopio óptico para los ensayos realizados entre dos aceros bainíticos de 530 HV en seco para las distintas presiones y deslizamientos probados (x100)

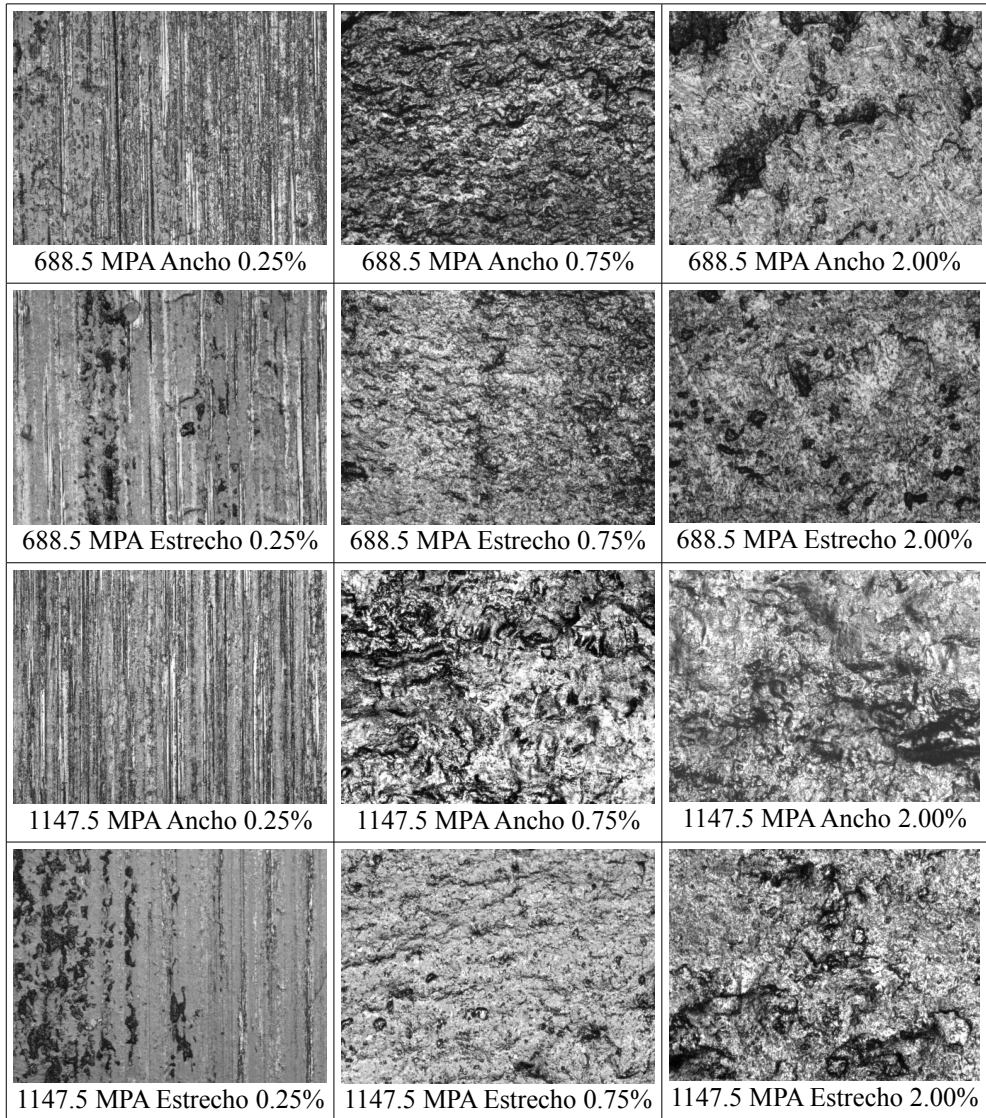


Figura 21.- Aspecto de la superficie de los discos anchos y estrechos estrechos al microscopio óptico para los ensayos realizados entre dos aceros bainíticos de 530 y 430 HV en seco para las distintas presiones y deslizamientos probados (x100)

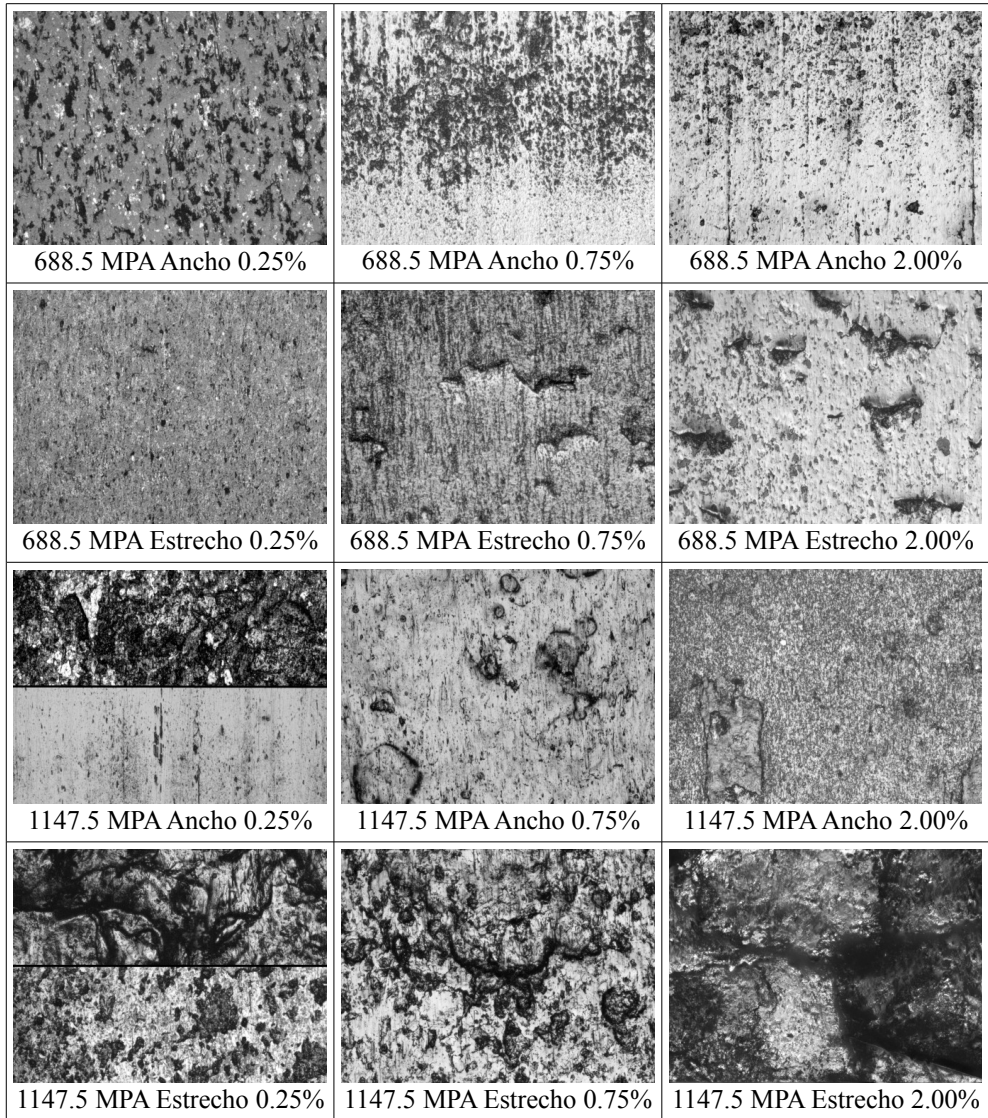


Figura 22.- Aspecto de la superficie de los discos anchos y estrechos al microscopio óptico para los ensayos realizados entre un acero bainítico de 430 HV y el acero al carbono C55 con agua para las distintas presiones y deslizamientos probados (x100)

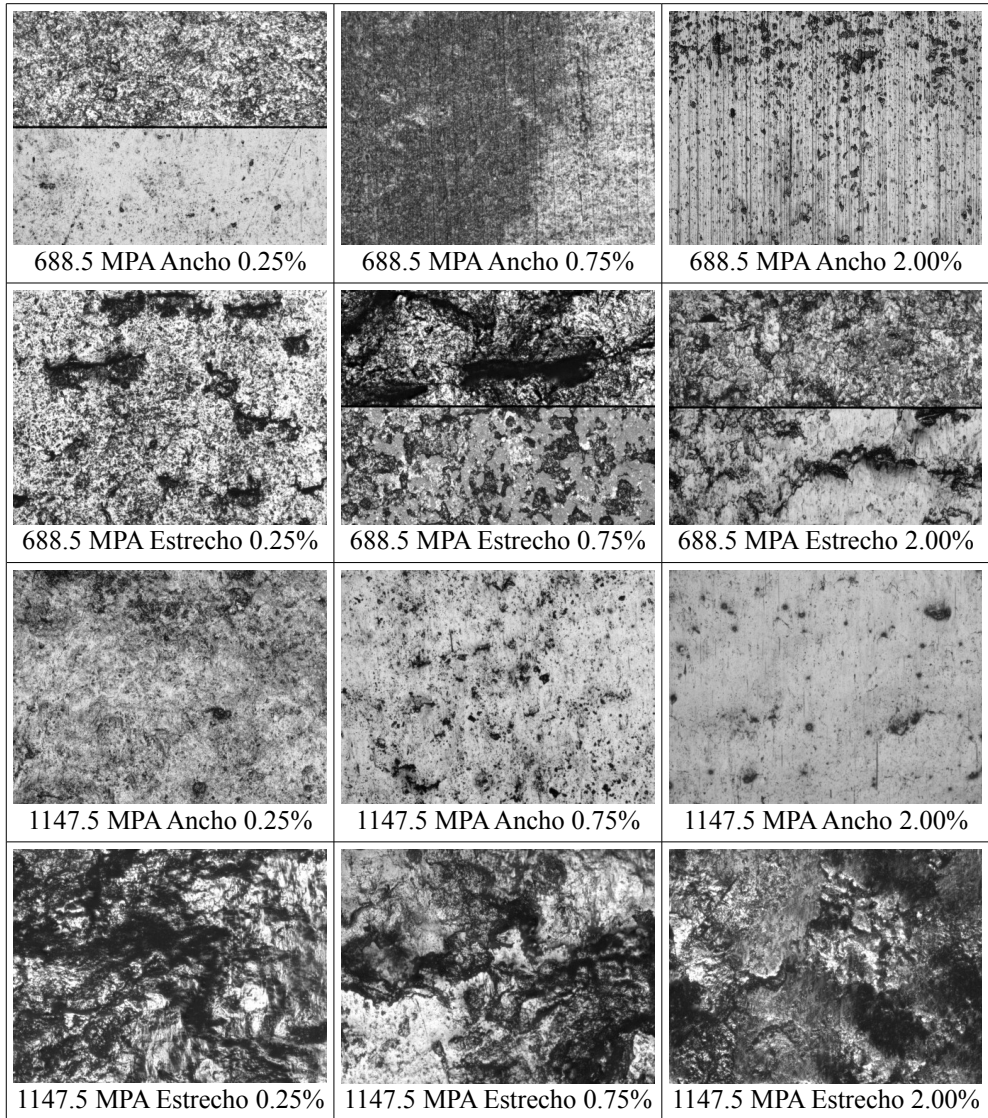


Figura 23.- Aspecto de la superficie de los discos anchos y estrechos al microscopio óptico para los ensayos realizados entre un acero bainítico de 530 HV y el acero al carbono C55 con agua para las distintas presiones y deslizamientos probados (x100)

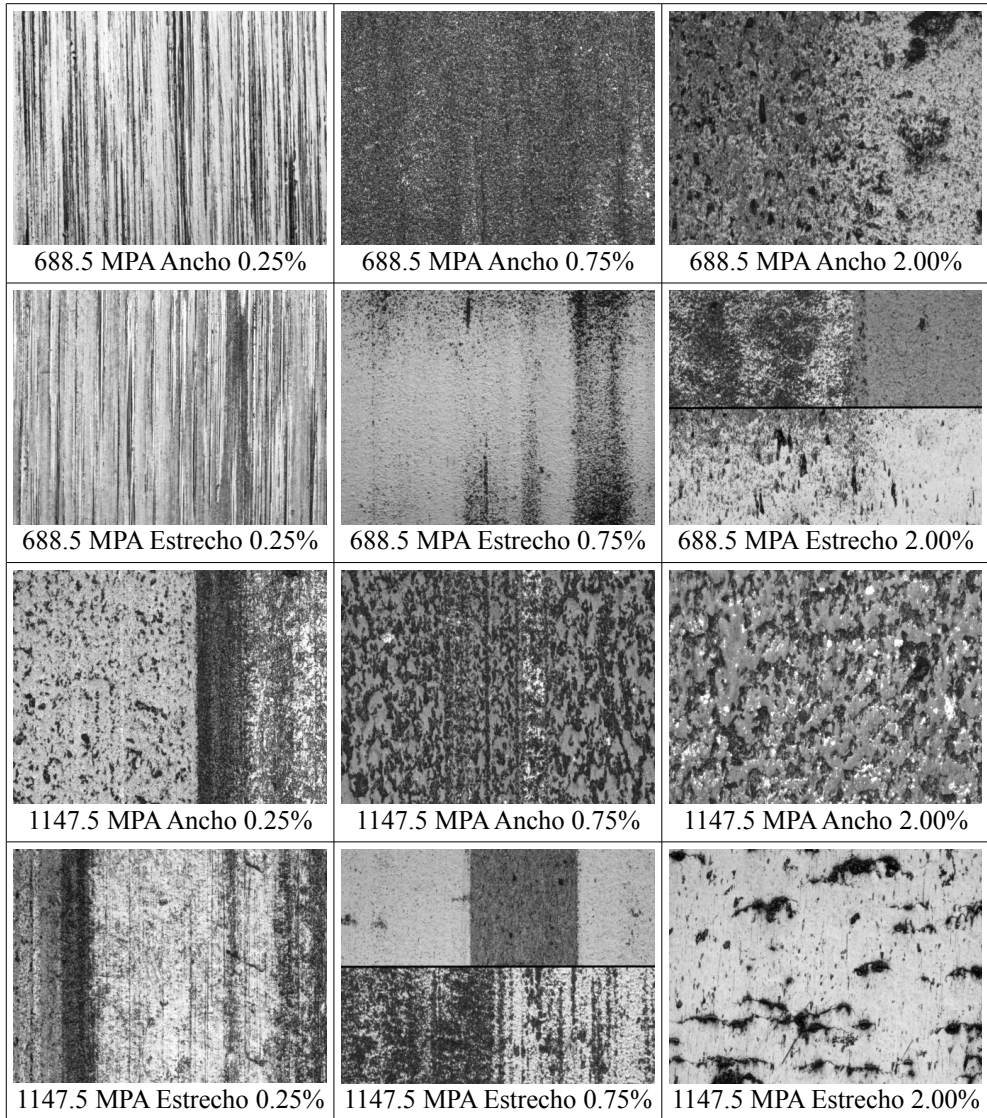


Figura 24.- Aspecto de la superficie de los discos anchos y estrechos al microscopio óptico para los ensayos realizados entre dos aceros bainíticos de 430 HV con agua para las distintas presiones y deslizamientos probados (x100)

Anexo 3: Aspecto de los discos tras los ensayos (x100)

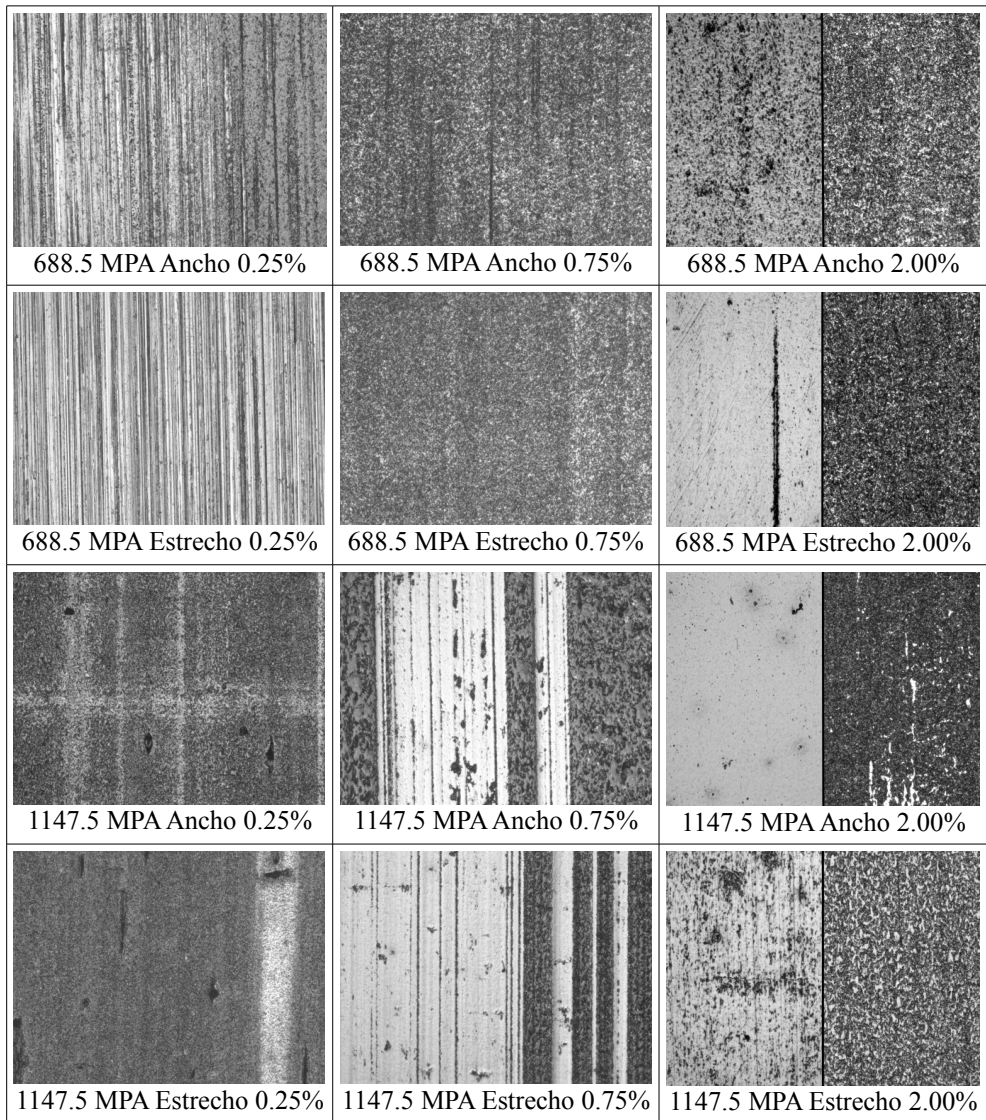


Figura 25.- Aspecto de la superficie de los discos anchos y estrechos estrechos al microscopio óptico para los ensayos realizados entre un aceros bainíticos de 530 HV con agua para las distintas presiones y deslizamientos probados (x100)

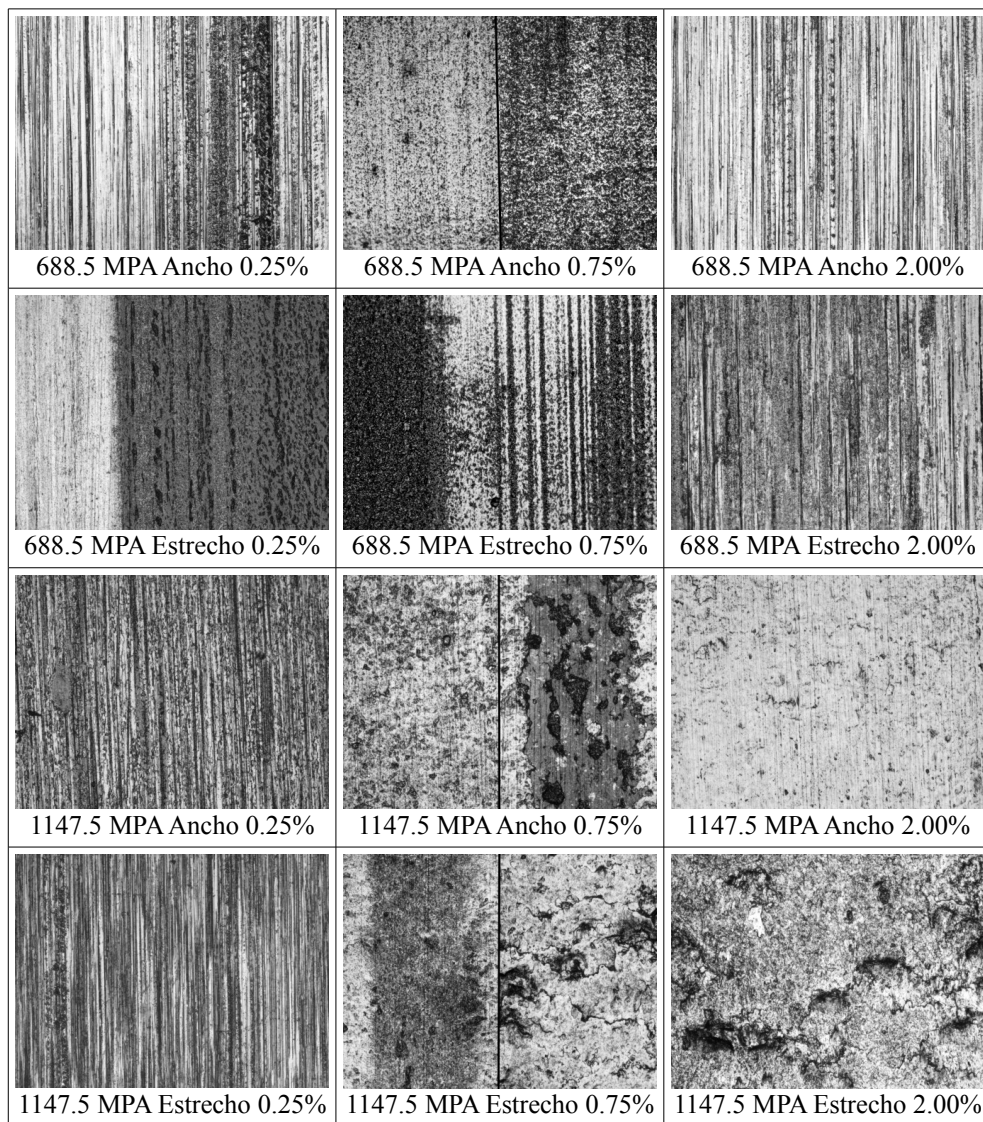


Figura 26.- Aspecto de la superficie de los discos anchos y estrechos estrechos al microscopio óptico para los ensayos realizados entre un aceros bainíticos de 530 y 430 HV con agua para las distintas presiones y deslizamientos probados (x100)

ANEXO 4:
LICENCIAS PARA LA REPRODUCCIÓN DE
FIGURAS

ELSEVIER LICENSE TERMS AND CONDITIONS

Mar 07, 2015

This is a License Agreement between Fidel Salas Vicente ("You") and Elsevier ("Elsevier") provided by Copyright Clearance Center ("CCC"). The license consists of your order details, the terms and conditions provided by Elsevier, and the payment terms and conditions.

All payments must be made in full to CCC. For payment instructions, please see information listed at the bottom of this form.

| | |
|--|---|
| Supplier | Elsevier Limited The Boulevard,Langford Lane Kidlington,Oxford,OX5 1GB,UK |
| Registered Company Number | 1982084 |
| Customer name | Fidel Salas Vicente |
| Customer address | Avda. Castellón, 5 Geldo, Castellón 12412 |
| License number | 3583601265376 |
| License date | Mar 07, 2015 |
| Licensed content publisher | Elsevier |
| Licensed content publication | Wear |
| Licensed content title | A laboratory investigation on the influence of the particle size and slip during sanding on the adhesion and wear in the wheel-rail contact |
| Licensed content author | Oscar Arias-Cuevas, Zili Li, Roger Lewis |
| Licensed content date | 18 May 2011 |
| Licensed content volume number | 271 |
| Licensed content issue number | 1-2 |
| Number of pages | 11 |
| Start Page | 14 |
| End Page | 24 |
| Type of Use | reuse in a thesis/dissertation |
| Intended publisher of new work | other |
| Portion | figures/tables/illustrations |
| Number of figures/tables/illustrations | 1 |
| Format | both print and electronic |
| Are you the author of this Elsevier article? | No |
| Will you be translating? | No |
| Original figure numbers | Figure 1 |

| | |
|-----------------------------------|--|
| Title of your thesis/dissertation | Investigación y modelización de la adherencia, el desgaste y la fenomenología de daño asociada a la rodadura en contactos rueda-carril de aceros al carbono y bainíticos |
| Expected completion date | May 2015 |
| Estimated size (number of pages) | 440 |
| Elsevier VAT number | GB 494 6272 12 |
| Permissions price | 0.00 EUR |
| VAT/Local Sales Tax | 0.00 EUR / 0.00 GBP |
| Total | 0.00 EUR |

Terms and Conditions

INTRODUCTION

1. The publisher for this copyrighted material is Elsevier. By clicking "accept" in connection with completing this licensing transaction, you agree that the following terms and conditions apply to this transaction (along with the Billing and Payment terms and conditions established by Copyright Clearance Center, Inc. ("CCC"), at the time that you opened your Rightslink account and that are available at any time at <http://myaccount.copyright.com>).

GENERAL TERMS

2. Elsevier hereby grants you permission to reproduce the aforementioned material subject to the terms and conditions indicated.

3. Acknowledgement: If any part of the material to be used (for example, figures) has appeared in our publication with credit or acknowledgement to another source, permission must also be sought from that source. If such permission is not obtained then that material may not be included in your publication/copies. Suitable acknowledgement to the source must be made, either as a footnote or in a reference list at the end of your publication, as follows:

"Reprinted from Publication title, Vol /edition number, Author(s), Title of article / title of chapter, Pages No., Copyright (Year), with permission from Elsevier [OR APPLICABLE SOCIETY COPYRIGHT OWNER]." Also Lancet special credit - "Reprinted from The Lancet, Vol. number, Author(s), Title of article, Pages No., Copyright (Year), with permission from Elsevier."

4. Reproduction of this material is confined to the purpose and/or media for which permission is hereby given.

5. Altering/Modifying Material: Not Permitted. However figures and illustrations may be altered/adapted minimally to serve your work. Any other abbreviations, additions, deletions and/or any other alterations shall be made only with prior written authorization of Elsevier Ltd. (Please contact Elsevier at permissions@elsevier.com)

6. If the permission fee for the requested use of our material is waived in this instance, please be advised that your future requests for Elsevier materials may attract a fee.

7. Reservation of Rights: Publisher reserves all rights not specifically granted in the combination of (i) the license details provided by you and accepted in the course of this licensing transaction, (ii) these terms and conditions and (iii) CCC's Billing and Payment terms and conditions.

8. **License Contingent Upon Payment:** While you may exercise the rights licensed immediately upon issuance of the license at the end of the licensing process for the transaction, provided that you have disclosed complete and accurate details of your proposed use, no license is finally effective unless and until full payment is received from you (either by publisher or by CCC) as provided in CCC's Billing and Payment terms and conditions. If full payment is not received on a timely basis, then any license preliminarily granted shall be deemed automatically revoked and shall be void as if never granted. Further, in the event that you breach any of these terms and conditions or any of CCC's Billing and Payment terms and conditions, the license is automatically revoked and shall be void as if never granted. Use of materials as described in a revoked license, as well as any use of the materials beyond the scope of an unrevoked license, may constitute copyright infringement and publisher reserves the right to take any and all action to protect its copyright in the materials.

9. **Warranties:** Publisher makes no representations or warranties with respect to the licensed material.

10. **Indemnity:** You hereby indemnify and agree to hold harmless publisher and CCC, and their respective officers, directors, employees and agents, from and against any and all claims arising out of your use of the licensed material other than as specifically authorized pursuant to this license.

11. **No Transfer of License:** This license is personal to you and may not be sublicensed, assigned, or transferred by you to any other person without publisher's written permission.

12. **No Amendment Except in Writing:** This license may not be amended except in a writing signed by both parties (or, in the case of publisher, by CCC on publisher's behalf).

13. **Objection to Contrary Terms:** Publisher hereby objects to any terms contained in any purchase order, acknowledgment, check endorsement or other writing prepared by you, which terms are inconsistent with these terms and conditions or CCC's Billing and Payment terms and conditions. These terms and conditions, together with CCC's Billing and Payment terms and conditions (which are incorporated herein), comprise the entire agreement between you and publisher (and CCC) concerning this licensing transaction. In the event of any conflict between your obligations established by these terms and conditions and those established by CCC's Billing and Payment terms and conditions, these terms and conditions shall control.

14. **Revocation:** Elsevier or Copyright Clearance Center may deny the permissions described in this License at their sole discretion, for any reason or no reason, with a full refund payable to you. Notice of such denial will be made using the contact information provided by you. Failure to receive such notice will not alter or invalidate the denial. In no event will Elsevier or Copyright Clearance Center be responsible or liable for any costs, expenses or damage incurred by you as a result of a denial of your permission request, other than a refund of the amount(s) paid by you to Elsevier and/or Copyright Clearance Center for denied permissions.

LIMITED LICENSE

The following terms and conditions apply only to specific license types:

15. **Translation:** This permission is granted for non-exclusive world **English** rights only unless your license was granted for translation rights. If you licensed translation rights you may only translate this content into the languages you requested. A professional translator must perform all translations and reproduce the content word for word preserving the

integrity of the article. If this license is to re-use 1 or 2 figures then permission is granted for non-exclusive world rights in all languages.

16. Posting licensed content on any Website: The following terms and conditions apply as follows: Licensing material from an Elsevier journal: All content posted to the web site must maintain the copyright information line on the bottom of each image; A hyper-text must be included to the Homepage of the journal from which you are licensing at <http://www.sciencedirect.com/science/journal/xxxxx> or the Elsevier homepage for books at <http://www.elsevier.com>; Central Storage: This license does not include permission for a scanned version of the material to be stored in a central repository such as that provided by Heron/XanEdu.

Licensing material from an Elsevier book: A hyper-text link must be included to the Elsevier homepage at <http://www.elsevier.com> . All content posted to the web site must maintain the copyright information line on the bottom of each image.

Posting licensed content on Electronic reserve: In addition to the above the following clauses are applicable: The web site must be password-protected and made available only to bona fide students registered on a relevant course. This permission is granted for 1 year only. You may obtain a new license for future website posting.

17. For journal authors: the following clauses are applicable in addition to the above:

Preprints:

A preprint is an author's own write-up of research results and analysis, it has not been peer-reviewed, nor has it had any other value added to it by a publisher (such as formatting, copyright, technical enhancement etc.).

Authors can share their preprints anywhere at any time. Preprints should not be added to or enhanced in any way in order to appear more like, or to substitute for, the final versions of articles however authors can update their preprints on arXiv or RePEc with their Accepted Author Manuscript (see below).

If accepted for publication, we encourage authors to link from the preprint to their formal publication via its DOI. Millions of researchers have access to the formal publications on ScienceDirect, and so links will help users to find, access, cite and use the best available version. Please note that Cell Press, The Lancet and some society-owned have different preprint policies. Information on these policies is available on the journal homepage.

Accepted Author Manuscripts: An accepted author manuscript is the manuscript of an article that has been accepted for publication and which typically includes author-incorporated changes suggested during submission, peer review and editor-author communications.

Authors can share their accepted author manuscript:

- immediately
 - via their non-commercial person homepage or blog
 - by updating a preprint in arXiv or RePEc with the accepted manuscript
 - via their research institute or institutional repository for internal institutional

uses or as part of an invitation-only research collaboration work-group

- directly by providing copies to their students or to research collaborators for their personal use
 - for private scholarly sharing as part of an invitation-only work group on commercial sites with which Elsevier has an agreement
- after the embargo period
- via non-commercial hosting platforms such as their institutional repository
 - via commercial sites with which Elsevier has an agreement

In all cases accepted manuscripts should:

- link to the formal publication via its DOI
- bear a CC-BY-NC-ND license - this is easy to do
- if aggregated with other manuscripts, for example in a repository or other site, be shared in alignment with our hosting policy not be added to or enhanced in any way to appear more like, or to substitute for, the published journal article.

Published journal article (JPA): A published journal article (PJA) is the definitive final record of published research that appears or will appear in the journal and embodies all value-adding publishing activities including peer review co-ordination, copy-editing, formatting, (if relevant) pagination and online enrichment.

Policies for sharing publishing journal articles differ for subscription and gold open access articles:

Subscription Articles: If you are an author, please share a link to your article rather than the full-text. Millions of researchers have access to the formal publications on ScienceDirect, and so links will help your users to find, access, cite, and use the best available version.

Theses and dissertations which contain embedded PJAs as part of the formal submission can be posted publicly by the awarding institution with DOI links back to the formal publications on ScienceDirect.

If you are affiliated with a library that subscribes to ScienceDirect you have additional private sharing rights for others' research accessed under that agreement. This includes use for classroom teaching and internal training at the institution (including use in course packs and courseware programs), and inclusion of the article for grant funding purposes.

Gold Open Access Articles: May be shared according to the author-selected end-user license and should contain a [CrossMark logo](#), the end user license, and a DOI link to the formal publication on ScienceDirect.

Please refer to Elsevier's [posting policy](#) for further information.

18. **For book authors** the following clauses are applicable in addition to the above: Authors are permitted to place a brief summary of their work online only. You are not allowed to download and post the published electronic version of your chapter, nor may you scan the printed edition to create an electronic version. **Posting to a repository:** Authors are

permitted to post a summary of their chapter only in their institution's repository.

19. Thesis/Dissertation: If your license is for use in a thesis/dissertation your thesis may be submitted to your institution in either print or electronic form. Should your thesis be published commercially, please reapply for permission. These requirements include permission for the Library and Archives of Canada to supply single copies, on demand, of the complete thesis and include permission for Proquest/UMI to supply single copies, on demand, of the complete thesis. Should your thesis be published commercially, please reapply for permission. Theses and dissertations which contain embedded PJAs as part of the formal submission can be posted publicly by the awarding institution with DOI links back to the formal publications on ScienceDirect.

Elsevier Open Access Terms and Conditions

You can publish open access with Elsevier in hundreds of open access journals or in nearly 2000 established subscription journals that support open access publishing. Permitted third party re-use of these open access articles is defined by the author's choice of Creative Commons user license. See our [open access license policy](#) for more information.

Terms & Conditions applicable to all Open Access articles published with Elsevier:

Any reuse of the article must not represent the author as endorsing the adaptation of the article nor should the article be modified in such a way as to damage the author's honour or reputation. If any changes have been made, such changes must be clearly indicated.

The author(s) must be appropriately credited and we ask that you include the end user license and a DOI link to the formal publication on ScienceDirect.

If any part of the material to be used (for example, figures) has appeared in our publication with credit or acknowledgement to another source it is the responsibility of the user to ensure their reuse complies with the terms and conditions determined by the rights holder.

Additional Terms & Conditions applicable to each Creative Commons user license:

CC BY: The CC-BY license allows users to copy, to create extracts, abstracts and new works from the Article, to alter and revise the Article and to make commercial use of the Article (including reuse and/or resale of the Article by commercial entities), provided the user gives appropriate credit (with a link to the formal publication through the relevant DOI), provides a link to the license, indicates if changes were made and the licensor is not represented as endorsing the use made of the work. The full details of the license are available at <http://creativecommons.org/licenses/by/4.0>.

CC BY NC SA: The CC BY-NC-SA license allows users to copy, to create extracts, abstracts and new works from the Article, to alter and revise the Article, provided this is not done for commercial purposes, and that the user gives appropriate credit (with a link to the formal publication through the relevant DOI), provides a link to the license, indicates if changes were made and the licensor is not represented as endorsing the use made of the work. Further, any new works must be made available on the same conditions. The full details of the license are available at <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0>.

CC BY NC ND: The CC BY-NC-ND license allows users to copy and distribute the Article, provided this is not done for commercial purposes and further does not permit distribution of the Article if it is changed or edited in any way, and provided the user gives appropriate

credit (with a link to the formal publication through the relevant DOI), provides a link to the license, and that the licensor is not represented as endorsing the use made of the work. The full details of the license are available at <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0>. Any commercial reuse of Open Access articles published with a CC BY NC SA or CC BY NC ND license requires permission from Elsevier and will be subject to a fee.

Commercial reuse includes:

- Associating advertising with the full text of the Article
- Charging fees for document delivery or access
- Article aggregation
- Systematic distribution via e-mail lists or share buttons

Posting or linking by commercial companies for use by customers of those companies.

20. Other Conditions:

Questions? customercare@copyright.com or +1-855-239-3415 (toll free in the US) or +1-978-646-2777.

Gratis licenses (referencing \$0 in the Total field) are free. Please retain this printable license for your reference. No payment is required.

ELSEVIER LICENSE TERMS AND CONDITIONS

Feb 21, 2015

This is a License Agreement between Fidel Salas Vicente ("You") and Elsevier ("Elsevier") provided by Copyright Clearance Center ("CCC"). The license consists of your order details, the terms and conditions provided by Elsevier, and the payment terms and conditions.

All payments must be made in full to CCC. For payment instructions, please see information listed at the bottom of this form.

| | |
|--|---|
| Supplier | Elsevier Limited The Boulevard,Langford Lane Kidlington,Oxford,OX5 1GB,UK |
| Registered Company Number | 1982084 |
| Customer name | Fidel Salas Vicente |
| Customer address | Avda. Castellón, 5 Geldo, Castellón 12412 |
| License number | 3573581465469 |
| License date | Feb 21, 2015 |
| Licensed content publisher | Elsevier |
| Licensed content publication | Wear |
| Licensed content title | A mathematical model to predict railway wheel profile evolution due to wear |
| Licensed content author | F. Braghin,R. Lewis,R.S. Dwyer-Joyce,S. Bruni |
| Licensed content date | 20 December 2006 |
| Licensed content volume number | 261 |
| Licensed content issue number | 11-12 |
| Number of pages | 12 |
| Start Page | 1253 |
| End Page | 1264 |
| Type of Use | reuse in a thesis/dissertation |
| Intended publisher of new work | other |
| Portion | figures/tables/illustrations |
| Number of figures/tables/illustrations | 1 |
| Format | both print and electronic |
| Are you the author of this Elsevier article? | No |
| Will you be translating? | No |
| Original figure numbers | Figure 9 |

| | |
|-----------------------------------|--|
| Title of your thesis/dissertation | Investigación y modelización de la adherencia, el desgaste y la fenomenología de daño asociada a la rodadura en contactos rueda-carril de aceros al carbono y bainíticos |
| Expected completion date | May 2015 |
| Estimated size (number of pages) | 440 |
| Elsevier VAT number | GB 494 6272 12 |
| Permissions price | 0.00 EUR |
| VAT/Local Sales Tax | 0.00 EUR / 0.00 GBP |
| Total | 0.00 EUR |

Terms and Conditions

INTRODUCTION

1. The publisher for this copyrighted material is Elsevier. By clicking "accept" in connection with completing this licensing transaction, you agree that the following terms and conditions apply to this transaction (along with the Billing and Payment terms and conditions established by Copyright Clearance Center, Inc. ("CCC"), at the time that you opened your Rightslink account and that are available at any time at <http://myaccount.copyright.com>).

GENERAL TERMS

2. Elsevier hereby grants you permission to reproduce the aforementioned material subject to the terms and conditions indicated.

3. Acknowledgement: If any part of the material to be used (for example, figures) has appeared in our publication with credit or acknowledgement to another source, permission must also be sought from that source. If such permission is not obtained then that material may not be included in your publication/copies. Suitable acknowledgement to the source must be made, either as a footnote or in a reference list at the end of your publication, as follows:

“Reprinted from Publication title, Vol /edition number, Author(s), Title of article / title of chapter, Pages No., Copyright (Year), with permission from Elsevier [OR APPLICABLE SOCIETY COPYRIGHT OWNER].” Also Lancet special credit - “Reprinted from The Lancet, Vol. number, Author(s), Title of article, Pages No., Copyright (Year), with permission from Elsevier.”

4. Reproduction of this material is confined to the purpose and/or media for which permission is hereby given.

5. Altering/Modifying Material: Not Permitted. However figures and illustrations may be altered/adapted minimally to serve your work. Any other abbreviations, additions, deletions and/or any other alterations shall be made only with prior written authorization of Elsevier Ltd. (Please contact Elsevier at permissions@elsevier.com)

6. If the permission fee for the requested use of our material is waived in this instance, please be advised that your future requests for Elsevier materials may attract a fee.

7. Reservation of Rights: Publisher reserves all rights not specifically granted in the combination of (i) the license details provided by you and accepted in the course of this licensing transaction, (ii) these terms and conditions and (iii) CCC's Billing and Payment terms and conditions.

8. **License Contingent Upon Payment:** While you may exercise the rights licensed immediately upon issuance of the license at the end of the licensing process for the transaction, provided that you have disclosed complete and accurate details of your proposed use, no license is finally effective unless and until full payment is received from you (either by publisher or by CCC) as provided in CCC's Billing and Payment terms and conditions. If full payment is not received on a timely basis, then any license preliminarily granted shall be deemed automatically revoked and shall be void as if never granted. Further, in the event that you breach any of these terms and conditions or any of CCC's Billing and Payment terms and conditions, the license is automatically revoked and shall be void as if never granted. Use of materials as described in a revoked license, as well as any use of the materials beyond the scope of an unrevoked license, may constitute copyright infringement and publisher reserves the right to take any and all action to protect its copyright in the materials.

9. **Warranties:** Publisher makes no representations or warranties with respect to the licensed material.

10. **Indemnity:** You hereby indemnify and agree to hold harmless publisher and CCC, and their respective officers, directors, employees and agents, from and against any and all claims arising out of your use of the licensed material other than as specifically authorized pursuant to this license.

11. **No Transfer of License:** This license is personal to you and may not be sublicensed, assigned, or transferred by you to any other person without publisher's written permission.

12. **No Amendment Except in Writing:** This license may not be amended except in a writing signed by both parties (or, in the case of publisher, by CCC on publisher's behalf).

13. **Objection to Contrary Terms:** Publisher hereby objects to any terms contained in any purchase order, acknowledgment, check endorsement or other writing prepared by you, which terms are inconsistent with these terms and conditions or CCC's Billing and Payment terms and conditions. These terms and conditions, together with CCC's Billing and Payment terms and conditions (which are incorporated herein), comprise the entire agreement between you and publisher (and CCC) concerning this licensing transaction. In the event of any conflict between your obligations established by these terms and conditions and those established by CCC's Billing and Payment terms and conditions, these terms and conditions shall control.

14. **Revocation:** Elsevier or Copyright Clearance Center may deny the permissions described in this License at their sole discretion, for any reason or no reason, with a full refund payable to you. Notice of such denial will be made using the contact information provided by you. Failure to receive such notice will not alter or invalidate the denial. In no event will Elsevier or Copyright Clearance Center be responsible or liable for any costs, expenses or damage incurred by you as a result of a denial of your permission request, other than a refund of the amount(s) paid by you to Elsevier and/or Copyright Clearance Center for denied permissions.

LIMITED LICENSE

The following terms and conditions apply only to specific license types:

15. **Translation:** This permission is granted for non-exclusive world **English** rights only unless your license was granted for translation rights. If you licensed translation rights you may only translate this content into the languages you requested. A professional translator must perform all translations and reproduce the content word for word preserving the

integrity of the article. If this license is to re-use 1 or 2 figures then permission is granted for non-exclusive world rights in all languages.

16. Posting licensed content on any Website: The following terms and conditions apply as follows: Licensing material from an Elsevier journal: All content posted to the web site must maintain the copyright information line on the bottom of each image; A hyper-text must be included to the Homepage of the journal from which you are licensing at <http://www.sciencedirect.com/science/journal/xxxxx> or the Elsevier homepage for books at <http://www.elsevier.com>; Central Storage: This license does not include permission for a scanned version of the material to be stored in a central repository such as that provided by Heron/XanEdu.

Licensing material from an Elsevier book: A hyper-text link must be included to the Elsevier homepage at <http://www.elsevier.com>. All content posted to the web site must maintain the copyright information line on the bottom of each image.

Posting licensed content on Electronic reserve: In addition to the above the following clauses are applicable: The web site must be password-protected and made available only to bona fide students registered on a relevant course. This permission is granted for 1 year only. You may obtain a new license for future website posting.

17. For journal authors: the following clauses are applicable in addition to the above: Permission granted is limited to the author accepted manuscript version* of your paper.

***Accepted Author Manuscript (AAM) Definition:** An accepted author manuscript (AAM) is the author's version of the manuscript of an article that has been accepted for publication and which may include any author-incorporated changes suggested through the processes of submission processing, peer review, and editor-author communications. AAMs do not include other publisher value-added contributions such as copy-editing, formatting, technical enhancements and (if relevant) pagination.

You are not allowed to download and post the published journal article (whether PDF or HTML, proof or final version), nor may you scan the printed edition to create an electronic version. A hyper-text must be included to the Homepage of the journal from which you are licensing at <http://www.sciencedirect.com/science/journal/xxxxx>. As part of our normal production process, you will receive an e-mail notice when your article appears on Elsevier's online service ScienceDirect (www.sciencedirect.com). That e-mail will include the article's Digital Object Identifier (DOI). This number provides the electronic link to the published article and should be included in the posting of your personal version. We ask that you wait until you receive this e-mail and have the DOI to do any posting.

18. Posting to a repository: Authors may post their AAM immediately to their employer's institutional repository for internal use only and may make their manuscript publically available after the journal-specific embargo period has ended.

Please also refer to [Elsevier's Article Posting Policy](#) for further information.

19. For book authors the following clauses are applicable in addition to the above: Authors are permitted to place a brief summary of their work online only.. You are not allowed to download and post the published electronic version of your chapter, nor may you scan the printed edition to create an electronic version. **Posting to a repository:** Authors are permitted to post a summary of their chapter only in their institution's repository.

20. Thesis/Dissertation: If your license is for use in a thesis/dissertation your thesis may be submitted to your institution in either print or electronic form. Should your thesis be

published commercially, please reapply for permission. These requirements include permission for the Library and Archives of Canada to supply single copies, on demand, of the complete thesis and include permission for Proquest/UMI to supply single copies, on demand, of the complete thesis. Should your thesis be published commercially, please reapply for permission.

Elsevier Open Access Terms and Conditions

Elsevier publishes Open Access articles in both its Open Access journals and via its Open Access articles option in subscription journals.

Authors publishing in an Open Access journal or who choose to make their article Open Access in an Elsevier subscription journal select one of the following Creative Commons user licenses, which define how a reader may reuse their work: Creative Commons Attribution License (CC BY), Creative Commons Attribution – Non Commercial - ShareAlike (CC BY NC SA) and Creative Commons Attribution – Non Commercial – No Derivatives (CC BY NC ND)

Terms & Conditions applicable to all Elsevier Open Access articles:

Any reuse of the article must not represent the author as endorsing the adaptation of the article nor should the article be modified in such a way as to damage the author's honour or reputation.

The author(s) must be appropriately credited.

If any part of the material to be used (for example, figures) has appeared in our publication with credit or acknowledgement to another source it is the responsibility of the user to ensure their reuse complies with the terms and conditions determined by the rights holder.

Additional Terms & Conditions applicable to each Creative Commons user license:

CC BY: You may distribute and copy the article, create extracts, abstracts, and other revised versions, adaptations or derivative works of or from an article (such as a translation), to include in a collective work (such as an anthology), to text or data mine the article, including for commercial purposes without permission from Elsevier

CC BY NC SA: For non-commercial purposes you may distribute and copy the article, create extracts, abstracts and other revised versions, adaptations or derivative works of or from an article (such as a translation), to include in a collective work (such as an anthology), to text and data mine the article and license new adaptations or creations under identical terms without permission from Elsevier

CC BY NC ND: For non-commercial purposes you may distribute and copy the article and include it in a collective work (such as an anthology), provided you do not alter or modify the article, without permission from Elsevier

Any commercial reuse of Open Access articles published with a CC BY NC SA or CC BY NC ND license requires permission from Elsevier and will be subject to a fee.

Commercial reuse includes:

- Promotional purposes (advertising or marketing)

- Commercial exploitation (e.g. a product for sale or loan)
- Systematic distribution (for a fee or free of charge)

Please refer to [Elsevier's Open Access Policy](#) for further information.

21. Other Conditions:

v1.7

Questions? customercare@copyright.com or +1-855-239-3415 (toll free in the US) or +1-978-646-2777.

Gratis licenses (referencing \$0 in the Total field) are free. Please retain this printable license for your reference. No payment is required.

ELSEVIER LICENSE TERMS AND CONDITIONS

Feb 20, 2015

This is a License Agreement between Fidel Salas Vicente ("You") and Elsevier ("Elsevier") provided by Copyright Clearance Center ("CCC"). The license consists of your order details, the terms and conditions provided by Elsevier, and the payment terms and conditions.

All payments must be made in full to CCC. For payment instructions, please see information listed at the bottom of this form.

| | |
|--|---|
| Supplier | Elsevier Limited The Boulevard, Langford Lane Kidlington, Oxford, OX5 1GB, UK |
| Registered Company Number | 1982084 |
| Customer name | Fidel Salas Vicente |
| Customer address | Avda. Castellón, 5 Geldo, Castellón 12412 |
| License number | 3573170664906 |
| License date | Feb 20, 2015 |
| Licensed content publisher | Elsevier |
| Licensed content publication | Wear |
| Licensed content title | A model for rolling contact failure |
| Licensed content author | Yanyao Jiang, Huseyin Sehitoglu |
| Licensed content date | January 1999 |
| Licensed content volume number | 224 |
| Licensed content issue number | 1 |
| Number of pages | 12 |
| Start Page | 38 |
| End Page | 49 |
| Type of Use | reuse in a thesis/dissertation |
| Intended publisher of new work | other |
| Portion | figures/tables/illustrations |
| Number of figures/tables/illustrations | 1 |
| Format | both print and electronic |
| Are you the author of this Elsevier article? | No |
| Will you be translating? | No |
| Original figure numbers | Figure 12 |
| Title of your | Investigación y modelización de la adherencia, el desgaste y la |

| | |
|----------------------------------|--|
| thesis/dissertation | fenomenología de daño asociada a la rodadura en contactos rueda-carril de aceros al carbono y bainíticos |
| Expected completion date | May 2015 |
| Estimated size (number of pages) | 440 |
| Elsevier VAT number | GB 494 6272 12 |
| Permissions price | 0.00 EUR |
| VAT/Local Sales Tax | 0.00 EUR / 0.00 GBP |
| Total | 0.00 EUR |
| Terms and Conditions | |

INTRODUCTION

1. The publisher for this copyrighted material is Elsevier. By clicking "accept" in connection with completing this licensing transaction, you agree that the following terms and conditions apply to this transaction (along with the Billing and Payment terms and conditions established by Copyright Clearance Center, Inc. ("CCC"), at the time that you opened your Rightslink account and that are available at any time at <http://myaccount.copyright.com>).

GENERAL TERMS

2. Elsevier hereby grants you permission to reproduce the aforementioned material subject to the terms and conditions indicated.

3. Acknowledgement: If any part of the material to be used (for example, figures) has appeared in our publication with credit or acknowledgement to another source, permission must also be sought from that source. If such permission is not obtained then that material may not be included in your publication/copies. Suitable acknowledgement to the source must be made, either as a footnote or in a reference list at the end of your publication, as follows:

“Reprinted from Publication title, Vol /edition number, Author(s), Title of article / title of chapter, Pages No., Copyright (Year), with permission from Elsevier [OR APPLICABLE SOCIETY COPYRIGHT OWNER].” Also Lancet special credit - “Reprinted from The Lancet, Vol. number, Author(s), Title of article, Pages No., Copyright (Year), with permission from Elsevier.”

4. Reproduction of this material is confined to the purpose and/or media for which permission is hereby given.

5. Altering/Modifying Material: Not Permitted. However figures and illustrations may be altered/adapted minimally to serve your work. Any other abbreviations, additions, deletions and/or any other alterations shall be made only with prior written authorization of Elsevier Ltd. (Please contact Elsevier at permissions@elsevier.com)

6. If the permission fee for the requested use of our material is waived in this instance, please be advised that your future requests for Elsevier materials may attract a fee.

7. Reservation of Rights: Publisher reserves all rights not specifically granted in the combination of (i) the license details provided by you and accepted in the course of this licensing transaction, (ii) these terms and conditions and (iii) CCC's Billing and Payment terms and conditions.

8. **License Contingent Upon Payment:** While you may exercise the rights licensed immediately upon issuance of the license at the end of the licensing process for the transaction, provided that you have disclosed complete and accurate details of your proposed use, no license is finally effective unless and until full payment is received from you (either by publisher or by CCC) as provided in CCC's Billing and Payment terms and conditions. If full payment is not received on a timely basis, then any license preliminarily granted shall be deemed automatically revoked and shall be void as if never granted. Further, in the event that you breach any of these terms and conditions or any of CCC's Billing and Payment terms and conditions, the license is automatically revoked and shall be void as if never granted. Use of materials as described in a revoked license, as well as any use of the materials beyond the scope of an unrevoked license, may constitute copyright infringement and publisher reserves the right to take any and all action to protect its copyright in the materials.

9. **Warranties:** Publisher makes no representations or warranties with respect to the licensed material.

10. **Indemnity:** You hereby indemnify and agree to hold harmless publisher and CCC, and their respective officers, directors, employees and agents, from and against any and all claims arising out of your use of the licensed material other than as specifically authorized pursuant to this license.

11. **No Transfer of License:** This license is personal to you and may not be sublicensed, assigned, or transferred by you to any other person without publisher's written permission.

12. **No Amendment Except in Writing:** This license may not be amended except in a writing signed by both parties (or, in the case of publisher, by CCC on publisher's behalf).

13. **Objection to Contrary Terms:** Publisher hereby objects to any terms contained in any purchase order, acknowledgment, check endorsement or other writing prepared by you, which terms are inconsistent with these terms and conditions or CCC's Billing and Payment terms and conditions. These terms and conditions, together with CCC's Billing and Payment terms and conditions (which are incorporated herein), comprise the entire agreement between you and publisher (and CCC) concerning this licensing transaction. In the event of any conflict between your obligations established by these terms and conditions and those established by CCC's Billing and Payment terms and conditions, these terms and conditions shall control.

14. **Revocation:** Elsevier or Copyright Clearance Center may deny the permissions described in this License at their sole discretion, for any reason or no reason, with a full refund payable to you. Notice of such denial will be made using the contact information provided by you. Failure to receive such notice will not alter or invalidate the denial. In no event will Elsevier or Copyright Clearance Center be responsible or liable for any costs, expenses or damage incurred by you as a result of a denial of your permission request, other than a refund of the amount(s) paid by you to Elsevier and/or Copyright Clearance Center for denied permissions.

LIMITED LICENSE

The following terms and conditions apply only to specific license types:

15. **Translation:** This permission is granted for non-exclusive world **English** rights only unless your license was granted for translation rights. If you licensed translation rights you may only translate this content into the languages you requested. A professional translator must perform all translations and reproduce the content word for word preserving the

integrity of the article. If this license is to re-use 1 or 2 figures then permission is granted for non-exclusive world rights in all languages.

16. Posting licensed content on any Website: The following terms and conditions apply as follows: Licensing material from an Elsevier journal: All content posted to the web site must maintain the copyright information line on the bottom of each image; A hyper-text must be included to the Homepage of the journal from which you are licensing at <http://www.sciencedirect.com/science/journal/xxxxx> or the Elsevier homepage for books at <http://www.elsevier.com>; Central Storage: This license does not include permission for a scanned version of the material to be stored in a central repository such as that provided by Heron/XanEdu.

Licensing material from an Elsevier book: A hyper-text link must be included to the Elsevier homepage at <http://www.elsevier.com>. All content posted to the web site must maintain the copyright information line on the bottom of each image.

Posting licensed content on Electronic reserve: In addition to the above the following clauses are applicable: The web site must be password-protected and made available only to bona fide students registered on a relevant course. This permission is granted for 1 year only. You may obtain a new license for future website posting.

17. For journal authors: the following clauses are applicable in addition to the above: Permission granted is limited to the author accepted manuscript version* of your paper.

***Accepted Author Manuscript (AAM) Definition:** An accepted author manuscript (AAM) is the author's version of the manuscript of an article that has been accepted for publication and which may include any author-incorporated changes suggested through the processes of submission processing, peer review, and editor-author communications. AAMs do not include other publisher value-added contributions such as copy-editing, formatting, technical enhancements and (if relevant) pagination.

You are not allowed to download and post the published journal article (whether PDF or HTML, proof or final version), nor may you scan the printed edition to create an electronic version. A hyper-text must be included to the Homepage of the journal from which you are licensing at <http://www.sciencedirect.com/science/journal/xxxxx>. As part of our normal production process, you will receive an e-mail notice when your article appears on Elsevier's online service ScienceDirect (www.sciencedirect.com). That e-mail will include the article's Digital Object Identifier (DOI). This number provides the electronic link to the published article and should be included in the posting of your personal version. We ask that you wait until you receive this e-mail and have the DOI to do any posting.

18. Posting to a repository: Authors may post their AAM immediately to their employer's institutional repository for internal use only and may make their manuscript publically available after the journal-specific embargo period has ended.

Please also refer to [Elsevier's Article Posting Policy](#) for further information.

19. For book authors the following clauses are applicable in addition to the above: Authors are permitted to place a brief summary of their work online only.. You are not allowed to download and post the published electronic version of your chapter, nor may you scan the printed edition to create an electronic version. **Posting to a repository:** Authors are permitted to post a summary of their chapter only in their institution's repository.

20. Thesis/Dissertation: If your license is for use in a thesis/dissertation your thesis may be submitted to your institution in either print or electronic form. Should your thesis be

published commercially, please reapply for permission. These requirements include permission for the Library and Archives of Canada to supply single copies, on demand, of the complete thesis and include permission for Proquest/UMI to supply single copies, on demand, of the complete thesis. Should your thesis be published commercially, please reapply for permission.

Elsevier Open Access Terms and Conditions

Elsevier publishes Open Access articles in both its Open Access journals and via its Open Access articles option in subscription journals.

Authors publishing in an Open Access journal or who choose to make their article Open Access in an Elsevier subscription journal select one of the following Creative Commons user licenses, which define how a reader may reuse their work: Creative Commons Attribution License (CC BY), Creative Commons Attribution – Non Commercial - ShareAlike (CC BY NC SA) and Creative Commons Attribution – Non Commercial – No Derivatives (CC BY NC ND)

Terms & Conditions applicable to all Elsevier Open Access articles:

Any reuse of the article must not represent the author as endorsing the adaptation of the article nor should the article be modified in such a way as to damage the author's honour or reputation.

The author(s) must be appropriately credited.

If any part of the material to be used (for example, figures) has appeared in our publication with credit or acknowledgement to another source it is the responsibility of the user to ensure their reuse complies with the terms and conditions determined by the rights holder.

Additional Terms & Conditions applicable to each Creative Commons user license:

CC BY: You may distribute and copy the article, create extracts, abstracts, and other revised versions, adaptations or derivative works of or from an article (such as a translation), to include in a collective work (such as an anthology), to text or data mine the article, including for commercial purposes without permission from Elsevier

CC BY NC SA: For non-commercial purposes you may distribute and copy the article, create extracts, abstracts and other revised versions, adaptations or derivative works of or from an article (such as a translation), to include in a collective work (such as an anthology), to text and data mine the article and license new adaptations or creations under identical terms without permission from Elsevier

CC BY NC ND: For non-commercial purposes you may distribute and copy the article and include it in a collective work (such as an anthology), provided you do not alter or modify the article, without permission from Elsevier

Any commercial reuse of Open Access articles published with a CC BY NC SA or CC BY NC ND license requires permission from Elsevier and will be subject to a fee.

Commercial reuse includes:

- Promotional purposes (advertising or marketing)

- Commercial exploitation (e.g. a product for sale or loan)
- Systematic distribution (for a fee or free of charge)

Please refer to [Elsevier's Open Access Policy](#) for further information.

21. Other Conditions:

v1.7

Questions? customercare@copyright.com or +1-855-239-3415 (toll free in the US) or +1-978-646-2777.

Gratis licenses (referencing \$0 in the Total field) are free. Please retain this printable license for your reference. No payment is required.

De: "Saori Kawasaki" <kawasaki@jsme.or.jp>
Fecha: Thu, 05 Mar 2015 02:30:05 +0100
Para: "Fidel Salas" <fisavi@doctor.upv.es>
Asunto: Re: Request of permission to reproduce figures

Dear Dr. Fidel Salas,

In response to your letter, we grant you permission to reuse the JSME copyrighted material.

Our only requirement are that you credit the original source (author, paper, journal and publication) appers prominently with your paper.

Best Regards,

Saori Kawasaki

Manager
Publishing and Sales Dept.
The Japan Society of Mechanical Engineers
Shinanomachi-Rengakan Bldg., Shinanomachi 35,
Shinjuku-ku, Tokyo 160-0016 JAPAN
Phone 81-3-5360-3502 Fax 81-3-5360-3508
e-mail: kawasaki@jsme.or.jp
URL <http://www.jsme.or.jp/>

> Date: Tue, 03 Mar 2015 20:16:49 +0100

>

> Dear sirs,

>

> I would like to request permission from your institution to include two
> figures of an article published in one of your journals in my doctoral
> dissertation, which is currently being developed at the Polytechnic
> University of Valencia (Spain)

>

> Authors: Hiro-o YAMAZAKI, Masao NAGAI, Takayoshi KAMADA
> Title: "A Study of Adhesion Force Model for Wheel Slip Prevention Control"
> Journal: JSME International Journal Series C
> Number, year and pages: Vol. 47 (2004) No. 2, P 496-501
> Figures: 6 and 7

>

> Yours sincerely,

> Fidel Salas

> Dpto. Ing. Mecánica y de materiales

> Universidad Politécnica de Valencia

> --

> Usando el cliente de correo de Opera: <http://www.opera.com/mail/>

>

ELSEVIER LICENSE TERMS AND CONDITIONS

Feb 21, 2015

This is a License Agreement between Fidel Salas Vicente ("You") and Elsevier ("Elsevier") provided by Copyright Clearance Center ("CCC"). The license consists of your order details, the terms and conditions provided by Elsevier, and the payment terms and conditions.

All payments must be made in full to CCC. For payment instructions, please see information listed at the bottom of this form.

| | |
|--|---|
| Supplier | Elsevier Limited The Boulevard,Langford Lane Kidlington,Oxford,OX5 1GB,UK |
| Registered Company Number | 1982084 |
| Customer name | Fidel Salas Vicente |
| Customer address | Avda. Castellón, 5 Geldo, Castellón 12412 |
| License number | 3573620135989 |
| License date | Feb 21, 2015 |
| Licensed content publisher | Elsevier |
| Licensed content publication | Wear |
| Licensed content title | Adhesion between rail/wheel under water lubricated contact |
| Licensed content author | H. Chen,T. Ban,M. Ishida,T. Nakahara |
| Licensed content date | July 2002 |
| Licensed content volume number | 253 |
| Licensed content issue number | 1-2 |
| Number of pages | 7 |
| Start Page | 75 |
| End Page | 81 |
| Type of Use | reuse in a thesis/dissertation |
| Intended publisher of new work | other |
| Portion | figures/tables/illustrations |
| Number of figures/tables/illustrations | 1 |
| Format | both print and electronic |
| Are you the author of this Elsevier article? | No |
| Will you be translating? | No |
| Original figure numbers | Figure 6 |
| Title of your | Investigación y modelización de la adherencia, el desgaste y la |

| | |
|--------------------------------------|--|
| thesis/dissertation | fenomenología de daño asociada a la rodadura en contactos rueda-carril de aceros al carbono y bainíticos |
| Expected completion date | May 2015 |
| Estimated size (number of pages) | 440 |
| Elsevier VAT number | GB 494 6272 12 |
| Permissions price | 0.00 EUR |
| VAT/Local Sales Tax | 0.00 EUR / 0.00 GBP |
| Total | 0.00 EUR |
| Terms and Conditions | |

INTRODUCTION

1. The publisher for this copyrighted material is Elsevier. By clicking "accept" in connection with completing this licensing transaction, you agree that the following terms and conditions apply to this transaction (along with the Billing and Payment terms and conditions established by Copyright Clearance Center, Inc. ("CCC"), at the time that you opened your Rightslink account and that are available at any time at <http://myaccount.copyright.com>).

GENERAL TERMS

2. Elsevier hereby grants you permission to reproduce the aforementioned material subject to the terms and conditions indicated.

3. Acknowledgement: If any part of the material to be used (for example, figures) has appeared in our publication with credit or acknowledgement to another source, permission must also be sought from that source. If such permission is not obtained then that material may not be included in your publication/copies. Suitable acknowledgement to the source must be made, either as a footnote or in a reference list at the end of your publication, as follows:

“Reprinted from Publication title, Vol /edition number, Author(s), Title of article / title of chapter, Pages No., Copyright (Year), with permission from Elsevier [OR APPLICABLE SOCIETY COPYRIGHT OWNER].” Also Lancet special credit - “Reprinted from The Lancet, Vol. number, Author(s), Title of article, Pages No., Copyright (Year), with permission from Elsevier.”

4. Reproduction of this material is confined to the purpose and/or media for which permission is hereby given.

5. Altering/Modifying Material: Not Permitted. However figures and illustrations may be altered/adapted minimally to serve your work. Any other abbreviations, additions, deletions and/or any other alterations shall be made only with prior written authorization of Elsevier Ltd. (Please contact Elsevier at permissions@elsevier.com)

6. If the permission fee for the requested use of our material is waived in this instance, please be advised that your future requests for Elsevier materials may attract a fee.

7. Reservation of Rights: Publisher reserves all rights not specifically granted in the combination of (i) the license details provided by you and accepted in the course of this licensing transaction, (ii) these terms and conditions and (iii) CCC's Billing and Payment terms and conditions.

8. **License Contingent Upon Payment:** While you may exercise the rights licensed immediately upon issuance of the license at the end of the licensing process for the transaction, provided that you have disclosed complete and accurate details of your proposed use, no license is finally effective unless and until full payment is received from you (either by publisher or by CCC) as provided in CCC's Billing and Payment terms and conditions. If full payment is not received on a timely basis, then any license preliminarily granted shall be deemed automatically revoked and shall be void as if never granted. Further, in the event that you breach any of these terms and conditions or any of CCC's Billing and Payment terms and conditions, the license is automatically revoked and shall be void as if never granted. Use of materials as described in a revoked license, as well as any use of the materials beyond the scope of an unrevoked license, may constitute copyright infringement and publisher reserves the right to take any and all action to protect its copyright in the materials.

9. **Warranties:** Publisher makes no representations or warranties with respect to the licensed material.

10. **Indemnity:** You hereby indemnify and agree to hold harmless publisher and CCC, and their respective officers, directors, employees and agents, from and against any and all claims arising out of your use of the licensed material other than as specifically authorized pursuant to this license.

11. **No Transfer of License:** This license is personal to you and may not be sublicensed, assigned, or transferred by you to any other person without publisher's written permission.

12. **No Amendment Except in Writing:** This license may not be amended except in a writing signed by both parties (or, in the case of publisher, by CCC on publisher's behalf).

13. **Objection to Contrary Terms:** Publisher hereby objects to any terms contained in any purchase order, acknowledgment, check endorsement or other writing prepared by you, which terms are inconsistent with these terms and conditions or CCC's Billing and Payment terms and conditions. These terms and conditions, together with CCC's Billing and Payment terms and conditions (which are incorporated herein), comprise the entire agreement between you and publisher (and CCC) concerning this licensing transaction. In the event of any conflict between your obligations established by these terms and conditions and those established by CCC's Billing and Payment terms and conditions, these terms and conditions shall control.

14. **Revocation:** Elsevier or Copyright Clearance Center may deny the permissions described in this License at their sole discretion, for any reason or no reason, with a full refund payable to you. Notice of such denial will be made using the contact information provided by you. Failure to receive such notice will not alter or invalidate the denial. In no event will Elsevier or Copyright Clearance Center be responsible or liable for any costs, expenses or damage incurred by you as a result of a denial of your permission request, other than a refund of the amount(s) paid by you to Elsevier and/or Copyright Clearance Center for denied permissions.

LIMITED LICENSE

The following terms and conditions apply only to specific license types:

15. **Translation:** This permission is granted for non-exclusive world **English** rights only unless your license was granted for translation rights. If you licensed translation rights you may only translate this content into the languages you requested. A professional translator must perform all translations and reproduce the content word for word preserving the

integrity of the article. If this license is to re-use 1 or 2 figures then permission is granted for non-exclusive world rights in all languages.

16. Posting licensed content on any Website: The following terms and conditions apply as follows: Licensing material from an Elsevier journal: All content posted to the web site must maintain the copyright information line on the bottom of each image; A hyper-text must be included to the Homepage of the journal from which you are licensing at <http://www.sciencedirect.com/science/journal/xxxxx> or the Elsevier homepage for books at <http://www.elsevier.com>; Central Storage: This license does not include permission for a scanned version of the material to be stored in a central repository such as that provided by Heron/XanEdu.

Licensing material from an Elsevier book: A hyper-text link must be included to the Elsevier homepage at <http://www.elsevier.com>. All content posted to the web site must maintain the copyright information line on the bottom of each image.

Posting licensed content on Electronic reserve: In addition to the above the following clauses are applicable: The web site must be password-protected and made available only to bona fide students registered on a relevant course. This permission is granted for 1 year only. You may obtain a new license for future website posting.

17. For journal authors: the following clauses are applicable in addition to the above: Permission granted is limited to the author accepted manuscript version* of your paper.

***Accepted Author Manuscript (AAM) Definition:** An accepted author manuscript (AAM) is the author's version of the manuscript of an article that has been accepted for publication and which may include any author-incorporated changes suggested through the processes of submission processing, peer review, and editor-author communications. AAMs do not include other publisher value-added contributions such as copy-editing, formatting, technical enhancements and (if relevant) pagination.

You are not allowed to download and post the published journal article (whether PDF or HTML, proof or final version), nor may you scan the printed edition to create an electronic version. A hyper-text must be included to the Homepage of the journal from which you are licensing at <http://www.sciencedirect.com/science/journal/xxxxx>. As part of our normal production process, you will receive an e-mail notice when your article appears on Elsevier's online service ScienceDirect (www.sciencedirect.com). That e-mail will include the article's Digital Object Identifier (DOI). This number provides the electronic link to the published article and should be included in the posting of your personal version. We ask that you wait until you receive this e-mail and have the DOI to do any posting.

18. Posting to a repository: Authors may post their AAM immediately to their employer's institutional repository for internal use only and may make their manuscript publically available after the journal-specific embargo period has ended.

Please also refer to [Elsevier's Article Posting Policy](#) for further information.

19. For book authors the following clauses are applicable in addition to the above: Authors are permitted to place a brief summary of their work online only.. You are not allowed to download and post the published electronic version of your chapter, nor may you scan the printed edition to create an electronic version. **Posting to a repository:** Authors are permitted to post a summary of their chapter only in their institution's repository.

20. Thesis/Dissertation: If your license is for use in a thesis/dissertation your thesis may be submitted to your institution in either print or electronic form. Should your thesis be

published commercially, please reapply for permission. These requirements include permission for the Library and Archives of Canada to supply single copies, on demand, of the complete thesis and include permission for Proquest/UMI to supply single copies, on demand, of the complete thesis. Should your thesis be published commercially, please reapply for permission.

Elsevier Open Access Terms and Conditions

Elsevier publishes Open Access articles in both its Open Access journals and via its Open Access articles option in subscription journals.

Authors publishing in an Open Access journal or who choose to make their article Open Access in an Elsevier subscription journal select one of the following Creative Commons user licenses, which define how a reader may reuse their work: Creative Commons Attribution License (CC BY), Creative Commons Attribution – Non Commercial - ShareAlike (CC BY NC SA) and Creative Commons Attribution – Non Commercial – No Derivatives (CC BY NC ND)

Terms & Conditions applicable to all Elsevier Open Access articles:

Any reuse of the article must not represent the author as endorsing the adaptation of the article nor should the article be modified in such a way as to damage the author's honour or reputation.

The author(s) must be appropriately credited.

If any part of the material to be used (for example, figures) has appeared in our publication with credit or acknowledgement to another source it is the responsibility of the user to ensure their reuse complies with the terms and conditions determined by the rights holder.

Additional Terms & Conditions applicable to each Creative Commons user license:

CC BY: You may distribute and copy the article, create extracts, abstracts, and other revised versions, adaptations or derivative works of or from an article (such as a translation), to include in a collective work (such as an anthology), to text or data mine the article, including for commercial purposes without permission from Elsevier

CC BY NC SA: For non-commercial purposes you may distribute and copy the article, create extracts, abstracts and other revised versions, adaptations or derivative works of or from an article (such as a translation), to include in a collective work (such as an anthology), to text and data mine the article and license new adaptations or creations under identical terms without permission from Elsevier

CC BY NC ND: For non-commercial purposes you may distribute and copy the article and include it in a collective work (such as an anthology), provided you do not alter or modify the article, without permission from Elsevier

Any commercial reuse of Open Access articles published with a CC BY NC SA or CC BY NC ND license requires permission from Elsevier and will be subject to a fee.

Commercial reuse includes:

- Promotional purposes (advertising or marketing)

- Commercial exploitation (e.g. a product for sale or loan)
- Systematic distribution (for a fee or free of charge)

Please refer to [Elsevier's Open Access Policy](#) for further information.

21. Other Conditions:

v1.7

Questions? customercare@copyright.com or +1-855-239-3415 (toll free in the US) or +1-978-646-2777.

Gratis licenses (referencing \$0 in the Total field) are free. Please retain this printable license for your reference. No payment is required.

ELSEVIER LICENSE TERMS AND CONDITIONS

Feb 21, 2015

This is a License Agreement between Fidel Salas Vicente ("You") and Elsevier ("Elsevier") provided by Copyright Clearance Center ("CCC"). The license consists of your order details, the terms and conditions provided by Elsevier, and the payment terms and conditions.

All payments must be made in full to CCC. For payment instructions, please see information listed at the bottom of this form.

| | |
|--|---|
| Supplier | Elsevier Limited The Boulevard, Langford Lane Kidlington, Oxford, OX5 1GB, UK |
| Registered Company Number | 1982084 |
| Customer name | Fidel Salas Vicente |
| Customer address | Avda. Castellón, 5 Geldo, Castellón 12412 |
| License number | 3573581263648 |
| License date | Feb 21, 2015 |
| Licensed content publisher | Elsevier |
| Licensed content publication | Wear |
| Licensed content title | An experimental investigation of transient traction characteristics in rolling-sliding wheel/rail contacts under dry-wet conditions |
| Licensed content author | None |
| Licensed content date | 10 September 2007 |
| Licensed content volume number | 263 |
| Licensed content issue number | 1-6 |
| Number of pages | 11 |
| Start Page | 169 |
| End Page | 179 |
| Type of Use | reuse in a thesis/dissertation |
| Intended publisher of new work | other |
| Portion | figures/tables/illustrations |
| Number of figures/tables/illustrations | 1 |
| Format | both print and electronic |
| Are you the author of this Elsevier article? | No |
| Will you be translating? | No |
| Original figure numbers | Figure 11 |

| | |
|-----------------------------------|--|
| Title of your thesis/dissertation | Investigación y modelización de la adherencia, el desgaste y la fenomenología de daño asociada a la rodadura en contactos rueda-carril de aceros al carbono y bainíticos |
| Expected completion date | May 2015 |
| Estimated size (number of pages) | 440 |
| Elsevier VAT number | GB 494 6272 12 |
| Permissions price | 0.00 EUR |
| VAT/Local Sales Tax | 0.00 EUR / 0.00 GBP |
| Total | 0.00 EUR |

Terms and Conditions

INTRODUCTION

1. The publisher for this copyrighted material is Elsevier. By clicking "accept" in connection with completing this licensing transaction, you agree that the following terms and conditions apply to this transaction (along with the Billing and Payment terms and conditions established by Copyright Clearance Center, Inc. ("CCC"), at the time that you opened your Rightslink account and that are available at any time at <http://myaccount.copyright.com>).

GENERAL TERMS

2. Elsevier hereby grants you permission to reproduce the aforementioned material subject to the terms and conditions indicated.

3. Acknowledgement: If any part of the material to be used (for example, figures) has appeared in our publication with credit or acknowledgement to another source, permission must also be sought from that source. If such permission is not obtained then that material may not be included in your publication/copies. Suitable acknowledgement to the source must be made, either as a footnote or in a reference list at the end of your publication, as follows:

“Reprinted from Publication title, Vol /edition number, Author(s), Title of article / title of chapter, Pages No., Copyright (Year), with permission from Elsevier [OR APPLICABLE SOCIETY COPYRIGHT OWNER].” Also Lancet special credit - “Reprinted from The Lancet, Vol. number, Author(s), Title of article, Pages No., Copyright (Year), with permission from Elsevier.”

4. Reproduction of this material is confined to the purpose and/or media for which permission is hereby given.

5. Altering/Modifying Material: Not Permitted. However figures and illustrations may be altered/adapted minimally to serve your work. Any other abbreviations, additions, deletions and/or any other alterations shall be made only with prior written authorization of Elsevier Ltd. (Please contact Elsevier at permissions@elsevier.com)

6. If the permission fee for the requested use of our material is waived in this instance, please be advised that your future requests for Elsevier materials may attract a fee.

7. Reservation of Rights: Publisher reserves all rights not specifically granted in the combination of (i) the license details provided by you and accepted in the course of this licensing transaction, (ii) these terms and conditions and (iii) CCC's Billing and Payment terms and conditions.

8. **License Contingent Upon Payment:** While you may exercise the rights licensed immediately upon issuance of the license at the end of the licensing process for the transaction, provided that you have disclosed complete and accurate details of your proposed use, no license is finally effective unless and until full payment is received from you (either by publisher or by CCC) as provided in CCC's Billing and Payment terms and conditions. If full payment is not received on a timely basis, then any license preliminarily granted shall be deemed automatically revoked and shall be void as if never granted. Further, in the event that you breach any of these terms and conditions or any of CCC's Billing and Payment terms and conditions, the license is automatically revoked and shall be void as if never granted. Use of materials as described in a revoked license, as well as any use of the materials beyond the scope of an unrevoked license, may constitute copyright infringement and publisher reserves the right to take any and all action to protect its copyright in the materials.

9. **Warranties:** Publisher makes no representations or warranties with respect to the licensed material.

10. **Indemnity:** You hereby indemnify and agree to hold harmless publisher and CCC, and their respective officers, directors, employees and agents, from and against any and all claims arising out of your use of the licensed material other than as specifically authorized pursuant to this license.

11. **No Transfer of License:** This license is personal to you and may not be sublicensed, assigned, or transferred by you to any other person without publisher's written permission.

12. **No Amendment Except in Writing:** This license may not be amended except in a writing signed by both parties (or, in the case of publisher, by CCC on publisher's behalf).

13. **Objection to Contrary Terms:** Publisher hereby objects to any terms contained in any purchase order, acknowledgment, check endorsement or other writing prepared by you, which terms are inconsistent with these terms and conditions or CCC's Billing and Payment terms and conditions. These terms and conditions, together with CCC's Billing and Payment terms and conditions (which are incorporated herein), comprise the entire agreement between you and publisher (and CCC) concerning this licensing transaction. In the event of any conflict between your obligations established by these terms and conditions and those established by CCC's Billing and Payment terms and conditions, these terms and conditions shall control.

14. **Revocation:** Elsevier or Copyright Clearance Center may deny the permissions described in this License at their sole discretion, for any reason or no reason, with a full refund payable to you. Notice of such denial will be made using the contact information provided by you. Failure to receive such notice will not alter or invalidate the denial. In no event will Elsevier or Copyright Clearance Center be responsible or liable for any costs, expenses or damage incurred by you as a result of a denial of your permission request, other than a refund of the amount(s) paid by you to Elsevier and/or Copyright Clearance Center for denied permissions.

LIMITED LICENSE

The following terms and conditions apply only to specific license types:

15. **Translation:** This permission is granted for non-exclusive world **English** rights only unless your license was granted for translation rights. If you licensed translation rights you may only translate this content into the languages you requested. A professional translator must perform all translations and reproduce the content word for word preserving the

integrity of the article. If this license is to re-use 1 or 2 figures then permission is granted for non-exclusive world rights in all languages.

16. Posting licensed content on any Website: The following terms and conditions apply as follows: Licensing material from an Elsevier journal: All content posted to the web site must maintain the copyright information line on the bottom of each image; A hyper-text must be included to the Homepage of the journal from which you are licensing at <http://www.sciencedirect.com/science/journal/xxxxx> or the Elsevier homepage for books at <http://www.elsevier.com>; Central Storage: This license does not include permission for a scanned version of the material to be stored in a central repository such as that provided by Heron/XanEdu.

Licensing material from an Elsevier book: A hyper-text link must be included to the Elsevier homepage at <http://www.elsevier.com>. All content posted to the web site must maintain the copyright information line on the bottom of each image.

Posting licensed content on Electronic reserve: In addition to the above the following clauses are applicable: The web site must be password-protected and made available only to bona fide students registered on a relevant course. This permission is granted for 1 year only. You may obtain a new license for future website posting.

17. For journal authors: the following clauses are applicable in addition to the above: Permission granted is limited to the author accepted manuscript version* of your paper.

***Accepted Author Manuscript (AAM) Definition:** An accepted author manuscript (AAM) is the author's version of the manuscript of an article that has been accepted for publication and which may include any author-incorporated changes suggested through the processes of submission processing, peer review, and editor-author communications. AAMs do not include other publisher value-added contributions such as copy-editing, formatting, technical enhancements and (if relevant) pagination.

You are not allowed to download and post the published journal article (whether PDF or HTML, proof or final version), nor may you scan the printed edition to create an electronic version. A hyper-text must be included to the Homepage of the journal from which you are licensing at <http://www.sciencedirect.com/science/journal/xxxxx>. As part of our normal production process, you will receive an e-mail notice when your article appears on Elsevier's online service ScienceDirect (www.sciencedirect.com). That e-mail will include the article's Digital Object Identifier (DOI). This number provides the electronic link to the published article and should be included in the posting of your personal version. We ask that you wait until you receive this e-mail and have the DOI to do any posting.

18. Posting to a repository: Authors may post their AAM immediately to their employer's institutional repository for internal use only and may make their manuscript publically available after the journal-specific embargo period has ended.

Please also refer to [Elsevier's Article Posting Policy](#) for further information.

19. For book authors the following clauses are applicable in addition to the above: Authors are permitted to place a brief summary of their work online only.. You are not allowed to download and post the published electronic version of your chapter, nor may you scan the printed edition to create an electronic version. **Posting to a repository:** Authors are permitted to post a summary of their chapter only in their institution's repository.

20. Thesis/Dissertation: If your license is for use in a thesis/dissertation your thesis may be submitted to your institution in either print or electronic form. Should your thesis be

published commercially, please reapply for permission. These requirements include permission for the Library and Archives of Canada to supply single copies, on demand, of the complete thesis and include permission for Proquest/UMI to supply single copies, on demand, of the complete thesis. Should your thesis be published commercially, please reapply for permission.

Elsevier Open Access Terms and Conditions

Elsevier publishes Open Access articles in both its Open Access journals and via its Open Access articles option in subscription journals.

Authors publishing in an Open Access journal or who choose to make their article Open Access in an Elsevier subscription journal select one of the following Creative Commons user licenses, which define how a reader may reuse their work: Creative Commons Attribution License (CC BY), Creative Commons Attribution – Non Commercial - ShareAlike (CC BY NC SA) and Creative Commons Attribution – Non Commercial – No Derivatives (CC BY NC ND)

Terms & Conditions applicable to all Elsevier Open Access articles:

Any reuse of the article must not represent the author as endorsing the adaptation of the article nor should the article be modified in such a way as to damage the author's honour or reputation.

The author(s) must be appropriately credited.

If any part of the material to be used (for example, figures) has appeared in our publication with credit or acknowledgement to another source it is the responsibility of the user to ensure their reuse complies with the terms and conditions determined by the rights holder.

Additional Terms & Conditions applicable to each Creative Commons user license:

CC BY: You may distribute and copy the article, create extracts, abstracts, and other revised versions, adaptations or derivative works of or from an article (such as a translation), to include in a collective work (such as an anthology), to text or data mine the article, including for commercial purposes without permission from Elsevier

CC BY NC SA: For non-commercial purposes you may distribute and copy the article, create extracts, abstracts and other revised versions, adaptations or derivative works of or from an article (such as a translation), to include in a collective work (such as an anthology), to text and data mine the article and license new adaptations or creations under identical terms without permission from Elsevier

CC BY NC ND: For non-commercial purposes you may distribute and copy the article and include it in a collective work (such as an anthology), provided you do not alter or modify the article, without permission from Elsevier

Any commercial reuse of Open Access articles published with a CC BY NC SA or CC BY NC ND license requires permission from Elsevier and will be subject to a fee.

Commercial reuse includes:

- Promotional purposes (advertising or marketing)

- Commercial exploitation (e.g. a product for sale or loan)
- Systematic distribution (for a fee or free of charge)

Please refer to [Elsevier's Open Access Policy](#) for further information.

21. Other Conditions:

v1.7

Questions? customercare@copyright.com or +1-855-239-3415 (toll free in the US) or +1-978-646-2777.

Gratis licenses (referencing \$0 in the Total field) are free. Please retain this printable license for your reference. No payment is required.

ELSEVIER LICENSE TERMS AND CONDITIONS

Mar 04, 2015

This is a License Agreement between Fidel Salas Vicente ("You") and Elsevier ("Elsevier") provided by Copyright Clearance Center ("CCC"). The license consists of your order details, the terms and conditions provided by Elsevier, and the payment terms and conditions.

All payments must be made in full to CCC. For payment instructions, please see information listed at the bottom of this form.

| | |
|--|---|
| Supplier | Elsevier Limited The Boulevard,Langford Lane Kidlington,Oxford,OX5 1GB,UK |
| Registered Company Number | 1982084 |
| Customer name | Fidel Salas Vicente |
| Customer address | Avda. Castellón, 5 Geldo, Castellón 12412 |
| License number | 3582030083507 |
| License date | Mar 04, 2015 |
| Licensed content publisher | Elsevier |
| Licensed content publication | Wear |
| Licensed content title | An experimental investigation of transient traction characteristics in rolling-sliding wheel/rail contacts under dry-wet conditions |
| Licensed content author | None |
| Licensed content date | 10 September 2007 |
| Licensed content volume number | 263 |
| Licensed content issue number | 1-6 |
| Number of pages | 11 |
| Start Page | 169 |
| End Page | 179 |
| Type of Use | reuse in a thesis/dissertation |
| Intended publisher of new work | other |
| Portion | figures/tables/illustrations |
| Number of figures/tables/illustrations | 1 |
| Format | both print and electronic |
| Are you the author of this Elsevier article? | No |
| Will you be translating? | No |
| Original figure numbers | Figure 5 |

| | |
|-----------------------------------|--|
| Title of your thesis/dissertation | Investigación y modelización de la adherencia, el desgaste y la fenomenología de daño asociada a la rodadura en contactos rueda-carril de aceros al carbono y bainíticos |
| Expected completion date | May 2015 |
| Estimated size (number of pages) | 440 |
| Elsevier VAT number | GB 494 6272 12 |
| Permissions price | 0.00 EUR |
| VAT/Local Sales Tax | 0.00 EUR / 0.00 GBP |
| Total | 0.00 EUR |

Terms and Conditions

INTRODUCTION

1. The publisher for this copyrighted material is Elsevier. By clicking "accept" in connection with completing this licensing transaction, you agree that the following terms and conditions apply to this transaction (along with the Billing and Payment terms and conditions established by Copyright Clearance Center, Inc. ("CCC"), at the time that you opened your Rightslink account and that are available at any time at <http://myaccount.copyright.com>).

GENERAL TERMS

2. Elsevier hereby grants you permission to reproduce the aforementioned material subject to the terms and conditions indicated.

3. Acknowledgement: If any part of the material to be used (for example, figures) has appeared in our publication with credit or acknowledgement to another source, permission must also be sought from that source. If such permission is not obtained then that material may not be included in your publication/copies. Suitable acknowledgement to the source must be made, either as a footnote or in a reference list at the end of your publication, as follows:

"Reprinted from Publication title, Vol /edition number, Author(s), Title of article / title of chapter, Pages No., Copyright (Year), with permission from Elsevier [OR APPLICABLE SOCIETY COPYRIGHT OWNER]." Also Lancet special credit - "Reprinted from The Lancet, Vol. number, Author(s), Title of article, Pages No., Copyright (Year), with permission from Elsevier."

4. Reproduction of this material is confined to the purpose and/or media for which permission is hereby given.

5. Altering/Modifying Material: Not Permitted. However figures and illustrations may be altered/adapted minimally to serve your work. Any other abbreviations, additions, deletions and/or any other alterations shall be made only with prior written authorization of Elsevier Ltd. (Please contact Elsevier at permissions@elsevier.com)

6. If the permission fee for the requested use of our material is waived in this instance, please be advised that your future requests for Elsevier materials may attract a fee.

7. Reservation of Rights: Publisher reserves all rights not specifically granted in the combination of (i) the license details provided by you and accepted in the course of this licensing transaction, (ii) these terms and conditions and (iii) CCC's Billing and Payment terms and conditions.

8. **License Contingent Upon Payment:** While you may exercise the rights licensed immediately upon issuance of the license at the end of the licensing process for the transaction, provided that you have disclosed complete and accurate details of your proposed use, no license is finally effective unless and until full payment is received from you (either by publisher or by CCC) as provided in CCC's Billing and Payment terms and conditions. If full payment is not received on a timely basis, then any license preliminarily granted shall be deemed automatically revoked and shall be void as if never granted. Further, in the event that you breach any of these terms and conditions or any of CCC's Billing and Payment terms and conditions, the license is automatically revoked and shall be void as if never granted. Use of materials as described in a revoked license, as well as any use of the materials beyond the scope of an unrevoked license, may constitute copyright infringement and publisher reserves the right to take any and all action to protect its copyright in the materials.

9. **Warranties:** Publisher makes no representations or warranties with respect to the licensed material.

10. **Indemnity:** You hereby indemnify and agree to hold harmless publisher and CCC, and their respective officers, directors, employees and agents, from and against any and all claims arising out of your use of the licensed material other than as specifically authorized pursuant to this license.

11. **No Transfer of License:** This license is personal to you and may not be sublicensed, assigned, or transferred by you to any other person without publisher's written permission.

12. **No Amendment Except in Writing:** This license may not be amended except in a writing signed by both parties (or, in the case of publisher, by CCC on publisher's behalf).

13. **Objection to Contrary Terms:** Publisher hereby objects to any terms contained in any purchase order, acknowledgment, check endorsement or other writing prepared by you, which terms are inconsistent with these terms and conditions or CCC's Billing and Payment terms and conditions. These terms and conditions, together with CCC's Billing and Payment terms and conditions (which are incorporated herein), comprise the entire agreement between you and publisher (and CCC) concerning this licensing transaction. In the event of any conflict between your obligations established by these terms and conditions and those established by CCC's Billing and Payment terms and conditions, these terms and conditions shall control.

14. **Revocation:** Elsevier or Copyright Clearance Center may deny the permissions described in this License at their sole discretion, for any reason or no reason, with a full refund payable to you. Notice of such denial will be made using the contact information provided by you. Failure to receive such notice will not alter or invalidate the denial. In no event will Elsevier or Copyright Clearance Center be responsible or liable for any costs, expenses or damage incurred by you as a result of a denial of your permission request, other than a refund of the amount(s) paid by you to Elsevier and/or Copyright Clearance Center for denied permissions.

LIMITED LICENSE

The following terms and conditions apply only to specific license types:

15. **Translation:** This permission is granted for non-exclusive world **English** rights only unless your license was granted for translation rights. If you licensed translation rights you may only translate this content into the languages you requested. A professional translator must perform all translations and reproduce the content word for word preserving the

integrity of the article. If this license is to re-use 1 or 2 figures then permission is granted for non-exclusive world rights in all languages.

16. Posting licensed content on any Website: The following terms and conditions apply as follows: Licensing material from an Elsevier journal: All content posted to the web site must maintain the copyright information line on the bottom of each image; A hyper-text must be included to the Homepage of the journal from which you are licensing at <http://www.sciencedirect.com/science/journal/xxxxx> or the Elsevier homepage for books at <http://www.elsevier.com>; Central Storage: This license does not include permission for a scanned version of the material to be stored in a central repository such as that provided by Heron/XanEdu.

Licensing material from an Elsevier book: A hyper-text link must be included to the Elsevier homepage at <http://www.elsevier.com> . All content posted to the web site must maintain the copyright information line on the bottom of each image.

Posting licensed content on Electronic reserve: In addition to the above the following clauses are applicable: The web site must be password-protected and made available only to bona fide students registered on a relevant course. This permission is granted for 1 year only. You may obtain a new license for future website posting.

17. For journal authors: the following clauses are applicable in addition to the above:

Preprints:

A preprint is an author's own write-up of research results and analysis, it has not been peer-reviewed, nor has it had any other value added to it by a publisher (such as formatting, copyright, technical enhancement etc.).

Authors can share their preprints anywhere at any time. Preprints should not be added to or enhanced in any way in order to appear more like, or to substitute for, the final versions of articles however authors can update their preprints on arXiv or RePEc with their Accepted Author Manuscript (see below).

If accepted for publication, we encourage authors to link from the preprint to their formal publication via its DOI. Millions of researchers have access to the formal publications on ScienceDirect, and so links will help users to find, access, cite and use the best available version. Please note that Cell Press, The Lancet and some society-owned have different preprint policies. Information on these policies is available on the journal homepage.

Accepted Author Manuscripts: An accepted author manuscript is the manuscript of an article that has been accepted for publication and which typically includes author-incorporated changes suggested during submission, peer review and editor-author communications.

Authors can share their accepted author manuscript:

- immediately
 - via their non-commercial person homepage or blog
 - by updating a preprint in arXiv or RePEc with the accepted manuscript
 - via their research institute or institutional repository for internal institutional

uses or as part of an invitation-only research collaboration work-group

- directly by providing copies to their students or to research collaborators for their personal use
 - for private scholarly sharing as part of an invitation-only work group on commercial sites with which Elsevier has an agreement
- after the embargo period
- via non-commercial hosting platforms such as their institutional repository
 - via commercial sites with which Elsevier has an agreement

In all cases accepted manuscripts should:

- link to the formal publication via its DOI
- bear a CC-BY-NC-ND license - this is easy to do
- if aggregated with other manuscripts, for example in a repository or other site, be shared in alignment with our hosting policy not be added to or enhanced in any way to appear more like, or to substitute for, the published journal article.

Published journal article (JPA): A published journal article (PJA) is the definitive final record of published research that appears or will appear in the journal and embodies all value-adding publishing activities including peer review co-ordination, copy-editing, formatting, (if relevant) pagination and online enrichment.

Policies for sharing publishing journal articles differ for subscription and gold open access articles:

Subscription Articles: If you are an author, please share a link to your article rather than the full-text. Millions of researchers have access to the formal publications on ScienceDirect, and so links will help your users to find, access, cite, and use the best available version.

Theses and dissertations which contain embedded PJAs as part of the formal submission can be posted publicly by the awarding institution with DOI links back to the formal publications on ScienceDirect.

If you are affiliated with a library that subscribes to ScienceDirect you have additional private sharing rights for others' research accessed under that agreement. This includes use for classroom teaching and internal training at the institution (including use in course packs and courseware programs), and inclusion of the article for grant funding purposes.

Gold Open Access Articles: May be shared according to the author-selected end-user license and should contain a [CrossMark logo](#), the end user license, and a DOI link to the formal publication on ScienceDirect.

Please refer to Elsevier's [posting policy](#) for further information.

18. **For book authors** the following clauses are applicable in addition to the above: Authors are permitted to place a brief summary of their work online only. You are not allowed to download and post the published electronic version of your chapter, nor may you scan the printed edition to create an electronic version. **Posting to a repository:** Authors are

permitted to post a summary of their chapter only in their institution's repository.

19. Thesis/Dissertation: If your license is for use in a thesis/dissertation your thesis may be submitted to your institution in either print or electronic form. Should your thesis be published commercially, please reapply for permission. These requirements include permission for the Library and Archives of Canada to supply single copies, on demand, of the complete thesis and include permission for Proquest/UMI to supply single copies, on demand, of the complete thesis. Should your thesis be published commercially, please reapply for permission. Theses and dissertations which contain embedded PJAs as part of the formal submission can be posted publicly by the awarding institution with DOI links back to the formal publications on ScienceDirect.

Elsevier Open Access Terms and Conditions

You can publish open access with Elsevier in hundreds of open access journals or in nearly 2000 established subscription journals that support open access publishing. Permitted third party re-use of these open access articles is defined by the author's choice of Creative Commons user license. See our [open access license policy](#) for more information.

Terms & Conditions applicable to all Open Access articles published with Elsevier:

Any reuse of the article must not represent the author as endorsing the adaptation of the article nor should the article be modified in such a way as to damage the author's honour or reputation. If any changes have been made, such changes must be clearly indicated.

The author(s) must be appropriately credited and we ask that you include the end user license and a DOI link to the formal publication on ScienceDirect.

If any part of the material to be used (for example, figures) has appeared in our publication with credit or acknowledgement to another source it is the responsibility of the user to ensure their reuse complies with the terms and conditions determined by the rights holder.

Additional Terms & Conditions applicable to each Creative Commons user license:

CC BY: The CC-BY license allows users to copy, to create extracts, abstracts and new works from the Article, to alter and revise the Article and to make commercial use of the Article (including reuse and/or resale of the Article by commercial entities), provided the user gives appropriate credit (with a link to the formal publication through the relevant DOI), provides a link to the license, indicates if changes were made and the licensor is not represented as endorsing the use made of the work. The full details of the license are available at <http://creativecommons.org/licenses/by/4.0>.

CC BY NC SA: The CC BY-NC-SA license allows users to copy, to create extracts, abstracts and new works from the Article, to alter and revise the Article, provided this is not done for commercial purposes, and that the user gives appropriate credit (with a link to the formal publication through the relevant DOI), provides a link to the license, indicates if changes were made and the licensor is not represented as endorsing the use made of the work. Further, any new works must be made available on the same conditions. The full details of the license are available at <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0>.

CC BY NC ND: The CC BY-NC-ND license allows users to copy and distribute the Article, provided this is not done for commercial purposes and further does not permit distribution of the Article if it is changed or edited in any way, and provided the user gives appropriate

credit (with a link to the formal publication through the relevant DOI), provides a link to the license, and that the licensor is not represented as endorsing the use made of the work. The full details of the license are available at <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0>. Any commercial reuse of Open Access articles published with a CC BY NC SA or CC BY NC ND license requires permission from Elsevier and will be subject to a fee.

Commercial reuse includes:

- Associating advertising with the full text of the Article
- Charging fees for document delivery or access
- Article aggregation
- Systematic distribution via e-mail lists or share buttons

Posting or linking by commercial companies for use by customers of those companies.

20. Other Conditions:

Questions? customercare@copyright.com or +1-855-239-3415 (toll free in the US) or +1-978-646-2777.

Gratis licenses (referencing \$0 in the Total field) are free. Please retain this printable license for your reference. No payment is required.

ELSEVIER LICENSE TERMS AND CONDITIONS

Mar 04, 2015

This is a License Agreement between Fidel Salas Vicente ("You") and Elsevier ("Elsevier") provided by Copyright Clearance Center ("CCC"). The license consists of your order details, the terms and conditions provided by Elsevier, and the payment terms and conditions.

All payments must be made in full to CCC. For payment instructions, please see information listed at the bottom of this form.

| | |
|--|---|
| Supplier | Elsevier Limited The Boulevard, Langford Lane Kidlington, Oxford, OX5 1GB, UK |
| Registered Company Number | 1982084 |
| Customer name | Fidel Salas Vicente |
| Customer address | Avda. Castellón, 5 Geldo, Castellón 12412 |
| License number | 3582030199604 |
| License date | Mar 04, 2015 |
| Licensed content publisher | Elsevier |
| Licensed content publication | Wear |
| Licensed content title | An experimental investigation of transient traction characteristics in rolling-sliding wheel/rail contacts under dry-wet conditions |
| Licensed content author | None |
| Licensed content date | 10 September 2007 |
| Licensed content volume number | 263 |
| Licensed content issue number | 1-6 |
| Number of pages | 11 |
| Start Page | 169 |
| End Page | 179 |
| Type of Use | reuse in a thesis/dissertation |
| Intended publisher of new work | other |
| Portion | figures/tables/illustrations |
| Number of figures/tables/illustrations | 1 |
| Format | both print and electronic |
| Are you the author of this Elsevier article? | No |
| Will you be translating? | No |
| Original figure numbers | Figure 3 |

| | |
|-----------------------------------|--|
| Title of your thesis/dissertation | Investigación y modelización de la adherencia, el desgaste y la fenomenología de daño asociada a la rodadura en contactos rueda-carril de aceros al carbono y bainíticos |
| Expected completion date | May 2015 |
| Estimated size (number of pages) | 440 |
| Elsevier VAT number | GB 494 6272 12 |
| Permissions price | 0.00 EUR |
| VAT/Local Sales Tax | 0.00 EUR / 0.00 GBP |
| Total | 0.00 EUR |

Terms and Conditions

INTRODUCTION

1. The publisher for this copyrighted material is Elsevier. By clicking "accept" in connection with completing this licensing transaction, you agree that the following terms and conditions apply to this transaction (along with the Billing and Payment terms and conditions established by Copyright Clearance Center, Inc. ("CCC"), at the time that you opened your Rightslink account and that are available at any time at <http://myaccount.copyright.com>).

GENERAL TERMS

2. Elsevier hereby grants you permission to reproduce the aforementioned material subject to the terms and conditions indicated.

3. Acknowledgement: If any part of the material to be used (for example, figures) has appeared in our publication with credit or acknowledgement to another source, permission must also be sought from that source. If such permission is not obtained then that material may not be included in your publication/copies. Suitable acknowledgement to the source must be made, either as a footnote or in a reference list at the end of your publication, as follows:

"Reprinted from Publication title, Vol /edition number, Author(s), Title of article / title of chapter, Pages No., Copyright (Year), with permission from Elsevier [OR APPLICABLE SOCIETY COPYRIGHT OWNER]." Also Lancet special credit - "Reprinted from The Lancet, Vol. number, Author(s), Title of article, Pages No., Copyright (Year), with permission from Elsevier."

4. Reproduction of this material is confined to the purpose and/or media for which permission is hereby given.

5. Altering/Modifying Material: Not Permitted. However figures and illustrations may be altered/adapted minimally to serve your work. Any other abbreviations, additions, deletions and/or any other alterations shall be made only with prior written authorization of Elsevier Ltd. (Please contact Elsevier at permissions@elsevier.com)

6. If the permission fee for the requested use of our material is waived in this instance, please be advised that your future requests for Elsevier materials may attract a fee.

7. Reservation of Rights: Publisher reserves all rights not specifically granted in the combination of (i) the license details provided by you and accepted in the course of this licensing transaction, (ii) these terms and conditions and (iii) CCC's Billing and Payment terms and conditions.

8. **License Contingent Upon Payment:** While you may exercise the rights licensed immediately upon issuance of the license at the end of the licensing process for the transaction, provided that you have disclosed complete and accurate details of your proposed use, no license is finally effective unless and until full payment is received from you (either by publisher or by CCC) as provided in CCC's Billing and Payment terms and conditions. If full payment is not received on a timely basis, then any license preliminarily granted shall be deemed automatically revoked and shall be void as if never granted. Further, in the event that you breach any of these terms and conditions or any of CCC's Billing and Payment terms and conditions, the license is automatically revoked and shall be void as if never granted. Use of materials as described in a revoked license, as well as any use of the materials beyond the scope of an unrevoked license, may constitute copyright infringement and publisher reserves the right to take any and all action to protect its copyright in the materials.

9. **Warranties:** Publisher makes no representations or warranties with respect to the licensed material.

10. **Indemnity:** You hereby indemnify and agree to hold harmless publisher and CCC, and their respective officers, directors, employees and agents, from and against any and all claims arising out of your use of the licensed material other than as specifically authorized pursuant to this license.

11. **No Transfer of License:** This license is personal to you and may not be sublicensed, assigned, or transferred by you to any other person without publisher's written permission.

12. **No Amendment Except in Writing:** This license may not be amended except in a writing signed by both parties (or, in the case of publisher, by CCC on publisher's behalf).

13. **Objection to Contrary Terms:** Publisher hereby objects to any terms contained in any purchase order, acknowledgment, check endorsement or other writing prepared by you, which terms are inconsistent with these terms and conditions or CCC's Billing and Payment terms and conditions. These terms and conditions, together with CCC's Billing and Payment terms and conditions (which are incorporated herein), comprise the entire agreement between you and publisher (and CCC) concerning this licensing transaction. In the event of any conflict between your obligations established by these terms and conditions and those established by CCC's Billing and Payment terms and conditions, these terms and conditions shall control.

14. **Revocation:** Elsevier or Copyright Clearance Center may deny the permissions described in this License at their sole discretion, for any reason or no reason, with a full refund payable to you. Notice of such denial will be made using the contact information provided by you. Failure to receive such notice will not alter or invalidate the denial. In no event will Elsevier or Copyright Clearance Center be responsible or liable for any costs, expenses or damage incurred by you as a result of a denial of your permission request, other than a refund of the amount(s) paid by you to Elsevier and/or Copyright Clearance Center for denied permissions.

LIMITED LICENSE

The following terms and conditions apply only to specific license types:

15. **Translation:** This permission is granted for non-exclusive world **English** rights only unless your license was granted for translation rights. If you licensed translation rights you may only translate this content into the languages you requested. A professional translator must perform all translations and reproduce the content word for word preserving the

integrity of the article. If this license is to re-use 1 or 2 figures then permission is granted for non-exclusive world rights in all languages.

16. Posting licensed content on any Website: The following terms and conditions apply as follows: Licensing material from an Elsevier journal: All content posted to the web site must maintain the copyright information line on the bottom of each image; A hyper-text must be included to the Homepage of the journal from which you are licensing at <http://www.sciencedirect.com/science/journal/xxxxx> or the Elsevier homepage for books at <http://www.elsevier.com>; Central Storage: This license does not include permission for a scanned version of the material to be stored in a central repository such as that provided by Heron/XanEdu.

Licensing material from an Elsevier book: A hyper-text link must be included to the Elsevier homepage at <http://www.elsevier.com> . All content posted to the web site must maintain the copyright information line on the bottom of each image.

Posting licensed content on Electronic reserve: In addition to the above the following clauses are applicable: The web site must be password-protected and made available only to bona fide students registered on a relevant course. This permission is granted for 1 year only. You may obtain a new license for future website posting.

17. For journal authors: the following clauses are applicable in addition to the above:

Preprints:

A preprint is an author's own write-up of research results and analysis, it has not been peer-reviewed, nor has it had any other value added to it by a publisher (such as formatting, copyright, technical enhancement etc.).

Authors can share their preprints anywhere at any time. Preprints should not be added to or enhanced in any way in order to appear more like, or to substitute for, the final versions of articles however authors can update their preprints on arXiv or RePEc with their Accepted Author Manuscript (see below).

If accepted for publication, we encourage authors to link from the preprint to their formal publication via its DOI. Millions of researchers have access to the formal publications on ScienceDirect, and so links will help users to find, access, cite and use the best available version. Please note that Cell Press, The Lancet and some society-owned have different preprint policies. Information on these policies is available on the journal homepage.

Accepted Author Manuscripts: An accepted author manuscript is the manuscript of an article that has been accepted for publication and which typically includes author-incorporated changes suggested during submission, peer review and editor-author communications.

Authors can share their accepted author manuscript:

- immediately
 - via their non-commercial person homepage or blog
 - by updating a preprint in arXiv or RePEc with the accepted manuscript
 - via their research institute or institutional repository for internal institutional

uses or as part of an invitation-only research collaboration work-group

- directly by providing copies to their students or to research collaborators for their personal use
 - for private scholarly sharing as part of an invitation-only work group on commercial sites with which Elsevier has an agreement
- after the embargo period
- via non-commercial hosting platforms such as their institutional repository
 - via commercial sites with which Elsevier has an agreement

In all cases accepted manuscripts should:

- link to the formal publication via its DOI
- bear a CC-BY-NC-ND license - this is easy to do
- if aggregated with other manuscripts, for example in a repository or other site, be shared in alignment with our hosting policy not be added to or enhanced in any way to appear more like, or to substitute for, the published journal article.

Published journal article (JPA): A published journal article (PJA) is the definitive final record of published research that appears or will appear in the journal and embodies all value-adding publishing activities including peer review co-ordination, copy-editing, formatting, (if relevant) pagination and online enrichment.

Policies for sharing publishing journal articles differ for subscription and gold open access articles:

Subscription Articles: If you are an author, please share a link to your article rather than the full-text. Millions of researchers have access to the formal publications on ScienceDirect, and so links will help your users to find, access, cite, and use the best available version.

Theses and dissertations which contain embedded PJAs as part of the formal submission can be posted publicly by the awarding institution with DOI links back to the formal publications on ScienceDirect.

If you are affiliated with a library that subscribes to ScienceDirect you have additional private sharing rights for others' research accessed under that agreement. This includes use for classroom teaching and internal training at the institution (including use in course packs and courseware programs), and inclusion of the article for grant funding purposes.

Gold Open Access Articles: May be shared according to the author-selected end-user license and should contain a [CrossMark logo](#), the end user license, and a DOI link to the formal publication on ScienceDirect.

Please refer to Elsevier's [posting policy](#) for further information.

18. **For book authors** the following clauses are applicable in addition to the above: Authors are permitted to place a brief summary of their work online only. You are not allowed to download and post the published electronic version of your chapter, nor may you scan the printed edition to create an electronic version. **Posting to a repository:** Authors are

permitted to post a summary of their chapter only in their institution's repository.

19. Thesis/Dissertation: If your license is for use in a thesis/dissertation your thesis may be submitted to your institution in either print or electronic form. Should your thesis be published commercially, please reapply for permission. These requirements include permission for the Library and Archives of Canada to supply single copies, on demand, of the complete thesis and include permission for Proquest/UMI to supply single copies, on demand, of the complete thesis. Should your thesis be published commercially, please reapply for permission. Theses and dissertations which contain embedded PJAs as part of the formal submission can be posted publicly by the awarding institution with DOI links back to the formal publications on ScienceDirect.

Elsevier Open Access Terms and Conditions

You can publish open access with Elsevier in hundreds of open access journals or in nearly 2000 established subscription journals that support open access publishing. Permitted third party re-use of these open access articles is defined by the author's choice of Creative Commons user license. See our [open access license policy](#) for more information.

Terms & Conditions applicable to all Open Access articles published with Elsevier:

Any reuse of the article must not represent the author as endorsing the adaptation of the article nor should the article be modified in such a way as to damage the author's honour or reputation. If any changes have been made, such changes must be clearly indicated.

The author(s) must be appropriately credited and we ask that you include the end user license and a DOI link to the formal publication on ScienceDirect.

If any part of the material to be used (for example, figures) has appeared in our publication with credit or acknowledgement to another source it is the responsibility of the user to ensure their reuse complies with the terms and conditions determined by the rights holder.

Additional Terms & Conditions applicable to each Creative Commons user license:

CC BY: The CC-BY license allows users to copy, to create extracts, abstracts and new works from the Article, to alter and revise the Article and to make commercial use of the Article (including reuse and/or resale of the Article by commercial entities), provided the user gives appropriate credit (with a link to the formal publication through the relevant DOI), provides a link to the license, indicates if changes were made and the licensor is not represented as endorsing the use made of the work. The full details of the license are available at <http://creativecommons.org/licenses/by/4.0>.

CC BY NC SA: The CC BY-NC-SA license allows users to copy, to create extracts, abstracts and new works from the Article, to alter and revise the Article, provided this is not done for commercial purposes, and that the user gives appropriate credit (with a link to the formal publication through the relevant DOI), provides a link to the license, indicates if changes were made and the licensor is not represented as endorsing the use made of the work. Further, any new works must be made available on the same conditions. The full details of the license are available at <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0>.

CC BY NC ND: The CC BY-NC-ND license allows users to copy and distribute the Article, provided this is not done for commercial purposes and further does not permit distribution of the Article if it is changed or edited in any way, and provided the user gives appropriate

credit (with a link to the formal publication through the relevant DOI), provides a link to the license, and that the licensor is not represented as endorsing the use made of the work. The full details of the license are available at <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0>. Any commercial reuse of Open Access articles published with a CC BY NC SA or CC BY NC ND license requires permission from Elsevier and will be subject to a fee.

Commercial reuse includes:

- Associating advertising with the full text of the Article
- Charging fees for document delivery or access
- Article aggregation
- Systematic distribution via e-mail lists or share buttons

Posting or linking by commercial companies for use by customers of those companies.

20. Other Conditions:

Questions? customercare@copyright.com or +1-855-239-3415 (toll free in the US) or +1-978-646-2777.

Gratis licenses (referencing \$0 in the Total field) are free. Please retain this printable license for your reference. No payment is required.

ELSEVIER LICENSE TERMS AND CONDITIONS

Feb 20, 2015

This is a License Agreement between Fidel Salas Vicente ("You") and Elsevier ("Elsevier") provided by Copyright Clearance Center ("CCC"). The license consists of your order details, the terms and conditions provided by Elsevier, and the payment terms and conditions.

All payments must be made in full to CCC. For payment instructions, please see information listed at the bottom of this form.

| | |
|--|---|
| Supplier | Elsevier Limited The Boulevard,Langford Lane Kidlington,Oxford,OX5 1GB,UK |
| Registered Company Number | 1982084 |
| Customer name | Fidel Salas Vicente |
| Customer address | Avda. Castellón, 5 Geldo, Castellón 12412 |
| License number | 3573190167486 |
| License date | Feb 20, 2015 |
| Licensed content publisher | Elsevier |
| Licensed content publication | Wear |
| Licensed content title | An experimental investigation of transient traction characteristics in rolling-sliding wheel/rail contacts under dry-wet conditions |
| Licensed content author | None |
| Licensed content date | 10 September 2007 |
| Licensed content volume number | 263 |
| Licensed content issue number | 1-6 |
| Number of pages | 11 |
| Start Page | 169 |
| End Page | 179 |
| Type of Use | reuse in a thesis/dissertation |
| Intended publisher of new work | other |
| Portion | figures/tables/illustrations |
| Number of figures/tables/illustrations | 3 |
| Format | both print and electronic |
| Are you the author of this Elsevier article? | No |
| Will you be translating? | No |
| Original figure numbers | Figures 4,6,8 |

| | |
|-----------------------------------|--|
| Title of your thesis/dissertation | Investigación y modelización de la adherencia, el desgaste y la fenomenología de daño asociada a la rodadura en contactos rueda-carril de aceros al carbono y bainíticos |
| Expected completion date | May 2015 |
| Estimated size (number of pages) | 440 |
| Elsevier VAT number | GB 494 6272 12 |
| Permissions price | 0.00 EUR |
| VAT/Local Sales Tax | 0.00 USD / 0.00 GBP |
| Total | 0.00 EUR |

Terms and Conditions

INTRODUCTION

1. The publisher for this copyrighted material is Elsevier. By clicking "accept" in connection with completing this licensing transaction, you agree that the following terms and conditions apply to this transaction (along with the Billing and Payment terms and conditions established by Copyright Clearance Center, Inc. ("CCC"), at the time that you opened your Rightslink account and that are available at any time at <http://myaccount.copyright.com>).

GENERAL TERMS

2. Elsevier hereby grants you permission to reproduce the aforementioned material subject to the terms and conditions indicated.

3. Acknowledgement: If any part of the material to be used (for example, figures) has appeared in our publication with credit or acknowledgement to another source, permission must also be sought from that source. If such permission is not obtained then that material may not be included in your publication/copies. Suitable acknowledgement to the source must be made, either as a footnote or in a reference list at the end of your publication, as follows:

“Reprinted from Publication title, Vol /edition number, Author(s), Title of article / title of chapter, Pages No., Copyright (Year), with permission from Elsevier [OR APPLICABLE SOCIETY COPYRIGHT OWNER].” Also Lancet special credit - “Reprinted from The Lancet, Vol. number, Author(s), Title of article, Pages No., Copyright (Year), with permission from Elsevier.”

4. Reproduction of this material is confined to the purpose and/or media for which permission is hereby given.

5. Altering/Modifying Material: Not Permitted. However figures and illustrations may be altered/adapted minimally to serve your work. Any other abbreviations, additions, deletions and/or any other alterations shall be made only with prior written authorization of Elsevier Ltd. (Please contact Elsevier at permissions@elsevier.com)

6. If the permission fee for the requested use of our material is waived in this instance, please be advised that your future requests for Elsevier materials may attract a fee.

7. Reservation of Rights: Publisher reserves all rights not specifically granted in the combination of (i) the license details provided by you and accepted in the course of this licensing transaction, (ii) these terms and conditions and (iii) CCC's Billing and Payment terms and conditions.

8. **License Contingent Upon Payment:** While you may exercise the rights licensed immediately upon issuance of the license at the end of the licensing process for the transaction, provided that you have disclosed complete and accurate details of your proposed use, no license is finally effective unless and until full payment is received from you (either by publisher or by CCC) as provided in CCC's Billing and Payment terms and conditions. If full payment is not received on a timely basis, then any license preliminarily granted shall be deemed automatically revoked and shall be void as if never granted. Further, in the event that you breach any of these terms and conditions or any of CCC's Billing and Payment terms and conditions, the license is automatically revoked and shall be void as if never granted. Use of materials as described in a revoked license, as well as any use of the materials beyond the scope of an unrevoked license, may constitute copyright infringement and publisher reserves the right to take any and all action to protect its copyright in the materials.

9. **Warranties:** Publisher makes no representations or warranties with respect to the licensed material.

10. **Indemnity:** You hereby indemnify and agree to hold harmless publisher and CCC, and their respective officers, directors, employees and agents, from and against any and all claims arising out of your use of the licensed material other than as specifically authorized pursuant to this license.

11. **No Transfer of License:** This license is personal to you and may not be sublicensed, assigned, or transferred by you to any other person without publisher's written permission.

12. **No Amendment Except in Writing:** This license may not be amended except in a writing signed by both parties (or, in the case of publisher, by CCC on publisher's behalf).

13. **Objection to Contrary Terms:** Publisher hereby objects to any terms contained in any purchase order, acknowledgment, check endorsement or other writing prepared by you, which terms are inconsistent with these terms and conditions or CCC's Billing and Payment terms and conditions. These terms and conditions, together with CCC's Billing and Payment terms and conditions (which are incorporated herein), comprise the entire agreement between you and publisher (and CCC) concerning this licensing transaction. In the event of any conflict between your obligations established by these terms and conditions and those established by CCC's Billing and Payment terms and conditions, these terms and conditions shall control.

14. **Revocation:** Elsevier or Copyright Clearance Center may deny the permissions described in this License at their sole discretion, for any reason or no reason, with a full refund payable to you. Notice of such denial will be made using the contact information provided by you. Failure to receive such notice will not alter or invalidate the denial. In no event will Elsevier or Copyright Clearance Center be responsible or liable for any costs, expenses or damage incurred by you as a result of a denial of your permission request, other than a refund of the amount(s) paid by you to Elsevier and/or Copyright Clearance Center for denied permissions.

LIMITED LICENSE

The following terms and conditions apply only to specific license types:

15. **Translation:** This permission is granted for non-exclusive world **English** rights only unless your license was granted for translation rights. If you licensed translation rights you may only translate this content into the languages you requested. A professional translator must perform all translations and reproduce the content word for word preserving the

integrity of the article. If this license is to re-use 1 or 2 figures then permission is granted for non-exclusive world rights in all languages.

16. Posting licensed content on any Website: The following terms and conditions apply as follows: Licensing material from an Elsevier journal: All content posted to the web site must maintain the copyright information line on the bottom of each image; A hyper-text must be included to the Homepage of the journal from which you are licensing at <http://www.sciencedirect.com/science/journal/xxxxx> or the Elsevier homepage for books at <http://www.elsevier.com>; Central Storage: This license does not include permission for a scanned version of the material to be stored in a central repository such as that provided by Heron/XanEdu.

Licensing material from an Elsevier book: A hyper-text link must be included to the Elsevier homepage at <http://www.elsevier.com>. All content posted to the web site must maintain the copyright information line on the bottom of each image.

Posting licensed content on Electronic reserve: In addition to the above the following clauses are applicable: The web site must be password-protected and made available only to bona fide students registered on a relevant course. This permission is granted for 1 year only. You may obtain a new license for future website posting.

17. For journal authors: the following clauses are applicable in addition to the above: Permission granted is limited to the author accepted manuscript version* of your paper.

***Accepted Author Manuscript (AAM) Definition:** An accepted author manuscript (AAM) is the author's version of the manuscript of an article that has been accepted for publication and which may include any author-incorporated changes suggested through the processes of submission processing, peer review, and editor-author communications. AAMs do not include other publisher value-added contributions such as copy-editing, formatting, technical enhancements and (if relevant) pagination.

You are not allowed to download and post the published journal article (whether PDF or HTML, proof or final version), nor may you scan the printed edition to create an electronic version. A hyper-text must be included to the Homepage of the journal from which you are licensing at <http://www.sciencedirect.com/science/journal/xxxxx>. As part of our normal production process, you will receive an e-mail notice when your article appears on Elsevier's online service ScienceDirect (www.sciencedirect.com). That e-mail will include the article's Digital Object Identifier (DOI). This number provides the electronic link to the published article and should be included in the posting of your personal version. We ask that you wait until you receive this e-mail and have the DOI to do any posting.

18. Posting to a repository: Authors may post their AAM immediately to their employer's institutional repository for internal use only and may make their manuscript publically available after the journal-specific embargo period has ended.

Please also refer to [Elsevier's Article Posting Policy](#) for further information.

19. For book authors the following clauses are applicable in addition to the above: Authors are permitted to place a brief summary of their work online only.. You are not allowed to download and post the published electronic version of your chapter, nor may you scan the printed edition to create an electronic version. **Posting to a repository:** Authors are permitted to post a summary of their chapter only in their institution's repository.

20. Thesis/Dissertation: If your license is for use in a thesis/dissertation your thesis may be submitted to your institution in either print or electronic form. Should your thesis be

published commercially, please reapply for permission. These requirements include permission for the Library and Archives of Canada to supply single copies, on demand, of the complete thesis and include permission for Proquest/UMI to supply single copies, on demand, of the complete thesis. Should your thesis be published commercially, please reapply for permission.

Elsevier Open Access Terms and Conditions

Elsevier publishes Open Access articles in both its Open Access journals and via its Open Access articles option in subscription journals.

Authors publishing in an Open Access journal or who choose to make their article Open Access in an Elsevier subscription journal select one of the following Creative Commons user licenses, which define how a reader may reuse their work: Creative Commons Attribution License (CC BY), Creative Commons Attribution – Non Commercial - ShareAlike (CC BY NC SA) and Creative Commons Attribution – Non Commercial – No Derivatives (CC BY NC ND)

Terms & Conditions applicable to all Elsevier Open Access articles:

Any reuse of the article must not represent the author as endorsing the adaptation of the article nor should the article be modified in such a way as to damage the author's honour or reputation.

The author(s) must be appropriately credited.

If any part of the material to be used (for example, figures) has appeared in our publication with credit or acknowledgement to another source it is the responsibility of the user to ensure their reuse complies with the terms and conditions determined by the rights holder.

Additional Terms & Conditions applicable to each Creative Commons user license:

CC BY: You may distribute and copy the article, create extracts, abstracts, and other revised versions, adaptations or derivative works of or from an article (such as a translation), to include in a collective work (such as an anthology), to text or data mine the article, including for commercial purposes without permission from Elsevier

CC BY NC SA: For non-commercial purposes you may distribute and copy the article, create extracts, abstracts and other revised versions, adaptations or derivative works of or from an article (such as a translation), to include in a collective work (such as an anthology), to text and data mine the article and license new adaptations or creations under identical terms without permission from Elsevier

CC BY NC ND: For non-commercial purposes you may distribute and copy the article and include it in a collective work (such as an anthology), provided you do not alter or modify the article, without permission from Elsevier

Any commercial reuse of Open Access articles published with a CC BY NC SA or CC BY NC ND license requires permission from Elsevier and will be subject to a fee.

Commercial reuse includes:

- Promotional purposes (advertising or marketing)

- Commercial exploitation (e.g. a product for sale or loan)
- Systematic distribution (for a fee or free of charge)

Please refer to [Elsevier's Open Access Policy](#) for further information.

21. Other Conditions:

v1.7

Questions? customercare@copyright.com or +1-855-239-3415 (toll free in the US) or +1-978-646-2777.

Gratis licenses (referencing \$0 in the Total field) are free. Please retain this printable license for your reference. No payment is required.

ELSEVIER LICENSE TERMS AND CONDITIONS

Mar 04, 2015

This is a License Agreement between Fidel Salas Vicente ("You") and Elsevier ("Elsevier") provided by Copyright Clearance Center ("CCC"). The license consists of your order details, the terms and conditions provided by Elsevier, and the payment terms and conditions.

All payments must be made in full to CCC. For payment instructions, please see information listed at the bottom of this form.

| | |
|--|--|
| Supplier | Elsevier Limited The Boulevard,Langford Lane Kidlington,Oxford,OX5 1GB,UK |
| Registered Company Number | 1982084 |
| Customer name | Fidel Salas Vicente |
| Customer address | Avda. Castellón, 5 Geldo, Castellón 12412 |
| License number | 3582030373220 |
| License date | Mar 04, 2015 |
| Licensed content publisher | Elsevier |
| Licensed content publication | Wear |
| Licensed content title | An experimental study of transient traction characteristics between rail and wheel under low slip and low speed conditions |
| Licensed content author | None |
| Licensed content date | 30 October 2008 |
| Licensed content volume number | 265 |
| Licensed content issue number | 9-10 |
| Number of pages | 8 |
| Start Page | 1417 |
| End Page | 1424 |
| Type of Use | reuse in a thesis/dissertation |
| Intended publisher of new work | other |
| Portion | figures/tables/illustrations |
| Number of figures/tables/illustrations | 1 |
| Format | both print and electronic |
| Are you the author of this Elsevier article? | No |
| Will you be translating? | No |
| Original figure numbers | Figure 4 |

| | |
|-----------------------------------|--|
| Title of your thesis/dissertation | Investigación y modelización de la adherencia, el desgaste y la fenomenología de daño asociada a la rodadura en contactos rueda-carril de aceros al carbono y bainíticos |
| Expected completion date | May 2015 |
| Estimated size (number of pages) | 440 |
| Elsevier VAT number | GB 494 6272 12 |
| Permissions price | 0.00 EUR |
| VAT/Local Sales Tax | 0.00 EUR / 0.00 GBP |
| Total | 0.00 EUR |

Terms and Conditions

INTRODUCTION

1. The publisher for this copyrighted material is Elsevier. By clicking "accept" in connection with completing this licensing transaction, you agree that the following terms and conditions apply to this transaction (along with the Billing and Payment terms and conditions established by Copyright Clearance Center, Inc. ("CCC"), at the time that you opened your Rightslink account and that are available at any time at <http://myaccount.copyright.com>).

GENERAL TERMS

2. Elsevier hereby grants you permission to reproduce the aforementioned material subject to the terms and conditions indicated.

3. Acknowledgement: If any part of the material to be used (for example, figures) has appeared in our publication with credit or acknowledgement to another source, permission must also be sought from that source. If such permission is not obtained then that material may not be included in your publication/copies. Suitable acknowledgement to the source must be made, either as a footnote or in a reference list at the end of your publication, as follows:

"Reprinted from Publication title, Vol /edition number, Author(s), Title of article / title of chapter, Pages No., Copyright (Year), with permission from Elsevier [OR APPLICABLE SOCIETY COPYRIGHT OWNER]." Also Lancet special credit - "Reprinted from The Lancet, Vol. number, Author(s), Title of article, Pages No., Copyright (Year), with permission from Elsevier."

4. Reproduction of this material is confined to the purpose and/or media for which permission is hereby given.

5. Altering/Modifying Material: Not Permitted. However figures and illustrations may be altered/adapted minimally to serve your work. Any other abbreviations, additions, deletions and/or any other alterations shall be made only with prior written authorization of Elsevier Ltd. (Please contact Elsevier at permissions@elsevier.com)

6. If the permission fee for the requested use of our material is waived in this instance, please be advised that your future requests for Elsevier materials may attract a fee.

7. Reservation of Rights: Publisher reserves all rights not specifically granted in the combination of (i) the license details provided by you and accepted in the course of this licensing transaction, (ii) these terms and conditions and (iii) CCC's Billing and Payment terms and conditions.

8. **License Contingent Upon Payment:** While you may exercise the rights licensed immediately upon issuance of the license at the end of the licensing process for the transaction, provided that you have disclosed complete and accurate details of your proposed use, no license is finally effective unless and until full payment is received from you (either by publisher or by CCC) as provided in CCC's Billing and Payment terms and conditions. If full payment is not received on a timely basis, then any license preliminarily granted shall be deemed automatically revoked and shall be void as if never granted. Further, in the event that you breach any of these terms and conditions or any of CCC's Billing and Payment terms and conditions, the license is automatically revoked and shall be void as if never granted. Use of materials as described in a revoked license, as well as any use of the materials beyond the scope of an unrevoked license, may constitute copyright infringement and publisher reserves the right to take any and all action to protect its copyright in the materials.

9. **Warranties:** Publisher makes no representations or warranties with respect to the licensed material.

10. **Indemnity:** You hereby indemnify and agree to hold harmless publisher and CCC, and their respective officers, directors, employees and agents, from and against any and all claims arising out of your use of the licensed material other than as specifically authorized pursuant to this license.

11. **No Transfer of License:** This license is personal to you and may not be sublicensed, assigned, or transferred by you to any other person without publisher's written permission.

12. **No Amendment Except in Writing:** This license may not be amended except in a writing signed by both parties (or, in the case of publisher, by CCC on publisher's behalf).

13. **Objection to Contrary Terms:** Publisher hereby objects to any terms contained in any purchase order, acknowledgment, check endorsement or other writing prepared by you, which terms are inconsistent with these terms and conditions or CCC's Billing and Payment terms and conditions. These terms and conditions, together with CCC's Billing and Payment terms and conditions (which are incorporated herein), comprise the entire agreement between you and publisher (and CCC) concerning this licensing transaction. In the event of any conflict between your obligations established by these terms and conditions and those established by CCC's Billing and Payment terms and conditions, these terms and conditions shall control.

14. **Revocation:** Elsevier or Copyright Clearance Center may deny the permissions described in this License at their sole discretion, for any reason or no reason, with a full refund payable to you. Notice of such denial will be made using the contact information provided by you. Failure to receive such notice will not alter or invalidate the denial. In no event will Elsevier or Copyright Clearance Center be responsible or liable for any costs, expenses or damage incurred by you as a result of a denial of your permission request, other than a refund of the amount(s) paid by you to Elsevier and/or Copyright Clearance Center for denied permissions.

LIMITED LICENSE

The following terms and conditions apply only to specific license types:

15. **Translation:** This permission is granted for non-exclusive world **English** rights only unless your license was granted for translation rights. If you licensed translation rights you may only translate this content into the languages you requested. A professional translator must perform all translations and reproduce the content word for word preserving the

integrity of the article. If this license is to re-use 1 or 2 figures then permission is granted for non-exclusive world rights in all languages.

16. Posting licensed content on any Website: The following terms and conditions apply as follows: Licensing material from an Elsevier journal: All content posted to the web site must maintain the copyright information line on the bottom of each image; A hyper-text must be included to the Homepage of the journal from which you are licensing at <http://www.sciencedirect.com/science/journal/xxxxx> or the Elsevier homepage for books at <http://www.elsevier.com>; Central Storage: This license does not include permission for a scanned version of the material to be stored in a central repository such as that provided by Heron/XanEdu.

Licensing material from an Elsevier book: A hyper-text link must be included to the Elsevier homepage at <http://www.elsevier.com> . All content posted to the web site must maintain the copyright information line on the bottom of each image.

Posting licensed content on Electronic reserve: In addition to the above the following clauses are applicable: The web site must be password-protected and made available only to bona fide students registered on a relevant course. This permission is granted for 1 year only. You may obtain a new license for future website posting.

17. For journal authors: the following clauses are applicable in addition to the above:

Preprints:

A preprint is an author's own write-up of research results and analysis, it has not been peer-reviewed, nor has it had any other value added to it by a publisher (such as formatting, copyright, technical enhancement etc.).

Authors can share their preprints anywhere at any time. Preprints should not be added to or enhanced in any way in order to appear more like, or to substitute for, the final versions of articles however authors can update their preprints on arXiv or RePEc with their Accepted Author Manuscript (see below).

If accepted for publication, we encourage authors to link from the preprint to their formal publication via its DOI. Millions of researchers have access to the formal publications on ScienceDirect, and so links will help users to find, access, cite and use the best available version. Please note that Cell Press, The Lancet and some society-owned have different preprint policies. Information on these policies is available on the journal homepage.

Accepted Author Manuscripts: An accepted author manuscript is the manuscript of an article that has been accepted for publication and which typically includes author-incorporated changes suggested during submission, peer review and editor-author communications.

Authors can share their accepted author manuscript:

- immediately
 - via their non-commercial person homepage or blog
 - by updating a preprint in arXiv or RePEc with the accepted manuscript
 - via their research institute or institutional repository for internal institutional

uses or as part of an invitation-only research collaboration work-group

- directly by providing copies to their students or to research collaborators for their personal use
 - for private scholarly sharing as part of an invitation-only work group on commercial sites with which Elsevier has an agreement
- after the embargo period
- via non-commercial hosting platforms such as their institutional repository
 - via commercial sites with which Elsevier has an agreement

In all cases accepted manuscripts should:

- link to the formal publication via its DOI
- bear a CC-BY-NC-ND license - this is easy to do
- if aggregated with other manuscripts, for example in a repository or other site, be shared in alignment with our hosting policy not be added to or enhanced in any way to appear more like, or to substitute for, the published journal article.

Published journal article (JPA): A published journal article (PJA) is the definitive final record of published research that appears or will appear in the journal and embodies all value-adding publishing activities including peer review co-ordination, copy-editing, formatting, (if relevant) pagination and online enrichment.

Policies for sharing publishing journal articles differ for subscription and gold open access articles:

Subscription Articles: If you are an author, please share a link to your article rather than the full-text. Millions of researchers have access to the formal publications on ScienceDirect, and so links will help your users to find, access, cite, and use the best available version.

Theses and dissertations which contain embedded PJAs as part of the formal submission can be posted publicly by the awarding institution with DOI links back to the formal publications on ScienceDirect.

If you are affiliated with a library that subscribes to ScienceDirect you have additional private sharing rights for others' research accessed under that agreement. This includes use for classroom teaching and internal training at the institution (including use in course packs and courseware programs), and inclusion of the article for grant funding purposes.

Gold Open Access Articles: May be shared according to the author-selected end-user license and should contain a [CrossMark logo](#), the end user license, and a DOI link to the formal publication on ScienceDirect.

Please refer to Elsevier's [posting policy](#) for further information.

18. **For book authors** the following clauses are applicable in addition to the above: Authors are permitted to place a brief summary of their work online only. You are not allowed to download and post the published electronic version of your chapter, nor may you scan the printed edition to create an electronic version. **Posting to a repository:** Authors are

permitted to post a summary of their chapter only in their institution's repository.

19. Thesis/Dissertation: If your license is for use in a thesis/dissertation your thesis may be submitted to your institution in either print or electronic form. Should your thesis be published commercially, please reapply for permission. These requirements include permission for the Library and Archives of Canada to supply single copies, on demand, of the complete thesis and include permission for Proquest/UMI to supply single copies, on demand, of the complete thesis. Should your thesis be published commercially, please reapply for permission. Theses and dissertations which contain embedded PJAs as part of the formal submission can be posted publicly by the awarding institution with DOI links back to the formal publications on ScienceDirect.

Elsevier Open Access Terms and Conditions

You can publish open access with Elsevier in hundreds of open access journals or in nearly 2000 established subscription journals that support open access publishing. Permitted third party re-use of these open access articles is defined by the author's choice of Creative Commons user license. See our [open access license policy](#) for more information.

Terms & Conditions applicable to all Open Access articles published with Elsevier:

Any reuse of the article must not represent the author as endorsing the adaptation of the article nor should the article be modified in such a way as to damage the author's honour or reputation. If any changes have been made, such changes must be clearly indicated.

The author(s) must be appropriately credited and we ask that you include the end user license and a DOI link to the formal publication on ScienceDirect.

If any part of the material to be used (for example, figures) has appeared in our publication with credit or acknowledgement to another source it is the responsibility of the user to ensure their reuse complies with the terms and conditions determined by the rights holder.

Additional Terms & Conditions applicable to each Creative Commons user license:

CC BY: The CC-BY license allows users to copy, to create extracts, abstracts and new works from the Article, to alter and revise the Article and to make commercial use of the Article (including reuse and/or resale of the Article by commercial entities), provided the user gives appropriate credit (with a link to the formal publication through the relevant DOI), provides a link to the license, indicates if changes were made and the licensor is not represented as endorsing the use made of the work. The full details of the license are available at <http://creativecommons.org/licenses/by/4.0>.

CC BY NC SA: The CC BY-NC-SA license allows users to copy, to create extracts, abstracts and new works from the Article, to alter and revise the Article, provided this is not done for commercial purposes, and that the user gives appropriate credit (with a link to the formal publication through the relevant DOI), provides a link to the license, indicates if changes were made and the licensor is not represented as endorsing the use made of the work. Further, any new works must be made available on the same conditions. The full details of the license are available at <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0>.

CC BY NC ND: The CC BY-NC-ND license allows users to copy and distribute the Article, provided this is not done for commercial purposes and further does not permit distribution of the Article if it is changed or edited in any way, and provided the user gives appropriate

credit (with a link to the formal publication through the relevant DOI), provides a link to the license, and that the licensor is not represented as endorsing the use made of the work. The full details of the license are available at <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0>. Any commercial reuse of Open Access articles published with a CC BY NC SA or CC BY NC ND license requires permission from Elsevier and will be subject to a fee.

Commercial reuse includes:

- Associating advertising with the full text of the Article
- Charging fees for document delivery or access
- Article aggregation
- Systematic distribution via e-mail lists or share buttons

Posting or linking by commercial companies for use by customers of those companies.

20. Other Conditions:

Questions? customercare@copyright.com or +1-855-239-3415 (toll free in the US) or +1-978-646-2777.

Gratis licenses (referencing \$0 in the Total field) are free. Please retain this printable license for your reference. No payment is required.

ELSEVIER LICENSE TERMS AND CONDITIONS

Feb 21, 2015

This is a License Agreement between Fidel Salas Vicente ("You") and Elsevier ("Elsevier") provided by Copyright Clearance Center ("CCC"). The license consists of your order details, the terms and conditions provided by Elsevier, and the payment terms and conditions.

All payments must be made in full to CCC. For payment instructions, please see information listed at the bottom of this form.

| | |
|--|--|
| Supplier | Elsevier Limited The Boulevard,Langford Lane Kidlington,Oxford,OX5 1GB,UK |
| Registered Company Number | 1982084 |
| Customer name | Fidel Salas Vicente |
| Customer address | Avda. Castellón, 5 Geldo, Castellón 12412 |
| License number | 3573600521234 |
| License date | Feb 21, 2015 |
| Licensed content publisher | Elsevier |
| Licensed content publication | Wear |
| Licensed content title | An experimental study of transient traction characteristics between rail and wheel under low slip and low speed conditions |
| Licensed content author | None |
| Licensed content date | 30 October 2008 |
| Licensed content volume number | 265 |
| Licensed content issue number | 9-10 |
| Number of pages | 8 |
| Start Page | 1417 |
| End Page | 1424 |
| Type of Use | reuse in a thesis/dissertation |
| Intended publisher of new work | other |
| Portion | figures/tables/illustrations |
| Number of figures/tables/illustrations | 2 |
| Format | both print and electronic |
| Are you the author of this Elsevier article? | No |
| Will you be translating? | No |
| Original figure numbers | Figures 1 and 13 |

| | |
|-----------------------------------|--|
| Title of your thesis/dissertation | Investigación y modelización de la adherencia, el desgaste y la fenomenología de daño asociada a la rodadura en contactos rueda-carril de aceros al carbono y bainíticos |
| Expected completion date | May 2015 |
| Estimated size (number of pages) | 440 |
| Elsevier VAT number | GB 494 6272 12 |
| Permissions price | 0.00 EUR |
| VAT/Local Sales Tax | 0.00 EUR / 0.00 GBP |
| Total | 0.00 EUR |

Terms and Conditions

INTRODUCTION

1. The publisher for this copyrighted material is Elsevier. By clicking "accept" in connection with completing this licensing transaction, you agree that the following terms and conditions apply to this transaction (along with the Billing and Payment terms and conditions established by Copyright Clearance Center, Inc. ("CCC"), at the time that you opened your Rightslink account and that are available at any time at <http://myaccount.copyright.com>).

GENERAL TERMS

2. Elsevier hereby grants you permission to reproduce the aforementioned material subject to the terms and conditions indicated.

3. Acknowledgement: If any part of the material to be used (for example, figures) has appeared in our publication with credit or acknowledgement to another source, permission must also be sought from that source. If such permission is not obtained then that material may not be included in your publication/copies. Suitable acknowledgement to the source must be made, either as a footnote or in a reference list at the end of your publication, as follows:

“Reprinted from Publication title, Vol /edition number, Author(s), Title of article / title of chapter, Pages No., Copyright (Year), with permission from Elsevier [OR APPLICABLE SOCIETY COPYRIGHT OWNER].” Also Lancet special credit - “Reprinted from The Lancet, Vol. number, Author(s), Title of article, Pages No., Copyright (Year), with permission from Elsevier.”

4. Reproduction of this material is confined to the purpose and/or media for which permission is hereby given.

5. Altering/Modifying Material: Not Permitted. However figures and illustrations may be altered/adapted minimally to serve your work. Any other abbreviations, additions, deletions and/or any other alterations shall be made only with prior written authorization of Elsevier Ltd. (Please contact Elsevier at permissions@elsevier.com)

6. If the permission fee for the requested use of our material is waived in this instance, please be advised that your future requests for Elsevier materials may attract a fee.

7. Reservation of Rights: Publisher reserves all rights not specifically granted in the combination of (i) the license details provided by you and accepted in the course of this licensing transaction, (ii) these terms and conditions and (iii) CCC's Billing and Payment terms and conditions.

8. **License Contingent Upon Payment:** While you may exercise the rights licensed immediately upon issuance of the license at the end of the licensing process for the transaction, provided that you have disclosed complete and accurate details of your proposed use, no license is finally effective unless and until full payment is received from you (either by publisher or by CCC) as provided in CCC's Billing and Payment terms and conditions. If full payment is not received on a timely basis, then any license preliminarily granted shall be deemed automatically revoked and shall be void as if never granted. Further, in the event that you breach any of these terms and conditions or any of CCC's Billing and Payment terms and conditions, the license is automatically revoked and shall be void as if never granted. Use of materials as described in a revoked license, as well as any use of the materials beyond the scope of an unrevoked license, may constitute copyright infringement and publisher reserves the right to take any and all action to protect its copyright in the materials.

9. **Warranties:** Publisher makes no representations or warranties with respect to the licensed material.

10. **Indemnity:** You hereby indemnify and agree to hold harmless publisher and CCC, and their respective officers, directors, employees and agents, from and against any and all claims arising out of your use of the licensed material other than as specifically authorized pursuant to this license.

11. **No Transfer of License:** This license is personal to you and may not be sublicensed, assigned, or transferred by you to any other person without publisher's written permission.

12. **No Amendment Except in Writing:** This license may not be amended except in a writing signed by both parties (or, in the case of publisher, by CCC on publisher's behalf).

13. **Objection to Contrary Terms:** Publisher hereby objects to any terms contained in any purchase order, acknowledgment, check endorsement or other writing prepared by you, which terms are inconsistent with these terms and conditions or CCC's Billing and Payment terms and conditions. These terms and conditions, together with CCC's Billing and Payment terms and conditions (which are incorporated herein), comprise the entire agreement between you and publisher (and CCC) concerning this licensing transaction. In the event of any conflict between your obligations established by these terms and conditions and those established by CCC's Billing and Payment terms and conditions, these terms and conditions shall control.

14. **Revocation:** Elsevier or Copyright Clearance Center may deny the permissions described in this License at their sole discretion, for any reason or no reason, with a full refund payable to you. Notice of such denial will be made using the contact information provided by you. Failure to receive such notice will not alter or invalidate the denial. In no event will Elsevier or Copyright Clearance Center be responsible or liable for any costs, expenses or damage incurred by you as a result of a denial of your permission request, other than a refund of the amount(s) paid by you to Elsevier and/or Copyright Clearance Center for denied permissions.

LIMITED LICENSE

The following terms and conditions apply only to specific license types:

15. **Translation:** This permission is granted for non-exclusive world **English** rights only unless your license was granted for translation rights. If you licensed translation rights you may only translate this content into the languages you requested. A professional translator must perform all translations and reproduce the content word for word preserving the

integrity of the article. If this license is to re-use 1 or 2 figures then permission is granted for non-exclusive world rights in all languages.

16. Posting licensed content on any Website: The following terms and conditions apply as follows: Licensing material from an Elsevier journal: All content posted to the web site must maintain the copyright information line on the bottom of each image; A hyper-text must be included to the Homepage of the journal from which you are licensing at <http://www.sciencedirect.com/science/journal/xxxxx> or the Elsevier homepage for books at <http://www.elsevier.com>; Central Storage: This license does not include permission for a scanned version of the material to be stored in a central repository such as that provided by Heron/XanEdu.

Licensing material from an Elsevier book: A hyper-text link must be included to the Elsevier homepage at <http://www.elsevier.com>. All content posted to the web site must maintain the copyright information line on the bottom of each image.

Posting licensed content on Electronic reserve: In addition to the above the following clauses are applicable: The web site must be password-protected and made available only to bona fide students registered on a relevant course. This permission is granted for 1 year only. You may obtain a new license for future website posting.

17. For journal authors: the following clauses are applicable in addition to the above: Permission granted is limited to the author accepted manuscript version* of your paper.

***Accepted Author Manuscript (AAM) Definition:** An accepted author manuscript (AAM) is the author's version of the manuscript of an article that has been accepted for publication and which may include any author-incorporated changes suggested through the processes of submission processing, peer review, and editor-author communications. AAMs do not include other publisher value-added contributions such as copy-editing, formatting, technical enhancements and (if relevant) pagination.

You are not allowed to download and post the published journal article (whether PDF or HTML, proof or final version), nor may you scan the printed edition to create an electronic version. A hyper-text must be included to the Homepage of the journal from which you are licensing at <http://www.sciencedirect.com/science/journal/xxxxx>. As part of our normal production process, you will receive an e-mail notice when your article appears on Elsevier's online service ScienceDirect (www.sciencedirect.com). That e-mail will include the article's Digital Object Identifier (DOI). This number provides the electronic link to the published article and should be included in the posting of your personal version. We ask that you wait until you receive this e-mail and have the DOI to do any posting.

18. Posting to a repository: Authors may post their AAM immediately to their employer's institutional repository for internal use only and may make their manuscript publically available after the journal-specific embargo period has ended.

Please also refer to [Elsevier's Article Posting Policy](#) for further information.

19. For book authors the following clauses are applicable in addition to the above: Authors are permitted to place a brief summary of their work online only.. You are not allowed to download and post the published electronic version of your chapter, nor may you scan the printed edition to create an electronic version. **Posting to a repository:** Authors are permitted to post a summary of their chapter only in their institution's repository.

20. Thesis/Dissertation: If your license is for use in a thesis/dissertation your thesis may be submitted to your institution in either print or electronic form. Should your thesis be

published commercially, please reapply for permission. These requirements include permission for the Library and Archives of Canada to supply single copies, on demand, of the complete thesis and include permission for Proquest/UMI to supply single copies, on demand, of the complete thesis. Should your thesis be published commercially, please reapply for permission.

Elsevier Open Access Terms and Conditions

Elsevier publishes Open Access articles in both its Open Access journals and via its Open Access articles option in subscription journals.

Authors publishing in an Open Access journal or who choose to make their article Open Access in an Elsevier subscription journal select one of the following Creative Commons user licenses, which define how a reader may reuse their work: Creative Commons Attribution License (CC BY), Creative Commons Attribution – Non Commercial - ShareAlike (CC BY NC SA) and Creative Commons Attribution – Non Commercial – No Derivatives (CC BY NC ND)

Terms & Conditions applicable to all Elsevier Open Access articles:

Any reuse of the article must not represent the author as endorsing the adaptation of the article nor should the article be modified in such a way as to damage the author's honour or reputation.

The author(s) must be appropriately credited.

If any part of the material to be used (for example, figures) has appeared in our publication with credit or acknowledgement to another source it is the responsibility of the user to ensure their reuse complies with the terms and conditions determined by the rights holder.

Additional Terms & Conditions applicable to each Creative Commons user license:

CC BY: You may distribute and copy the article, create extracts, abstracts, and other revised versions, adaptations or derivative works of or from an article (such as a translation), to include in a collective work (such as an anthology), to text or data mine the article, including for commercial purposes without permission from Elsevier

CC BY NC SA: For non-commercial purposes you may distribute and copy the article, create extracts, abstracts and other revised versions, adaptations or derivative works of or from an article (such as a translation), to include in a collective work (such as an anthology), to text and data mine the article and license new adaptations or creations under identical terms without permission from Elsevier

CC BY NC ND: For non-commercial purposes you may distribute and copy the article and include it in a collective work (such as an anthology), provided you do not alter or modify the article, without permission from Elsevier

Any commercial reuse of Open Access articles published with a CC BY NC SA or CC BY NC ND license requires permission from Elsevier and will be subject to a fee.

Commercial reuse includes:

- Promotional purposes (advertising or marketing)

- Commercial exploitation (e.g. a product for sale or loan)
- Systematic distribution (for a fee or free of charge)

Please refer to [Elsevier's Open Access Policy](#) for further information.

21. Other Conditions:

v1.7

Questions? customercare@copyright.com or +1-855-239-3415 (toll free in the US) or +1-978-646-2777.

Gratis licenses (referencing \$0 in the Total field) are free. Please retain this printable license for your reference. No payment is required.

ELSEVIER LICENSE TERMS AND CONDITIONS

Feb 20, 2015

This is a License Agreement between Fidel Salas Vicente ("You") and Elsevier ("Elsevier") provided by Copyright Clearance Center ("CCC"). The license consists of your order details, the terms and conditions provided by Elsevier, and the payment terms and conditions.

All payments must be made in full to CCC. For payment instructions, please see information listed at the bottom of this form.

| | |
|--|---|
| Supplier | Elsevier Limited The Boulevard,Langford Lane Kidlington,Oxford,OX5 1GB,UK |
| Registered Company Number | 1982084 |
| Customer name | Fidel Salas Vicente |
| Customer address | Avda. Castellón, 5 Geldo, Castellón 12412 |
| License number | 3573170469960 |
| License date | Feb 20, 2015 |
| Licensed content publisher | Elsevier |
| Licensed content publication | International Journal of Fatigue |
| Licensed content title | Anisotropy and rolling contact fatigue of railway wheels |
| Licensed content author | Anders Ekberg,Peter Sotkovszki |
| Licensed content date | January 2001 |
| Licensed content volume number | 23 |
| Licensed content issue number | 1 |
| Number of pages | 15 |
| Start Page | 29 |
| End Page | 43 |
| Type of Use | reuse in a thesis/dissertation |
| Intended publisher of new work | other |
| Portion | figures/tables/illustrations |
| Number of figures/tables/illustrations | 2 |
| Format | both print and electronic |
| Are you the author of this Elsevier article? | No |
| Will you be translating? | No |
| Original figure numbers | Figures 3 and 5 |
| Title of your | Investigación y modelización de la adherencia, el desgaste y la |

| | |
|----------------------------------|--|
| thesis/dissertation | fenomenología de daño asociada a la rodadura en contactos rueda-carril de aceros al carbono y bainíticos |
| Expected completion date | May 2015 |
| Estimated size (number of pages) | 440 |
| Elsevier VAT number | GB 494 6272 12 |
| Permissions price | 0.00 EUR |
| VAT/Local Sales Tax | 0.00 EUR / 0.00 GBP |
| Total | 0.00 EUR |
| Terms and Conditions | |

INTRODUCTION

1. The publisher for this copyrighted material is Elsevier. By clicking "accept" in connection with completing this licensing transaction, you agree that the following terms and conditions apply to this transaction (along with the Billing and Payment terms and conditions established by Copyright Clearance Center, Inc. ("CCC"), at the time that you opened your Rightslink account and that are available at any time at <http://myaccount.copyright.com>).

GENERAL TERMS

2. Elsevier hereby grants you permission to reproduce the aforementioned material subject to the terms and conditions indicated.

3. Acknowledgement: If any part of the material to be used (for example, figures) has appeared in our publication with credit or acknowledgement to another source, permission must also be sought from that source. If such permission is not obtained then that material may not be included in your publication/copies. Suitable acknowledgement to the source must be made, either as a footnote or in a reference list at the end of your publication, as follows:

“Reprinted from Publication title, Vol /edition number, Author(s), Title of article / title of chapter, Pages No., Copyright (Year), with permission from Elsevier [OR APPLICABLE SOCIETY COPYRIGHT OWNER].” Also Lancet special credit - “Reprinted from The Lancet, Vol. number, Author(s), Title of article, Pages No., Copyright (Year), with permission from Elsevier.”

4. Reproduction of this material is confined to the purpose and/or media for which permission is hereby given.

5. Altering/Modifying Material: Not Permitted. However figures and illustrations may be altered/adapted minimally to serve your work. Any other abbreviations, additions, deletions and/or any other alterations shall be made only with prior written authorization of Elsevier Ltd. (Please contact Elsevier at permissions@elsevier.com)

6. If the permission fee for the requested use of our material is waived in this instance, please be advised that your future requests for Elsevier materials may attract a fee.

7. Reservation of Rights: Publisher reserves all rights not specifically granted in the combination of (i) the license details provided by you and accepted in the course of this licensing transaction, (ii) these terms and conditions and (iii) CCC's Billing and Payment terms and conditions.

8. **License Contingent Upon Payment:** While you may exercise the rights licensed immediately upon issuance of the license at the end of the licensing process for the transaction, provided that you have disclosed complete and accurate details of your proposed use, no license is finally effective unless and until full payment is received from you (either by publisher or by CCC) as provided in CCC's Billing and Payment terms and conditions. If full payment is not received on a timely basis, then any license preliminarily granted shall be deemed automatically revoked and shall be void as if never granted. Further, in the event that you breach any of these terms and conditions or any of CCC's Billing and Payment terms and conditions, the license is automatically revoked and shall be void as if never granted. Use of materials as described in a revoked license, as well as any use of the materials beyond the scope of an unrevoked license, may constitute copyright infringement and publisher reserves the right to take any and all action to protect its copyright in the materials.

9. **Warranties:** Publisher makes no representations or warranties with respect to the licensed material.

10. **Indemnity:** You hereby indemnify and agree to hold harmless publisher and CCC, and their respective officers, directors, employees and agents, from and against any and all claims arising out of your use of the licensed material other than as specifically authorized pursuant to this license.

11. **No Transfer of License:** This license is personal to you and may not be sublicensed, assigned, or transferred by you to any other person without publisher's written permission.

12. **No Amendment Except in Writing:** This license may not be amended except in a writing signed by both parties (or, in the case of publisher, by CCC on publisher's behalf).

13. **Objection to Contrary Terms:** Publisher hereby objects to any terms contained in any purchase order, acknowledgment, check endorsement or other writing prepared by you, which terms are inconsistent with these terms and conditions or CCC's Billing and Payment terms and conditions. These terms and conditions, together with CCC's Billing and Payment terms and conditions (which are incorporated herein), comprise the entire agreement between you and publisher (and CCC) concerning this licensing transaction. In the event of any conflict between your obligations established by these terms and conditions and those established by CCC's Billing and Payment terms and conditions, these terms and conditions shall control.

14. **Revocation:** Elsevier or Copyright Clearance Center may deny the permissions described in this License at their sole discretion, for any reason or no reason, with a full refund payable to you. Notice of such denial will be made using the contact information provided by you. Failure to receive such notice will not alter or invalidate the denial. In no event will Elsevier or Copyright Clearance Center be responsible or liable for any costs, expenses or damage incurred by you as a result of a denial of your permission request, other than a refund of the amount(s) paid by you to Elsevier and/or Copyright Clearance Center for denied permissions.

LIMITED LICENSE

The following terms and conditions apply only to specific license types:

15. **Translation:** This permission is granted for non-exclusive world **English** rights only unless your license was granted for translation rights. If you licensed translation rights you may only translate this content into the languages you requested. A professional translator must perform all translations and reproduce the content word for word preserving the

integrity of the article. If this license is to re-use 1 or 2 figures then permission is granted for non-exclusive world rights in all languages.

16. Posting licensed content on any Website: The following terms and conditions apply as follows: Licensing material from an Elsevier journal: All content posted to the web site must maintain the copyright information line on the bottom of each image; A hyper-text must be included to the Homepage of the journal from which you are licensing at <http://www.sciencedirect.com/science/journal/xxxxx> or the Elsevier homepage for books at <http://www.elsevier.com>; Central Storage: This license does not include permission for a scanned version of the material to be stored in a central repository such as that provided by Heron/XanEdu.

Licensing material from an Elsevier book: A hyper-text link must be included to the Elsevier homepage at <http://www.elsevier.com>. All content posted to the web site must maintain the copyright information line on the bottom of each image.

Posting licensed content on Electronic reserve: In addition to the above the following clauses are applicable: The web site must be password-protected and made available only to bona fide students registered on a relevant course. This permission is granted for 1 year only. You may obtain a new license for future website posting.

17. For journal authors: the following clauses are applicable in addition to the above: Permission granted is limited to the author accepted manuscript version* of your paper.

***Accepted Author Manuscript (AAM) Definition:** An accepted author manuscript (AAM) is the author's version of the manuscript of an article that has been accepted for publication and which may include any author-incorporated changes suggested through the processes of submission processing, peer review, and editor-author communications. AAMs do not include other publisher value-added contributions such as copy-editing, formatting, technical enhancements and (if relevant) pagination.

You are not allowed to download and post the published journal article (whether PDF or HTML, proof or final version), nor may you scan the printed edition to create an electronic version. A hyper-text must be included to the Homepage of the journal from which you are licensing at <http://www.sciencedirect.com/science/journal/xxxxx>. As part of our normal production process, you will receive an e-mail notice when your article appears on Elsevier's online service ScienceDirect (www.sciencedirect.com). That e-mail will include the article's Digital Object Identifier (DOI). This number provides the electronic link to the published article and should be included in the posting of your personal version. We ask that you wait until you receive this e-mail and have the DOI to do any posting.

18. Posting to a repository: Authors may post their AAM immediately to their employer's institutional repository for internal use only and may make their manuscript publically available after the journal-specific embargo period has ended.

Please also refer to [Elsevier's Article Posting Policy](#) for further information.

19. For book authors the following clauses are applicable in addition to the above: Authors are permitted to place a brief summary of their work online only.. You are not allowed to download and post the published electronic version of your chapter, nor may you scan the printed edition to create an electronic version. **Posting to a repository:** Authors are permitted to post a summary of their chapter only in their institution's repository.

20. Thesis/Dissertation: If your license is for use in a thesis/dissertation your thesis may be submitted to your institution in either print or electronic form. Should your thesis be

published commercially, please reapply for permission. These requirements include permission for the Library and Archives of Canada to supply single copies, on demand, of the complete thesis and include permission for Proquest/UMI to supply single copies, on demand, of the complete thesis. Should your thesis be published commercially, please reapply for permission.

Elsevier Open Access Terms and Conditions

Elsevier publishes Open Access articles in both its Open Access journals and via its Open Access articles option in subscription journals.

Authors publishing in an Open Access journal or who choose to make their article Open Access in an Elsevier subscription journal select one of the following Creative Commons user licenses, which define how a reader may reuse their work: Creative Commons Attribution License (CC BY), Creative Commons Attribution – Non Commercial - ShareAlike (CC BY NC SA) and Creative Commons Attribution – Non Commercial – No Derivatives (CC BY NC ND)

Terms & Conditions applicable to all Elsevier Open Access articles:

Any reuse of the article must not represent the author as endorsing the adaptation of the article nor should the article be modified in such a way as to damage the author's honour or reputation.

The author(s) must be appropriately credited.

If any part of the material to be used (for example, figures) has appeared in our publication with credit or acknowledgement to another source it is the responsibility of the user to ensure their reuse complies with the terms and conditions determined by the rights holder.

Additional Terms & Conditions applicable to each Creative Commons user license:

CC BY: You may distribute and copy the article, create extracts, abstracts, and other revised versions, adaptations or derivative works of or from an article (such as a translation), to include in a collective work (such as an anthology), to text or data mine the article, including for commercial purposes without permission from Elsevier

CC BY NC SA: For non-commercial purposes you may distribute and copy the article, create extracts, abstracts and other revised versions, adaptations or derivative works of or from an article (such as a translation), to include in a collective work (such as an anthology), to text and data mine the article and license new adaptations or creations under identical terms without permission from Elsevier

CC BY NC ND: For non-commercial purposes you may distribute and copy the article and include it in a collective work (such as an anthology), provided you do not alter or modify the article, without permission from Elsevier

Any commercial reuse of Open Access articles published with a CC BY NC SA or CC BY NC ND license requires permission from Elsevier and will be subject to a fee.

Commercial reuse includes:

- Promotional purposes (advertising or marketing)

- Commercial exploitation (e.g. a product for sale or loan)
- Systematic distribution (for a fee or free of charge)

Please refer to [Elsevier's Open Access Policy](#) for further information.

21. Other Conditions:

v1.7

Questions? customercare@copyright.com or +1-855-239-3415 (toll free in the US) or +1-978-646-2777.

Gratis licenses (referencing \$0 in the Total field) are free. Please retain this printable license for your reference. No payment is required.

ELSEVIER LICENSE TERMS AND CONDITIONS

Feb 20, 2015

This is a License Agreement between Fidel Salas Vicente ("You") and Elsevier ("Elsevier") provided by Copyright Clearance Center ("CCC"). The license consists of your order details, the terms and conditions provided by Elsevier, and the payment terms and conditions.

All payments must be made in full to CCC. For payment instructions, please see information listed at the bottom of this form.

| | |
|--|--|
| Supplier | Elsevier Limited The Boulevard, Langford Lane Kidlington, Oxford, OX5 1GB, UK |
| Registered Company Number | 1982084 |
| Customer name | Fidel Salas Vicente |
| Customer address | Avda. Castellón, 5 Geldo, Castellón 12412 |
| License number | 3573190054542 |
| License date | Feb 20, 2015 |
| Licensed content publisher | Elsevier |
| Licensed content publication | Wear |
| Licensed content title | Application of Fastsim with variable coefficient of friction using twin disc experimental measurements |
| Licensed content author | A. Rovira, A. Roda, R. Lewis, M.B. Marshall |
| Licensed content date | 27 January 2012 |
| Licensed content volume number | 274 |
| Licensed content issue number | n/a |
| Number of pages | 18 |
| Start Page | 109 |
| End Page | 126 |
| Type of Use | reuse in a thesis/dissertation |
| Intended publisher of new work | other |
| Portion | figures/tables/illustrations |
| Number of figures/tables/illustrations | 1 |
| Format | both print and electronic |
| Are you the author of this Elsevier article? | No |
| Will you be translating? | No |
| Original figure numbers | Figure 1 |

| | |
|-----------------------------------|--|
| Title of your thesis/dissertation | Investigación y modelización de la adherencia, el desgaste y la fenomenología de daño asociada a la rodadura en contactos rueda-carril de aceros al carbono y bainíticos |
| Expected completion date | May 2015 |
| Estimated size (number of pages) | 440 |
| Elsevier VAT number | GB 494 6272 12 |
| Permissions price | 0.00 EUR |
| VAT/Local Sales Tax | 0.00 EUR / 0.00 GBP |
| Total | 0.00 EUR |

Terms and Conditions

INTRODUCTION

1. The publisher for this copyrighted material is Elsevier. By clicking "accept" in connection with completing this licensing transaction, you agree that the following terms and conditions apply to this transaction (along with the Billing and Payment terms and conditions established by Copyright Clearance Center, Inc. ("CCC"), at the time that you opened your Rightslink account and that are available at any time at <http://myaccount.copyright.com>).

GENERAL TERMS

2. Elsevier hereby grants you permission to reproduce the aforementioned material subject to the terms and conditions indicated.

3. Acknowledgement: If any part of the material to be used (for example, figures) has appeared in our publication with credit or acknowledgement to another source, permission must also be sought from that source. If such permission is not obtained then that material may not be included in your publication/copies. Suitable acknowledgement to the source must be made, either as a footnote or in a reference list at the end of your publication, as follows:

“Reprinted from Publication title, Vol /edition number, Author(s), Title of article / title of chapter, Pages No., Copyright (Year), with permission from Elsevier [OR APPLICABLE SOCIETY COPYRIGHT OWNER].” Also Lancet special credit - “Reprinted from The Lancet, Vol. number, Author(s), Title of article, Pages No., Copyright (Year), with permission from Elsevier.”

4. Reproduction of this material is confined to the purpose and/or media for which permission is hereby given.

5. Altering/Modifying Material: Not Permitted. However figures and illustrations may be altered/adapted minimally to serve your work. Any other abbreviations, additions, deletions and/or any other alterations shall be made only with prior written authorization of Elsevier Ltd. (Please contact Elsevier at permissions@elsevier.com)

6. If the permission fee for the requested use of our material is waived in this instance, please be advised that your future requests for Elsevier materials may attract a fee.

7. Reservation of Rights: Publisher reserves all rights not specifically granted in the combination of (i) the license details provided by you and accepted in the course of this licensing transaction, (ii) these terms and conditions and (iii) CCC's Billing and Payment terms and conditions.

8. **License Contingent Upon Payment:** While you may exercise the rights licensed immediately upon issuance of the license at the end of the licensing process for the transaction, provided that you have disclosed complete and accurate details of your proposed use, no license is finally effective unless and until full payment is received from you (either by publisher or by CCC) as provided in CCC's Billing and Payment terms and conditions. If full payment is not received on a timely basis, then any license preliminarily granted shall be deemed automatically revoked and shall be void as if never granted. Further, in the event that you breach any of these terms and conditions or any of CCC's Billing and Payment terms and conditions, the license is automatically revoked and shall be void as if never granted. Use of materials as described in a revoked license, as well as any use of the materials beyond the scope of an unrevoked license, may constitute copyright infringement and publisher reserves the right to take any and all action to protect its copyright in the materials.

9. **Warranties:** Publisher makes no representations or warranties with respect to the licensed material.

10. **Indemnity:** You hereby indemnify and agree to hold harmless publisher and CCC, and their respective officers, directors, employees and agents, from and against any and all claims arising out of your use of the licensed material other than as specifically authorized pursuant to this license.

11. **No Transfer of License:** This license is personal to you and may not be sublicensed, assigned, or transferred by you to any other person without publisher's written permission.

12. **No Amendment Except in Writing:** This license may not be amended except in a writing signed by both parties (or, in the case of publisher, by CCC on publisher's behalf).

13. **Objection to Contrary Terms:** Publisher hereby objects to any terms contained in any purchase order, acknowledgment, check endorsement or other writing prepared by you, which terms are inconsistent with these terms and conditions or CCC's Billing and Payment terms and conditions. These terms and conditions, together with CCC's Billing and Payment terms and conditions (which are incorporated herein), comprise the entire agreement between you and publisher (and CCC) concerning this licensing transaction. In the event of any conflict between your obligations established by these terms and conditions and those established by CCC's Billing and Payment terms and conditions, these terms and conditions shall control.

14. **Revocation:** Elsevier or Copyright Clearance Center may deny the permissions described in this License at their sole discretion, for any reason or no reason, with a full refund payable to you. Notice of such denial will be made using the contact information provided by you. Failure to receive such notice will not alter or invalidate the denial. In no event will Elsevier or Copyright Clearance Center be responsible or liable for any costs, expenses or damage incurred by you as a result of a denial of your permission request, other than a refund of the amount(s) paid by you to Elsevier and/or Copyright Clearance Center for denied permissions.

LIMITED LICENSE

The following terms and conditions apply only to specific license types:

15. **Translation:** This permission is granted for non-exclusive world **English** rights only unless your license was granted for translation rights. If you licensed translation rights you may only translate this content into the languages you requested. A professional translator must perform all translations and reproduce the content word for word preserving the

integrity of the article. If this license is to re-use 1 or 2 figures then permission is granted for non-exclusive world rights in all languages.

16. Posting licensed content on any Website: The following terms and conditions apply as follows: Licensing material from an Elsevier journal: All content posted to the web site must maintain the copyright information line on the bottom of each image; A hyper-text must be included to the Homepage of the journal from which you are licensing at <http://www.sciencedirect.com/science/journal/xxxxx> or the Elsevier homepage for books at <http://www.elsevier.com>; Central Storage: This license does not include permission for a scanned version of the material to be stored in a central repository such as that provided by Heron/XanEdu.

Licensing material from an Elsevier book: A hyper-text link must be included to the Elsevier homepage at <http://www.elsevier.com>. All content posted to the web site must maintain the copyright information line on the bottom of each image.

Posting licensed content on Electronic reserve: In addition to the above the following clauses are applicable: The web site must be password-protected and made available only to bona fide students registered on a relevant course. This permission is granted for 1 year only. You may obtain a new license for future website posting.

17. For journal authors: the following clauses are applicable in addition to the above: Permission granted is limited to the author accepted manuscript version* of your paper.

***Accepted Author Manuscript (AAM) Definition:** An accepted author manuscript (AAM) is the author's version of the manuscript of an article that has been accepted for publication and which may include any author-incorporated changes suggested through the processes of submission processing, peer review, and editor-author communications. AAMs do not include other publisher value-added contributions such as copy-editing, formatting, technical enhancements and (if relevant) pagination.

You are not allowed to download and post the published journal article (whether PDF or HTML, proof or final version), nor may you scan the printed edition to create an electronic version. A hyper-text must be included to the Homepage of the journal from which you are licensing at <http://www.sciencedirect.com/science/journal/xxxxx>. As part of our normal production process, you will receive an e-mail notice when your article appears on Elsevier's online service ScienceDirect (www.sciencedirect.com). That e-mail will include the article's Digital Object Identifier (DOI). This number provides the electronic link to the published article and should be included in the posting of your personal version. We ask that you wait until you receive this e-mail and have the DOI to do any posting.

18. Posting to a repository: Authors may post their AAM immediately to their employer's institutional repository for internal use only and may make their manuscript publically available after the journal-specific embargo period has ended.

Please also refer to [Elsevier's Article Posting Policy](#) for further information.

19. For book authors the following clauses are applicable in addition to the above: Authors are permitted to place a brief summary of their work online only.. You are not allowed to download and post the published electronic version of your chapter, nor may you scan the printed edition to create an electronic version. **Posting to a repository:** Authors are permitted to post a summary of their chapter only in their institution's repository.

20. Thesis/Dissertation: If your license is for use in a thesis/dissertation your thesis may be submitted to your institution in either print or electronic form. Should your thesis be

published commercially, please reapply for permission. These requirements include permission for the Library and Archives of Canada to supply single copies, on demand, of the complete thesis and include permission for Proquest/UMI to supply single copies, on demand, of the complete thesis. Should your thesis be published commercially, please reapply for permission.

Elsevier Open Access Terms and Conditions

Elsevier publishes Open Access articles in both its Open Access journals and via its Open Access articles option in subscription journals.

Authors publishing in an Open Access journal or who choose to make their article Open Access in an Elsevier subscription journal select one of the following Creative Commons user licenses, which define how a reader may reuse their work: Creative Commons Attribution License (CC BY), Creative Commons Attribution – Non Commercial - ShareAlike (CC BY NC SA) and Creative Commons Attribution – Non Commercial – No Derivatives (CC BY NC ND)

Terms & Conditions applicable to all Elsevier Open Access articles:

Any reuse of the article must not represent the author as endorsing the adaptation of the article nor should the article be modified in such a way as to damage the author's honour or reputation.

The author(s) must be appropriately credited.

If any part of the material to be used (for example, figures) has appeared in our publication with credit or acknowledgement to another source it is the responsibility of the user to ensure their reuse complies with the terms and conditions determined by the rights holder.

Additional Terms & Conditions applicable to each Creative Commons user license:

CC BY: You may distribute and copy the article, create extracts, abstracts, and other revised versions, adaptations or derivative works of or from an article (such as a translation), to include in a collective work (such as an anthology), to text or data mine the article, including for commercial purposes without permission from Elsevier

CC BY NC SA: For non-commercial purposes you may distribute and copy the article, create extracts, abstracts and other revised versions, adaptations or derivative works of or from an article (such as a translation), to include in a collective work (such as an anthology), to text and data mine the article and license new adaptations or creations under identical terms without permission from Elsevier

CC BY NC ND: For non-commercial purposes you may distribute and copy the article and include it in a collective work (such as an anthology), provided you do not alter or modify the article, without permission from Elsevier

Any commercial reuse of Open Access articles published with a CC BY NC SA or CC BY NC ND license requires permission from Elsevier and will be subject to a fee.

Commercial reuse includes:

- Promotional purposes (advertising or marketing)

- Commercial exploitation (e.g. a product for sale or loan)
- Systematic distribution (for a fee or free of charge)

Please refer to [Elsevier's Open Access Policy](#) for further information.

21. Other Conditions:

v1.7

Questions? customercare@copyright.com or +1-855-239-3415 (toll free in the US) or +1-978-646-2777.

Gratis licenses (referencing \$0 in the Total field) are free. Please retain this printable license for your reference. No payment is required.

ELSEVIER LICENSE TERMS AND CONDITIONS

Mar 05, 2015

This is a License Agreement between Fidel Salas Vicente ("You") and Elsevier ("Elsevier") provided by Copyright Clearance Center ("CCC"). The license consists of your order details, the terms and conditions provided by Elsevier, and the payment terms and conditions.

All payments must be made in full to CCC. For payment instructions, please see information listed at the bottom of this form.

| | |
|--|--|
| Supplier | Elsevier Limited The Boulevard,Langford Lane Kidlington,Oxford,OX5 1GB,UK |
| Registered Company Number | 1982084 |
| Customer name | Fidel Salas Vicente |
| Customer address | Avda. Castellón, 5 Geldo, Castellón 12412 |
| License number | 3582600000370 |
| License date | Mar 05, 2015 |
| Licensed content publisher | Elsevier |
| Licensed content publication | Engineering Fracture Mechanics |
| Licensed content title | Application of fracture mechanics methods to rail design and maintenance |
| Licensed content author | J. Plu,S. Bondeux,D. Boulanger,R. Heyder |
| Licensed content date | November 2009 |
| Licensed content volume number | 76 |
| Licensed content issue number | 17 |
| Number of pages | 10 |
| Start Page | 2602 |
| End Page | 2611 |
| Type of Use | reuse in a thesis/dissertation |
| Portion | figures/tables/illustrations |
| Number of figures/tables/illustrations | 1 |
| Format | both print and electronic |
| Are you the author of this Elsevier article? | No |
| Will you be translating? | No |
| Original figure numbers | Figure 3 |
| Title of your thesis/dissertation | Investigación y modelización de la adherencia, el desgaste y la fenomenología de daño asociada a la rodadura en contactos rueda-carril de aceros al carbono y bainíticos |

| | |
|----------------------------------|---------------------|
| Expected completion date | May 2015 |
| Estimated size (number of pages) | 440 |
| Elsevier VAT number | GB 494 6272 12 |
| Permissions price | 0.00 EUR |
| VAT/Local Sales Tax | 0.00 USD / 0.00 GBP |
| Total | 0.00 EUR |

[Terms and Conditions](#)

INTRODUCTION

1. The publisher for this copyrighted material is Elsevier. By clicking "accept" in connection with completing this licensing transaction, you agree that the following terms and conditions apply to this transaction (along with the Billing and Payment terms and conditions established by Copyright Clearance Center, Inc. ("CCC"), at the time that you opened your Rightslink account and that are available at any time at <http://myaccount.copyright.com>).

GENERAL TERMS

2. Elsevier hereby grants you permission to reproduce the aforementioned material subject to the terms and conditions indicated.

3. Acknowledgement: If any part of the material to be used (for example, figures) has appeared in our publication with credit or acknowledgement to another source, permission must also be sought from that source. If such permission is not obtained then that material may not be included in your publication/copies. Suitable acknowledgement to the source must be made, either as a footnote or in a reference list at the end of your publication, as follows:

"Reprinted from Publication title, Vol /edition number, Author(s), Title of article / title of chapter, Pages No., Copyright (Year), with permission from Elsevier [OR APPLICABLE SOCIETY COPYRIGHT OWNER]." Also Lancet special credit - "Reprinted from The Lancet, Vol. number, Author(s), Title of article, Pages No., Copyright (Year), with permission from Elsevier."

4. Reproduction of this material is confined to the purpose and/or media for which permission is hereby given.

5. Altering/Modifying Material: Not Permitted. However figures and illustrations may be altered/adapted minimally to serve your work. Any other abbreviations, additions, deletions and/or any other alterations shall be made only with prior written authorization of Elsevier Ltd. (Please contact Elsevier at permissions@elsevier.com)

6. If the permission fee for the requested use of our material is waived in this instance, please be advised that your future requests for Elsevier materials may attract a fee.

7. Reservation of Rights: Publisher reserves all rights not specifically granted in the combination of (i) the license details provided by you and accepted in the course of this licensing transaction, (ii) these terms and conditions and (iii) CCC's Billing and Payment terms and conditions.

8. License Contingent Upon Payment: While you may exercise the rights licensed immediately upon issuance of the license at the end of the licensing process for the

transaction, provided that you have disclosed complete and accurate details of your proposed use, no license is finally effective unless and until full payment is received from you (either by publisher or by CCC) as provided in CCC's Billing and Payment terms and conditions. If full payment is not received on a timely basis, then any license preliminarily granted shall be deemed automatically revoked and shall be void as if never granted. Further, in the event that you breach any of these terms and conditions or any of CCC's Billing and Payment terms and conditions, the license is automatically revoked and shall be void as if never granted. Use of materials as described in a revoked license, as well as any use of the materials beyond the scope of an unrevoked license, may constitute copyright infringement and publisher reserves the right to take any and all action to protect its copyright in the materials.

9. Warranties: Publisher makes no representations or warranties with respect to the licensed material.

10. Indemnity: You hereby indemnify and agree to hold harmless publisher and CCC, and their respective officers, directors, employees and agents, from and against any and all claims arising out of your use of the licensed material other than as specifically authorized pursuant to this license.

11. No Transfer of License: This license is personal to you and may not be sublicensed, assigned, or transferred by you to any other person without publisher's written permission.

12. No Amendment Except in Writing: This license may not be amended except in a writing signed by both parties (or, in the case of publisher, by CCC on publisher's behalf).

13. Objection to Contrary Terms: Publisher hereby objects to any terms contained in any purchase order, acknowledgment, check endorsement or other writing prepared by you, which terms are inconsistent with these terms and conditions or CCC's Billing and Payment terms and conditions. These terms and conditions, together with CCC's Billing and Payment terms and conditions (which are incorporated herein), comprise the entire agreement between you and publisher (and CCC) concerning this licensing transaction. In the event of any conflict between your obligations established by these terms and conditions and those established by CCC's Billing and Payment terms and conditions, these terms and conditions shall control.

14. Revocation: Elsevier or Copyright Clearance Center may deny the permissions described in this License at their sole discretion, for any reason or no reason, with a full refund payable to you. Notice of such denial will be made using the contact information provided by you. Failure to receive such notice will not alter or invalidate the denial. In no event will Elsevier or Copyright Clearance Center be responsible or liable for any costs, expenses or damage incurred by you as a result of a denial of your permission request, other than a refund of the amount(s) paid by you to Elsevier and/or Copyright Clearance Center for denied permissions.

LIMITED LICENSE

The following terms and conditions apply only to specific license types:

15. **Translation:** This permission is granted for non-exclusive world **English** rights only unless your license was granted for translation rights. If you licensed translation rights you may only translate this content into the languages you requested. A professional translator must perform all translations and reproduce the content word for word preserving the integrity of the article. If this license is to re-use 1 or 2 figures then permission is granted for non-exclusive world rights in all languages.

16. Posting licensed content on any Website: The following terms and conditions apply as follows: Licensing material from an Elsevier journal: All content posted to the web site must maintain the copyright information line on the bottom of each image; A hyper-text must be included to the Homepage of the journal from which you are licensing at <http://www.sciencedirect.com/science/journal/xxxxx> or the Elsevier homepage for books at <http://www.elsevier.com>; Central Storage: This license does not include permission for a scanned version of the material to be stored in a central repository such as that provided by Heron/XanEdu.

Licensing material from an Elsevier book: A hyper-text link must be included to the Elsevier homepage at <http://www.elsevier.com> . All content posted to the web site must maintain the copyright information line on the bottom of each image.

Posting licensed content on Electronic reserve: In addition to the above the following clauses are applicable: The web site must be password-protected and made available only to bona fide students registered on a relevant course. This permission is granted for 1 year only. You may obtain a new license for future website posting.

17. For journal authors: the following clauses are applicable in addition to the above:

Preprints:

A preprint is an author's own write-up of research results and analysis, it has not been peer-reviewed, nor has it had any other value added to it by a publisher (such as formatting, copyright, technical enhancement etc.).

Authors can share their preprints anywhere at any time. Preprints should not be added to or enhanced in any way in order to appear more like, or to substitute for, the final versions of articles however authors can update their preprints on arXiv or RePEc with their Accepted Author Manuscript (see below).

If accepted for publication, we encourage authors to link from the preprint to their formal publication via its DOI. Millions of researchers have access to the formal publications on ScienceDirect, and so links will help users to find, access, cite and use the best available version. Please note that Cell Press, The Lancet and some society-owned have different preprint policies. Information on these policies is available on the journal homepage.

Accepted Author Manuscripts: An accepted author manuscript is the manuscript of an article that has been accepted for publication and which typically includes author-incorporated changes suggested during submission, peer review and editor-author communications.

Authors can share their accepted author manuscript:

- immediately
 - via their non-commercial person homepage or blog
 - by updating a preprint in arXiv or RePEc with the accepted manuscript
 - via their research institute or institutional repository for internal institutional uses or as part of an invitation-only research collaboration work-group
 - directly by providing copies to their students or to research collaborators for

their personal use

- for private scholarly sharing as part of an invitation-only work group on commercial sites with which Elsevier has an agreement
- after the embargo period
 - via non-commercial hosting platforms such as their institutional repository
 - via commercial sites with which Elsevier has an agreement

In all cases accepted manuscripts should:

- link to the formal publication via its DOI
- bear a CC-BY-NC-ND license - this is easy to do
- if aggregated with other manuscripts, for example in a repository or other site, be shared in alignment with our hosting policy not be added to or enhanced in any way to appear more like, or to substitute for, the published journal article.

Published journal article (JPA): A published journal article (PJA) is the definitive final record of published research that appears or will appear in the journal and embodies all value-adding publishing activities including peer review co-ordination, copy-editing, formatting, (if relevant) pagination and online enrichment.

Policies for sharing publishing journal articles differ for subscription and gold open access articles:

Subscription Articles: If you are an author, please share a link to your article rather than the full-text. Millions of researchers have access to the formal publications on ScienceDirect, and so links will help your users to find, access, cite, and use the best available version.

Theses and dissertations which contain embedded PJAs as part of the formal submission can be posted publicly by the awarding institution with DOI links back to the formal publications on ScienceDirect.

If you are affiliated with a library that subscribes to ScienceDirect you have additional private sharing rights for others' research accessed under that agreement. This includes use for classroom teaching and internal training at the institution (including use in course packs and courseware programs), and inclusion of the article for grant funding purposes.

Gold Open Access Articles: May be shared according to the author-selected end-user license and should contain a [CrossMark logo](#), the end user license, and a DOI link to the formal publication on ScienceDirect.

Please refer to Elsevier's [posting policy](#) for further information.

18. **For book authors** the following clauses are applicable in addition to the above: Authors are permitted to place a brief summary of their work online only. You are not allowed to download and post the published electronic version of your chapter, nor may you scan the printed edition to create an electronic version. **Posting to a repository:** Authors are permitted to post a summary of their chapter only in their institution's repository.

19. **Thesis/Dissertation:** If your license is for use in a thesis/dissertation your thesis may be

submitted to your institution in either print or electronic form. Should your thesis be published commercially, please reapply for permission. These requirements include permission for the Library and Archives of Canada to supply single copies, on demand, of the complete thesis and include permission for Proquest/UMI to supply single copies, on demand, of the complete thesis. Should your thesis be published commercially, please reapply for permission. Theses and dissertations which contain embedded PJAs as part of the formal submission can be posted publicly by the awarding institution with DOI links back to the formal publications on ScienceDirect.

Elsevier Open Access Terms and Conditions

You can publish open access with Elsevier in hundreds of open access journals or in nearly 2000 established subscription journals that support open access publishing. Permitted third party re-use of these open access articles is defined by the author's choice of Creative Commons user license. See our [open access license policy](#) for more information.

Terms & Conditions applicable to all Open Access articles published with Elsevier:

Any reuse of the article must not represent the author as endorsing the adaptation of the article nor should the article be modified in such a way as to damage the author's honour or reputation. If any changes have been made, such changes must be clearly indicated.

The author(s) must be appropriately credited and we ask that you include the end user license and a DOI link to the formal publication on ScienceDirect.

If any part of the material to be used (for example, figures) has appeared in our publication with credit or acknowledgement to another source it is the responsibility of the user to ensure their reuse complies with the terms and conditions determined by the rights holder.

Additional Terms & Conditions applicable to each Creative Commons user license:

CC BY: The CC-BY license allows users to copy, to create extracts, abstracts and new works from the Article, to alter and revise the Article and to make commercial use of the Article (including reuse and/or resale of the Article by commercial entities), provided the user gives appropriate credit (with a link to the formal publication through the relevant DOI), provides a link to the license, indicates if changes were made and the licensor is not represented as endorsing the use made of the work. The full details of the license are available at <http://creativecommons.org/licenses/by/4.0>.

CC BY NC SA: The CC BY-NC-SA license allows users to copy, to create extracts, abstracts and new works from the Article, to alter and revise the Article, provided this is not done for commercial purposes, and that the user gives appropriate credit (with a link to the formal publication through the relevant DOI), provides a link to the license, indicates if changes were made and the licensor is not represented as endorsing the use made of the work. Further, any new works must be made available on the same conditions. The full details of the license are available at <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0>.

CC BY NC ND: The CC BY-NC-ND license allows users to copy and distribute the Article, provided this is not done for commercial purposes and further does not permit distribution of the Article if it is changed or edited in any way, and provided the user gives appropriate credit (with a link to the formal publication through the relevant DOI), provides a link to the license, and that the licensor is not represented as endorsing the use made of the work. The full details of the license are available at <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0>.

Any commercial reuse of Open Access articles published with a CC BY NC SA or CC BY NC ND license requires permission from Elsevier and will be subject to a fee.

Commercial reuse includes:

- Associating advertising with the full text of the Article
- Charging fees for document delivery or access
- Article aggregation
- Systematic distribution via e-mail lists or share buttons

Posting or linking by commercial companies for use by customers of those companies.

20. Other Conditions:

Questions? customercare@copyright.com or +1-855-239-3415 (toll free in the US) or +1-978-646-2777.

Gratis licenses (referencing \$0 in the Total field) are free. Please retain this printable license for your reference. No payment is required.

ELSEVIER LICENSE TERMS AND CONDITIONS

Feb 20, 2015

This is a License Agreement between Fidel Salas Vicente ("You") and Elsevier ("Elsevier") provided by Copyright Clearance Center ("CCC"). The license consists of your order details, the terms and conditions provided by Elsevier, and the payment terms and conditions.

All payments must be made in full to CCC. For payment instructions, please see information listed at the bottom of this form.

| | |
|--|---|
| Supplier | Elsevier Limited The Boulevard,Langford Lane Kidlington,Oxford,OX5 1GB,UK |
| Registered Company Number | 1982084 |
| Customer name | Fidel Salas Vicente |
| Customer address | Avda. Castellón, 5 Geldo, Castellón 12412 |
| License number | 3573181194409 |
| License date | Feb 20, 2015 |
| Licensed content publisher | Elsevier |
| Licensed content publication | Wear |
| Licensed content title | Creep forces in simulations of traction vehicles running on adhesion limit |
| Licensed content author | A. Ekberg,J.W. Ringsberg,R. Lunden,O. Polach |
| Licensed content date | March 2005 |
| Licensed content volume number | 258 |
| Licensed content issue number | 7-8 |
| Number of pages | 9 |
| Start Page | 992 |
| End Page | 1000 |
| Type of Use | reuse in a thesis/dissertation |
| Intended publisher of new work | other |
| Portion | figures/tables/illustrations |
| Number of figures/tables/illustrations | 2 |
| Format | both print and electronic |
| Are you the author of this Elsevier article? | No |
| Will you be translating? | No |
| Original figure numbers | figures 5,8 |

| | |
|-----------------------------------|--|
| Title of your thesis/dissertation | Investigación y modelización de la adherencia, el desgaste y la fenomenología de daño asociada a la rodadura en contactos rueda-carril de aceros al carbono y bainíticos |
| Expected completion date | May 2015 |
| Estimated size (number of pages) | 440 |
| Elsevier VAT number | GB 494 6272 12 |
| Permissions price | 0.00 EUR |
| VAT/Local Sales Tax | 0.00 EUR / 0.00 GBP |
| Total | 0.00 EUR |

Terms and Conditions

INTRODUCTION

1. The publisher for this copyrighted material is Elsevier. By clicking "accept" in connection with completing this licensing transaction, you agree that the following terms and conditions apply to this transaction (along with the Billing and Payment terms and conditions established by Copyright Clearance Center, Inc. ("CCC"), at the time that you opened your Rightslink account and that are available at any time at <http://myaccount.copyright.com>).

GENERAL TERMS

2. Elsevier hereby grants you permission to reproduce the aforementioned material subject to the terms and conditions indicated.

3. Acknowledgement: If any part of the material to be used (for example, figures) has appeared in our publication with credit or acknowledgement to another source, permission must also be sought from that source. If such permission is not obtained then that material may not be included in your publication/copies. Suitable acknowledgement to the source must be made, either as a footnote or in a reference list at the end of your publication, as follows:

“Reprinted from Publication title, Vol /edition number, Author(s), Title of article / title of chapter, Pages No., Copyright (Year), with permission from Elsevier [OR APPLICABLE SOCIETY COPYRIGHT OWNER].” Also Lancet special credit - “Reprinted from The Lancet, Vol. number, Author(s), Title of article, Pages No., Copyright (Year), with permission from Elsevier.”

4. Reproduction of this material is confined to the purpose and/or media for which permission is hereby given.

5. Altering/Modifying Material: Not Permitted. However figures and illustrations may be altered/adapted minimally to serve your work. Any other abbreviations, additions, deletions and/or any other alterations shall be made only with prior written authorization of Elsevier Ltd. (Please contact Elsevier at permissions@elsevier.com)

6. If the permission fee for the requested use of our material is waived in this instance, please be advised that your future requests for Elsevier materials may attract a fee.

7. Reservation of Rights: Publisher reserves all rights not specifically granted in the combination of (i) the license details provided by you and accepted in the course of this licensing transaction, (ii) these terms and conditions and (iii) CCC's Billing and Payment terms and conditions.

8. **License Contingent Upon Payment:** While you may exercise the rights licensed immediately upon issuance of the license at the end of the licensing process for the transaction, provided that you have disclosed complete and accurate details of your proposed use, no license is finally effective unless and until full payment is received from you (either by publisher or by CCC) as provided in CCC's Billing and Payment terms and conditions. If full payment is not received on a timely basis, then any license preliminarily granted shall be deemed automatically revoked and shall be void as if never granted. Further, in the event that you breach any of these terms and conditions or any of CCC's Billing and Payment terms and conditions, the license is automatically revoked and shall be void as if never granted. Use of materials as described in a revoked license, as well as any use of the materials beyond the scope of an unrevoked license, may constitute copyright infringement and publisher reserves the right to take any and all action to protect its copyright in the materials.

9. **Warranties:** Publisher makes no representations or warranties with respect to the licensed material.

10. **Indemnity:** You hereby indemnify and agree to hold harmless publisher and CCC, and their respective officers, directors, employees and agents, from and against any and all claims arising out of your use of the licensed material other than as specifically authorized pursuant to this license.

11. **No Transfer of License:** This license is personal to you and may not be sublicensed, assigned, or transferred by you to any other person without publisher's written permission.

12. **No Amendment Except in Writing:** This license may not be amended except in a writing signed by both parties (or, in the case of publisher, by CCC on publisher's behalf).

13. **Objection to Contrary Terms:** Publisher hereby objects to any terms contained in any purchase order, acknowledgment, check endorsement or other writing prepared by you, which terms are inconsistent with these terms and conditions or CCC's Billing and Payment terms and conditions. These terms and conditions, together with CCC's Billing and Payment terms and conditions (which are incorporated herein), comprise the entire agreement between you and publisher (and CCC) concerning this licensing transaction. In the event of any conflict between your obligations established by these terms and conditions and those established by CCC's Billing and Payment terms and conditions, these terms and conditions shall control.

14. **Revocation:** Elsevier or Copyright Clearance Center may deny the permissions described in this License at their sole discretion, for any reason or no reason, with a full refund payable to you. Notice of such denial will be made using the contact information provided by you. Failure to receive such notice will not alter or invalidate the denial. In no event will Elsevier or Copyright Clearance Center be responsible or liable for any costs, expenses or damage incurred by you as a result of a denial of your permission request, other than a refund of the amount(s) paid by you to Elsevier and/or Copyright Clearance Center for denied permissions.

LIMITED LICENSE

The following terms and conditions apply only to specific license types:

15. **Translation:** This permission is granted for non-exclusive world **English** rights only unless your license was granted for translation rights. If you licensed translation rights you may only translate this content into the languages you requested. A professional translator must perform all translations and reproduce the content word for word preserving the

integrity of the article. If this license is to re-use 1 or 2 figures then permission is granted for non-exclusive world rights in all languages.

16. Posting licensed content on any Website: The following terms and conditions apply as follows: Licensing material from an Elsevier journal: All content posted to the web site must maintain the copyright information line on the bottom of each image; A hyper-text must be included to the Homepage of the journal from which you are licensing at <http://www.sciencedirect.com/science/journal/xxxxx> or the Elsevier homepage for books at <http://www.elsevier.com>; Central Storage: This license does not include permission for a scanned version of the material to be stored in a central repository such as that provided by Heron/XanEdu.

Licensing material from an Elsevier book: A hyper-text link must be included to the Elsevier homepage at <http://www.elsevier.com>. All content posted to the web site must maintain the copyright information line on the bottom of each image.

Posting licensed content on Electronic reserve: In addition to the above the following clauses are applicable: The web site must be password-protected and made available only to bona fide students registered on a relevant course. This permission is granted for 1 year only. You may obtain a new license for future website posting.

17. For journal authors: the following clauses are applicable in addition to the above: Permission granted is limited to the author accepted manuscript version* of your paper.

***Accepted Author Manuscript (AAM) Definition:** An accepted author manuscript (AAM) is the author's version of the manuscript of an article that has been accepted for publication and which may include any author-incorporated changes suggested through the processes of submission processing, peer review, and editor-author communications. AAMs do not include other publisher value-added contributions such as copy-editing, formatting, technical enhancements and (if relevant) pagination.

You are not allowed to download and post the published journal article (whether PDF or HTML, proof or final version), nor may you scan the printed edition to create an electronic version. A hyper-text must be included to the Homepage of the journal from which you are licensing at <http://www.sciencedirect.com/science/journal/xxxxx>. As part of our normal production process, you will receive an e-mail notice when your article appears on Elsevier's online service ScienceDirect (www.sciencedirect.com). That e-mail will include the article's Digital Object Identifier (DOI). This number provides the electronic link to the published article and should be included in the posting of your personal version. We ask that you wait until you receive this e-mail and have the DOI to do any posting.

18. Posting to a repository: Authors may post their AAM immediately to their employer's institutional repository for internal use only and may make their manuscript publically available after the journal-specific embargo period has ended.

Please also refer to [Elsevier's Article Posting Policy](#) for further information.

19. For book authors the following clauses are applicable in addition to the above: Authors are permitted to place a brief summary of their work online only.. You are not allowed to download and post the published electronic version of your chapter, nor may you scan the printed edition to create an electronic version. **Posting to a repository:** Authors are permitted to post a summary of their chapter only in their institution's repository.

20. Thesis/Dissertation: If your license is for use in a thesis/dissertation your thesis may be submitted to your institution in either print or electronic form. Should your thesis be

published commercially, please reapply for permission. These requirements include permission for the Library and Archives of Canada to supply single copies, on demand, of the complete thesis and include permission for Proquest/UMI to supply single copies, on demand, of the complete thesis. Should your thesis be published commercially, please reapply for permission.

Elsevier Open Access Terms and Conditions

Elsevier publishes Open Access articles in both its Open Access journals and via its Open Access articles option in subscription journals.

Authors publishing in an Open Access journal or who choose to make their article Open Access in an Elsevier subscription journal select one of the following Creative Commons user licenses, which define how a reader may reuse their work: Creative Commons Attribution License (CC BY), Creative Commons Attribution – Non Commercial - ShareAlike (CC BY NC SA) and Creative Commons Attribution – Non Commercial – No Derivatives (CC BY NC ND)

Terms & Conditions applicable to all Elsevier Open Access articles:

Any reuse of the article must not represent the author as endorsing the adaptation of the article nor should the article be modified in such a way as to damage the author's honour or reputation.

The author(s) must be appropriately credited.

If any part of the material to be used (for example, figures) has appeared in our publication with credit or acknowledgement to another source it is the responsibility of the user to ensure their reuse complies with the terms and conditions determined by the rights holder.

Additional Terms & Conditions applicable to each Creative Commons user license:

CC BY: You may distribute and copy the article, create extracts, abstracts, and other revised versions, adaptations or derivative works of or from an article (such as a translation), to include in a collective work (such as an anthology), to text or data mine the article, including for commercial purposes without permission from Elsevier

CC BY NC SA: For non-commercial purposes you may distribute and copy the article, create extracts, abstracts and other revised versions, adaptations or derivative works of or from an article (such as a translation), to include in a collective work (such as an anthology), to text and data mine the article and license new adaptations or creations under identical terms without permission from Elsevier

CC BY NC ND: For non-commercial purposes you may distribute and copy the article and include it in a collective work (such as an anthology), provided you do not alter or modify the article, without permission from Elsevier

Any commercial reuse of Open Access articles published with a CC BY NC SA or CC BY NC ND license requires permission from Elsevier and will be subject to a fee.

Commercial reuse includes:

- Promotional purposes (advertising or marketing)

- Commercial exploitation (e.g. a product for sale or loan)
- Systematic distribution (for a fee or free of charge)

Please refer to [Elsevier's Open Access Policy](#) for further information.

21. Other Conditions:

v1.7

Questions? customercare@copyright.com or +1-855-239-3415 (toll free in the US) or +1-978-646-2777.

Gratis licenses (referencing \$0 in the Total field) are free. Please retain this printable license for your reference. No payment is required.

ELSEVIER LICENSE TERMS AND CONDITIONS

Mar 03, 2015

This is a License Agreement between Fidel Salas Vicente ("You") and Elsevier ("Elsevier") provided by Copyright Clearance Center ("CCC"). The license consists of your order details, the terms and conditions provided by Elsevier, and the payment terms and conditions.

All payments must be made in full to CCC. For payment instructions, please see information listed at the bottom of this form.

| | |
|--|---|
| Supplier | Elsevier Limited The Boulevard,Langford Lane Kidlington,Oxford,OX5 1GB,UK |
| Registered Company Number | 1982084 |
| Customer name | Fidel Salas Vicente |
| Customer address | Avda. Castellón, 5 Geldo, Castellón 12412 |
| License number | 3581460795655 |
| License date | Mar 03, 2015 |
| Licensed content publisher | Elsevier |
| Licensed content publication | Wear |
| Licensed content title | Deterioration of rolling contact fatigue life of pearlitic rail steel due to dry-wet rolling-sliding line contact |
| Licensed content author | W.R. Tyfour,J.H. Beynon,A. Kapoor |
| Licensed content date | September 1996 |
| Licensed content volume number | 197 |
| Licensed content issue number | 1-2 |
| Number of pages | 11 |
| Start Page | 255 |
| End Page | 265 |
| Type of Use | reuse in a thesis/dissertation |
| Intended publisher of new work | other |
| Portion | figures/tables/illustrations |
| Number of figures/tables/illustrations | 1 |
| Format | both print and electronic |
| Are you the author of this Elsevier article? | No |
| Will you be translating? | No |
| Original figure numbers | Figure 7 |

| | |
|-----------------------------------|--|
| Title of your thesis/dissertation | Investigación y modelización de la adherencia, el desgaste y la fenomenología de daño asociada a la rodadura en contactos rueda-carril de aceros al carbono y bainíticos |
| Expected completion date | May 2015 |
| Estimated size (number of pages) | 440 |
| Elsevier VAT number | GB 494 6272 12 |
| Permissions price | 0.00 EUR |
| VAT/Local Sales Tax | 0.00 USD / 0.00 GBP |
| Total | 0.00 EUR |

Terms and Conditions

INTRODUCTION

1. The publisher for this copyrighted material is Elsevier. By clicking "accept" in connection with completing this licensing transaction, you agree that the following terms and conditions apply to this transaction (along with the Billing and Payment terms and conditions established by Copyright Clearance Center, Inc. ("CCC"), at the time that you opened your Rightslink account and that are available at any time at <http://myaccount.copyright.com>).

GENERAL TERMS

2. Elsevier hereby grants you permission to reproduce the aforementioned material subject to the terms and conditions indicated.

3. Acknowledgement: If any part of the material to be used (for example, figures) has appeared in our publication with credit or acknowledgement to another source, permission must also be sought from that source. If such permission is not obtained then that material may not be included in your publication/copies. Suitable acknowledgement to the source must be made, either as a footnote or in a reference list at the end of your publication, as follows:

"Reprinted from Publication title, Vol /edition number, Author(s), Title of article / title of chapter, Pages No., Copyright (Year), with permission from Elsevier [OR APPLICABLE SOCIETY COPYRIGHT OWNER]." Also Lancet special credit - "Reprinted from The Lancet, Vol. number, Author(s), Title of article, Pages No., Copyright (Year), with permission from Elsevier."

4. Reproduction of this material is confined to the purpose and/or media for which permission is hereby given.

5. Altering/Modifying Material: Not Permitted. However figures and illustrations may be altered/adapted minimally to serve your work. Any other abbreviations, additions, deletions and/or any other alterations shall be made only with prior written authorization of Elsevier Ltd. (Please contact Elsevier at permissions@elsevier.com)

6. If the permission fee for the requested use of our material is waived in this instance, please be advised that your future requests for Elsevier materials may attract a fee.

7. Reservation of Rights: Publisher reserves all rights not specifically granted in the combination of (i) the license details provided by you and accepted in the course of this licensing transaction, (ii) these terms and conditions and (iii) CCC's Billing and Payment terms and conditions.

8. **License Contingent Upon Payment:** While you may exercise the rights licensed immediately upon issuance of the license at the end of the licensing process for the transaction, provided that you have disclosed complete and accurate details of your proposed use, no license is finally effective unless and until full payment is received from you (either by publisher or by CCC) as provided in CCC's Billing and Payment terms and conditions. If full payment is not received on a timely basis, then any license preliminarily granted shall be deemed automatically revoked and shall be void as if never granted. Further, in the event that you breach any of these terms and conditions or any of CCC's Billing and Payment terms and conditions, the license is automatically revoked and shall be void as if never granted. Use of materials as described in a revoked license, as well as any use of the materials beyond the scope of an unrevoked license, may constitute copyright infringement and publisher reserves the right to take any and all action to protect its copyright in the materials.

9. **Warranties:** Publisher makes no representations or warranties with respect to the licensed material.

10. **Indemnity:** You hereby indemnify and agree to hold harmless publisher and CCC, and their respective officers, directors, employees and agents, from and against any and all claims arising out of your use of the licensed material other than as specifically authorized pursuant to this license.

11. **No Transfer of License:** This license is personal to you and may not be sublicensed, assigned, or transferred by you to any other person without publisher's written permission.

12. **No Amendment Except in Writing:** This license may not be amended except in a writing signed by both parties (or, in the case of publisher, by CCC on publisher's behalf).

13. **Objection to Contrary Terms:** Publisher hereby objects to any terms contained in any purchase order, acknowledgment, check endorsement or other writing prepared by you, which terms are inconsistent with these terms and conditions or CCC's Billing and Payment terms and conditions. These terms and conditions, together with CCC's Billing and Payment terms and conditions (which are incorporated herein), comprise the entire agreement between you and publisher (and CCC) concerning this licensing transaction. In the event of any conflict between your obligations established by these terms and conditions and those established by CCC's Billing and Payment terms and conditions, these terms and conditions shall control.

14. **Revocation:** Elsevier or Copyright Clearance Center may deny the permissions described in this License at their sole discretion, for any reason or no reason, with a full refund payable to you. Notice of such denial will be made using the contact information provided by you. Failure to receive such notice will not alter or invalidate the denial. In no event will Elsevier or Copyright Clearance Center be responsible or liable for any costs, expenses or damage incurred by you as a result of a denial of your permission request, other than a refund of the amount(s) paid by you to Elsevier and/or Copyright Clearance Center for denied permissions.

LIMITED LICENSE

The following terms and conditions apply only to specific license types:

15. **Translation:** This permission is granted for non-exclusive world **English** rights only unless your license was granted for translation rights. If you licensed translation rights you may only translate this content into the languages you requested. A professional translator must perform all translations and reproduce the content word for word preserving the

integrity of the article. If this license is to re-use 1 or 2 figures then permission is granted for non-exclusive world rights in all languages.

16. Posting licensed content on any Website: The following terms and conditions apply as follows: Licensing material from an Elsevier journal: All content posted to the web site must maintain the copyright information line on the bottom of each image; A hyper-text must be included to the Homepage of the journal from which you are licensing at <http://www.sciencedirect.com/science/journal/xxxxx> or the Elsevier homepage for books at <http://www.elsevier.com>; Central Storage: This license does not include permission for a scanned version of the material to be stored in a central repository such as that provided by Heron/XanEdu.

Licensing material from an Elsevier book: A hyper-text link must be included to the Elsevier homepage at <http://www.elsevier.com> . All content posted to the web site must maintain the copyright information line on the bottom of each image.

Posting licensed content on Electronic reserve: In addition to the above the following clauses are applicable: The web site must be password-protected and made available only to bona fide students registered on a relevant course. This permission is granted for 1 year only. You may obtain a new license for future website posting.

17. For journal authors: the following clauses are applicable in addition to the above:

Preprints:

A preprint is an author's own write-up of research results and analysis, it has not been peer-reviewed, nor has it had any other value added to it by a publisher (such as formatting, copyright, technical enhancement etc.).

Authors can share their preprints anywhere at any time. Preprints should not be added to or enhanced in any way in order to appear more like, or to substitute for, the final versions of articles however authors can update their preprints on arXiv or RePEc with their Accepted Author Manuscript (see below).

If accepted for publication, we encourage authors to link from the preprint to their formal publication via its DOI. Millions of researchers have access to the formal publications on ScienceDirect, and so links will help users to find, access, cite and use the best available version. Please note that Cell Press, The Lancet and some society-owned have different preprint policies. Information on these policies is available on the journal homepage.

Accepted Author Manuscripts: An accepted author manuscript is the manuscript of an article that has been accepted for publication and which typically includes author-incorporated changes suggested during submission, peer review and editor-author communications.

Authors can share their accepted author manuscript:

- immediately
 - via their non-commercial person homepage or blog
 - by updating a preprint in arXiv or RePEc with the accepted manuscript
 - via their research institute or institutional repository for internal institutional

uses or as part of an invitation-only research collaboration work-group

- directly by providing copies to their students or to research collaborators for their personal use
 - for private scholarly sharing as part of an invitation-only work group on commercial sites with which Elsevier has an agreement
- after the embargo period
- via non-commercial hosting platforms such as their institutional repository
 - via commercial sites with which Elsevier has an agreement

In all cases accepted manuscripts should:

- link to the formal publication via its DOI
- bear a CC-BY-NC-ND license - this is easy to do
- if aggregated with other manuscripts, for example in a repository or other site, be shared in alignment with our hosting policy not be added to or enhanced in any way to appear more like, or to substitute for, the published journal article.

Published journal article (JPA): A published journal article (PJA) is the definitive final record of published research that appears or will appear in the journal and embodies all value-adding publishing activities including peer review co-ordination, copy-editing, formatting, (if relevant) pagination and online enrichment.

Policies for sharing publishing journal articles differ for subscription and gold open access articles:

Subscription Articles: If you are an author, please share a link to your article rather than the full-text. Millions of researchers have access to the formal publications on ScienceDirect, and so links will help your users to find, access, cite, and use the best available version.

Theses and dissertations which contain embedded PJAs as part of the formal submission can be posted publicly by the awarding institution with DOI links back to the formal publications on ScienceDirect.

If you are affiliated with a library that subscribes to ScienceDirect you have additional private sharing rights for others' research accessed under that agreement. This includes use for classroom teaching and internal training at the institution (including use in course packs and courseware programs), and inclusion of the article for grant funding purposes.

Gold Open Access Articles: May be shared according to the author-selected end-user license and should contain a [CrossMark logo](#), the end user license, and a DOI link to the formal publication on ScienceDirect.

Please refer to Elsevier's [posting policy](#) for further information.

18. **For book authors** the following clauses are applicable in addition to the above: Authors are permitted to place a brief summary of their work online only. You are not allowed to download and post the published electronic version of your chapter, nor may you scan the printed edition to create an electronic version. **Posting to a repository:** Authors are

permitted to post a summary of their chapter only in their institution's repository.

19. Thesis/Dissertation: If your license is for use in a thesis/dissertation your thesis may be submitted to your institution in either print or electronic form. Should your thesis be published commercially, please reapply for permission. These requirements include permission for the Library and Archives of Canada to supply single copies, on demand, of the complete thesis and include permission for Proquest/UMI to supply single copies, on demand, of the complete thesis. Should your thesis be published commercially, please reapply for permission. Theses and dissertations which contain embedded PJAs as part of the formal submission can be posted publicly by the awarding institution with DOI links back to the formal publications on ScienceDirect.

Elsevier Open Access Terms and Conditions

You can publish open access with Elsevier in hundreds of open access journals or in nearly 2000 established subscription journals that support open access publishing. Permitted third party re-use of these open access articles is defined by the author's choice of Creative Commons user license. See our [open access license policy](#) for more information.

Terms & Conditions applicable to all Open Access articles published with Elsevier:

Any reuse of the article must not represent the author as endorsing the adaptation of the article nor should the article be modified in such a way as to damage the author's honour or reputation. If any changes have been made, such changes must be clearly indicated.

The author(s) must be appropriately credited and we ask that you include the end user license and a DOI link to the formal publication on ScienceDirect.

If any part of the material to be used (for example, figures) has appeared in our publication with credit or acknowledgement to another source it is the responsibility of the user to ensure their reuse complies with the terms and conditions determined by the rights holder.

Additional Terms & Conditions applicable to each Creative Commons user license:

CC BY: The CC-BY license allows users to copy, to create extracts, abstracts and new works from the Article, to alter and revise the Article and to make commercial use of the Article (including reuse and/or resale of the Article by commercial entities), provided the user gives appropriate credit (with a link to the formal publication through the relevant DOI), provides a link to the license, indicates if changes were made and the licensor is not represented as endorsing the use made of the work. The full details of the license are available at <http://creativecommons.org/licenses/by/4.0>.

CC BY NC SA: The CC BY-NC-SA license allows users to copy, to create extracts, abstracts and new works from the Article, to alter and revise the Article, provided this is not done for commercial purposes, and that the user gives appropriate credit (with a link to the formal publication through the relevant DOI), provides a link to the license, indicates if changes were made and the licensor is not represented as endorsing the use made of the work. Further, any new works must be made available on the same conditions. The full details of the license are available at <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0>.

CC BY NC ND: The CC BY-NC-ND license allows users to copy and distribute the Article, provided this is not done for commercial purposes and further does not permit distribution of the Article if it is changed or edited in any way, and provided the user gives appropriate

credit (with a link to the formal publication through the relevant DOI), provides a link to the license, and that the licensor is not represented as endorsing the use made of the work. The full details of the license are available at <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0>. Any commercial reuse of Open Access articles published with a CC BY NC SA or CC BY NC ND license requires permission from Elsevier and will be subject to a fee.

Commercial reuse includes:

- Associating advertising with the full text of the Article
- Charging fees for document delivery or access
- Article aggregation
- Systematic distribution via e-mail lists or share buttons

Posting or linking by commercial companies for use by customers of those companies.

20. Other Conditions:

Questions? customercare@copyright.com or +1-855-239-3415 (toll free in the US) or +1-978-646-2777.

Gratis licenses (referencing \$0 in the Total field) are free. Please retain this printable license for your reference. No payment is required.

ELSEVIER LICENSE TERMS AND CONDITIONS

Mar 04, 2015

This is a License Agreement between Fidel Salas Vicente ("You") and Elsevier ("Elsevier") provided by Copyright Clearance Center ("CCC"). The license consists of your order details, the terms and conditions provided by Elsevier, and the payment terms and conditions.

All payments must be made in full to CCC. For payment instructions, please see information listed at the bottom of this form.

| | |
|--|---|
| Supplier | Elsevier Limited The Boulevard,Langford Lane Kidlington,Oxford,OX5 1GB,UK |
| Registered Company Number | 1982084 |
| Customer name | Fidel Salas Vicente |
| Customer address | Avda. Castellón, 5 Geldo, Castellón 12412 |
| License number | 3582021167556 |
| License date | Mar 04, 2015 |
| Licensed content publisher | Elsevier |
| Licensed content publication | Wear |
| Licensed content title | Deterioration of rolling contact fatigue life of pearlitic rail steel due to dry-wet rolling-sliding line contact |
| Licensed content author | W.R. Tyfour,J.H. Beynon,A. Kapoor |
| Licensed content date | September 1996 |
| Licensed content volume number | 197 |
| Licensed content issue number | 1-2 |
| Number of pages | 11 |
| Start Page | 255 |
| End Page | 265 |
| Type of Use | reuse in a thesis/dissertation |
| Intended publisher of new work | other |
| Portion | figures/tables/illustrations |
| Number of figures/tables/illustrations | 1 |
| Format | both print and electronic |
| Are you the author of this Elsevier article? | No |
| Will you be translating? | No |
| Original figure numbers | Figure 5 |

| | |
|-----------------------------------|--|
| Title of your thesis/dissertation | Investigación y modelización de la adherencia, el desgaste y la fenomenología de daño asociada a la rodadura en contactos rueda-carril de aceros al carbono y bainíticos |
| Expected completion date | May 2015 |
| Estimated size (number of pages) | 440 |
| Elsevier VAT number | GB 494 6272 12 |
| Permissions price | 0.00 EUR |
| VAT/Local Sales Tax | 0.00 EUR / 0.00 GBP |
| Total | 0.00 EUR |

Terms and Conditions

INTRODUCTION

1. The publisher for this copyrighted material is Elsevier. By clicking "accept" in connection with completing this licensing transaction, you agree that the following terms and conditions apply to this transaction (along with the Billing and Payment terms and conditions established by Copyright Clearance Center, Inc. ("CCC"), at the time that you opened your Rightslink account and that are available at any time at <http://myaccount.copyright.com>).

GENERAL TERMS

2. Elsevier hereby grants you permission to reproduce the aforementioned material subject to the terms and conditions indicated.

3. Acknowledgement: If any part of the material to be used (for example, figures) has appeared in our publication with credit or acknowledgement to another source, permission must also be sought from that source. If such permission is not obtained then that material may not be included in your publication/copies. Suitable acknowledgement to the source must be made, either as a footnote or in a reference list at the end of your publication, as follows:

"Reprinted from Publication title, Vol /edition number, Author(s), Title of article / title of chapter, Pages No., Copyright (Year), with permission from Elsevier [OR APPLICABLE SOCIETY COPYRIGHT OWNER]." Also Lancet special credit - "Reprinted from The Lancet, Vol. number, Author(s), Title of article, Pages No., Copyright (Year), with permission from Elsevier."

4. Reproduction of this material is confined to the purpose and/or media for which permission is hereby given.

5. Altering/Modifying Material: Not Permitted. However figures and illustrations may be altered/adapted minimally to serve your work. Any other abbreviations, additions, deletions and/or any other alterations shall be made only with prior written authorization of Elsevier Ltd. (Please contact Elsevier at permissions@elsevier.com)

6. If the permission fee for the requested use of our material is waived in this instance, please be advised that your future requests for Elsevier materials may attract a fee.

7. Reservation of Rights: Publisher reserves all rights not specifically granted in the combination of (i) the license details provided by you and accepted in the course of this licensing transaction, (ii) these terms and conditions and (iii) CCC's Billing and Payment terms and conditions.

8. **License Contingent Upon Payment:** While you may exercise the rights licensed immediately upon issuance of the license at the end of the licensing process for the transaction, provided that you have disclosed complete and accurate details of your proposed use, no license is finally effective unless and until full payment is received from you (either by publisher or by CCC) as provided in CCC's Billing and Payment terms and conditions. If full payment is not received on a timely basis, then any license preliminarily granted shall be deemed automatically revoked and shall be void as if never granted. Further, in the event that you breach any of these terms and conditions or any of CCC's Billing and Payment terms and conditions, the license is automatically revoked and shall be void as if never granted. Use of materials as described in a revoked license, as well as any use of the materials beyond the scope of an unrevoked license, may constitute copyright infringement and publisher reserves the right to take any and all action to protect its copyright in the materials.

9. **Warranties:** Publisher makes no representations or warranties with respect to the licensed material.

10. **Indemnity:** You hereby indemnify and agree to hold harmless publisher and CCC, and their respective officers, directors, employees and agents, from and against any and all claims arising out of your use of the licensed material other than as specifically authorized pursuant to this license.

11. **No Transfer of License:** This license is personal to you and may not be sublicensed, assigned, or transferred by you to any other person without publisher's written permission.

12. **No Amendment Except in Writing:** This license may not be amended except in a writing signed by both parties (or, in the case of publisher, by CCC on publisher's behalf).

13. **Objection to Contrary Terms:** Publisher hereby objects to any terms contained in any purchase order, acknowledgment, check endorsement or other writing prepared by you, which terms are inconsistent with these terms and conditions or CCC's Billing and Payment terms and conditions. These terms and conditions, together with CCC's Billing and Payment terms and conditions (which are incorporated herein), comprise the entire agreement between you and publisher (and CCC) concerning this licensing transaction. In the event of any conflict between your obligations established by these terms and conditions and those established by CCC's Billing and Payment terms and conditions, these terms and conditions shall control.

14. **Revocation:** Elsevier or Copyright Clearance Center may deny the permissions described in this License at their sole discretion, for any reason or no reason, with a full refund payable to you. Notice of such denial will be made using the contact information provided by you. Failure to receive such notice will not alter or invalidate the denial. In no event will Elsevier or Copyright Clearance Center be responsible or liable for any costs, expenses or damage incurred by you as a result of a denial of your permission request, other than a refund of the amount(s) paid by you to Elsevier and/or Copyright Clearance Center for denied permissions.

LIMITED LICENSE

The following terms and conditions apply only to specific license types:

15. **Translation:** This permission is granted for non-exclusive world **English** rights only unless your license was granted for translation rights. If you licensed translation rights you may only translate this content into the languages you requested. A professional translator must perform all translations and reproduce the content word for word preserving the

integrity of the article. If this license is to re-use 1 or 2 figures then permission is granted for non-exclusive world rights in all languages.

16. Posting licensed content on any Website: The following terms and conditions apply as follows: Licensing material from an Elsevier journal: All content posted to the web site must maintain the copyright information line on the bottom of each image; A hyper-text must be included to the Homepage of the journal from which you are licensing at <http://www.sciencedirect.com/science/journal/xxxxx> or the Elsevier homepage for books at <http://www.elsevier.com>; Central Storage: This license does not include permission for a scanned version of the material to be stored in a central repository such as that provided by Heron/XanEdu.

Licensing material from an Elsevier book: A hyper-text link must be included to the Elsevier homepage at <http://www.elsevier.com> . All content posted to the web site must maintain the copyright information line on the bottom of each image.

Posting licensed content on Electronic reserve: In addition to the above the following clauses are applicable: The web site must be password-protected and made available only to bona fide students registered on a relevant course. This permission is granted for 1 year only. You may obtain a new license for future website posting.

17. For journal authors: the following clauses are applicable in addition to the above:

Preprints:

A preprint is an author's own write-up of research results and analysis, it has not been peer-reviewed, nor has it had any other value added to it by a publisher (such as formatting, copyright, technical enhancement etc.).

Authors can share their preprints anywhere at any time. Preprints should not be added to or enhanced in any way in order to appear more like, or to substitute for, the final versions of articles however authors can update their preprints on arXiv or RePEc with their Accepted Author Manuscript (see below).

If accepted for publication, we encourage authors to link from the preprint to their formal publication via its DOI. Millions of researchers have access to the formal publications on ScienceDirect, and so links will help users to find, access, cite and use the best available version. Please note that Cell Press, The Lancet and some society-owned have different preprint policies. Information on these policies is available on the journal homepage.

Accepted Author Manuscripts: An accepted author manuscript is the manuscript of an article that has been accepted for publication and which typically includes author-incorporated changes suggested during submission, peer review and editor-author communications.

Authors can share their accepted author manuscript:

- immediately
 - via their non-commercial person homepage or blog
 - by updating a preprint in arXiv or RePEc with the accepted manuscript
 - via their research institute or institutional repository for internal institutional

uses or as part of an invitation-only research collaboration work-group

- directly by providing copies to their students or to research collaborators for their personal use
 - for private scholarly sharing as part of an invitation-only work group on commercial sites with which Elsevier has an agreement
- after the embargo period
- via non-commercial hosting platforms such as their institutional repository
 - via commercial sites with which Elsevier has an agreement

In all cases accepted manuscripts should:

- link to the formal publication via its DOI
- bear a CC-BY-NC-ND license - this is easy to do
- if aggregated with other manuscripts, for example in a repository or other site, be shared in alignment with our hosting policy not be added to or enhanced in any way to appear more like, or to substitute for, the published journal article.

Published journal article (JPA): A published journal article (PJA) is the definitive final record of published research that appears or will appear in the journal and embodies all value-adding publishing activities including peer review co-ordination, copy-editing, formatting, (if relevant) pagination and online enrichment.

Policies for sharing publishing journal articles differ for subscription and gold open access articles:

Subscription Articles: If you are an author, please share a link to your article rather than the full-text. Millions of researchers have access to the formal publications on ScienceDirect, and so links will help your users to find, access, cite, and use the best available version.

Theses and dissertations which contain embedded PJAs as part of the formal submission can be posted publicly by the awarding institution with DOI links back to the formal publications on ScienceDirect.

If you are affiliated with a library that subscribes to ScienceDirect you have additional private sharing rights for others' research accessed under that agreement. This includes use for classroom teaching and internal training at the institution (including use in course packs and courseware programs), and inclusion of the article for grant funding purposes.

Gold Open Access Articles: May be shared according to the author-selected end-user license and should contain a [CrossMark logo](#), the end user license, and a DOI link to the formal publication on ScienceDirect.

Please refer to Elsevier's [posting policy](#) for further information.

18. **For book authors** the following clauses are applicable in addition to the above: Authors are permitted to place a brief summary of their work online only. You are not allowed to download and post the published electronic version of your chapter, nor may you scan the printed edition to create an electronic version. **Posting to a repository:** Authors are

permitted to post a summary of their chapter only in their institution's repository.

19. Thesis/Dissertation: If your license is for use in a thesis/dissertation your thesis may be submitted to your institution in either print or electronic form. Should your thesis be published commercially, please reapply for permission. These requirements include permission for the Library and Archives of Canada to supply single copies, on demand, of the complete thesis and include permission for Proquest/UMI to supply single copies, on demand, of the complete thesis. Should your thesis be published commercially, please reapply for permission. Theses and dissertations which contain embedded PJAs as part of the formal submission can be posted publicly by the awarding institution with DOI links back to the formal publications on ScienceDirect.

Elsevier Open Access Terms and Conditions

You can publish open access with Elsevier in hundreds of open access journals or in nearly 2000 established subscription journals that support open access publishing. Permitted third party re-use of these open access articles is defined by the author's choice of Creative Commons user license. See our [open access license policy](#) for more information.

Terms & Conditions applicable to all Open Access articles published with Elsevier:

Any reuse of the article must not represent the author as endorsing the adaptation of the article nor should the article be modified in such a way as to damage the author's honour or reputation. If any changes have been made, such changes must be clearly indicated.

The author(s) must be appropriately credited and we ask that you include the end user license and a DOI link to the formal publication on ScienceDirect.

If any part of the material to be used (for example, figures) has appeared in our publication with credit or acknowledgement to another source it is the responsibility of the user to ensure their reuse complies with the terms and conditions determined by the rights holder.

Additional Terms & Conditions applicable to each Creative Commons user license:

CC BY: The CC-BY license allows users to copy, to create extracts, abstracts and new works from the Article, to alter and revise the Article and to make commercial use of the Article (including reuse and/or resale of the Article by commercial entities), provided the user gives appropriate credit (with a link to the formal publication through the relevant DOI), provides a link to the license, indicates if changes were made and the licensor is not represented as endorsing the use made of the work. The full details of the license are available at <http://creativecommons.org/licenses/by/4.0>.

CC BY NC SA: The CC BY-NC-SA license allows users to copy, to create extracts, abstracts and new works from the Article, to alter and revise the Article, provided this is not done for commercial purposes, and that the user gives appropriate credit (with a link to the formal publication through the relevant DOI), provides a link to the license, indicates if changes were made and the licensor is not represented as endorsing the use made of the work. Further, any new works must be made available on the same conditions. The full details of the license are available at <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0>.

CC BY NC ND: The CC BY-NC-ND license allows users to copy and distribute the Article, provided this is not done for commercial purposes and further does not permit distribution of the Article if it is changed or edited in any way, and provided the user gives appropriate

credit (with a link to the formal publication through the relevant DOI), provides a link to the license, and that the licensor is not represented as endorsing the use made of the work. The full details of the license are available at <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0>. Any commercial reuse of Open Access articles published with a CC BY NC SA or CC BY NC ND license requires permission from Elsevier and will be subject to a fee.

Commercial reuse includes:

- Associating advertising with the full text of the Article
- Charging fees for document delivery or access
- Article aggregation
- Systematic distribution via e-mail lists or share buttons

Posting or linking by commercial companies for use by customers of those companies.

20. Other Conditions:

Questions? customercare@copyright.com or +1-855-239-3415 (toll free in the US) or +1-978-646-2777.

Gratis licenses (referencing \$0 in the Total field) are free. Please retain this printable license for your reference. No payment is required.

ELSEVIER LICENSE TERMS AND CONDITIONS

Feb 21, 2015

This is a License Agreement between Fidel Salas Vicente ("You") and Elsevier ("Elsevier") provided by Copyright Clearance Center ("CCC"). The license consists of your order details, the terms and conditions provided by Elsevier, and the payment terms and conditions.

All payments must be made in full to CCC. For payment instructions, please see information listed at the bottom of this form.

| | |
|--|---|
| Supplier | Elsevier Limited The Boulevard,Langford Lane Kidlington,Oxford,OX5 1GB,UK |
| Registered Company Number | 1982084 |
| Customer name | Fidel Salas Vicente |
| Customer address | Avda. Castellón, 5 Geldo, Castellón 12412 |
| License number | 3573600024324 |
| License date | Feb 21, 2015 |
| Licensed content publisher | Elsevier |
| Licensed content publication | Wear |
| Licensed content title | Deterioration of rolling contact fatigue life of pearlitic rail steel due to dry-wet rolling-sliding line contact |
| Licensed content author | W.R. Tyfour,J.H. Beynon,A. Kapoor |
| Licensed content date | September 1996 |
| Licensed content volume number | 197 |
| Licensed content issue number | 1-2 |
| Number of pages | 11 |
| Start Page | 255 |
| End Page | 265 |
| Type of Use | reuse in a thesis/dissertation |
| Intended publisher of new work | other |
| Portion | figures/tables/illustrations |
| Number of figures/tables/illustrations | 2 |
| Format | both print and electronic |
| Are you the author of this Elsevier article? | No |
| Will you be translating? | No |
| Original figure numbers | Figures 1 and 11 |

| | |
|-----------------------------------|--|
| Title of your thesis/dissertation | Investigación y modelización de la adherencia, el desgaste y la fenomenología de daño asociada a la rodadura en contactos rueda-carril de aceros al carbono y bainíticos |
| Expected completion date | May 2015 |
| Estimated size (number of pages) | 440 |
| Elsevier VAT number | GB 494 6272 12 |
| Permissions price | 0.00 EUR |
| VAT/Local Sales Tax | 0.00 EUR / 0.00 GBP |
| Total | 0.00 EUR |

Terms and Conditions

INTRODUCTION

1. The publisher for this copyrighted material is Elsevier. By clicking "accept" in connection with completing this licensing transaction, you agree that the following terms and conditions apply to this transaction (along with the Billing and Payment terms and conditions established by Copyright Clearance Center, Inc. ("CCC"), at the time that you opened your Rightslink account and that are available at any time at <http://myaccount.copyright.com>).

GENERAL TERMS

2. Elsevier hereby grants you permission to reproduce the aforementioned material subject to the terms and conditions indicated.

3. Acknowledgement: If any part of the material to be used (for example, figures) has appeared in our publication with credit or acknowledgement to another source, permission must also be sought from that source. If such permission is not obtained then that material may not be included in your publication/copies. Suitable acknowledgement to the source must be made, either as a footnote or in a reference list at the end of your publication, as follows:

“Reprinted from Publication title, Vol /edition number, Author(s), Title of article / title of chapter, Pages No., Copyright (Year), with permission from Elsevier [OR APPLICABLE SOCIETY COPYRIGHT OWNER].” Also Lancet special credit - “Reprinted from The Lancet, Vol. number, Author(s), Title of article, Pages No., Copyright (Year), with permission from Elsevier.”

4. Reproduction of this material is confined to the purpose and/or media for which permission is hereby given.

5. Altering/Modifying Material: Not Permitted. However figures and illustrations may be altered/adapted minimally to serve your work. Any other abbreviations, additions, deletions and/or any other alterations shall be made only with prior written authorization of Elsevier Ltd. (Please contact Elsevier at permissions@elsevier.com)

6. If the permission fee for the requested use of our material is waived in this instance, please be advised that your future requests for Elsevier materials may attract a fee.

7. Reservation of Rights: Publisher reserves all rights not specifically granted in the combination of (i) the license details provided by you and accepted in the course of this licensing transaction, (ii) these terms and conditions and (iii) CCC's Billing and Payment terms and conditions.

8. **License Contingent Upon Payment:** While you may exercise the rights licensed immediately upon issuance of the license at the end of the licensing process for the transaction, provided that you have disclosed complete and accurate details of your proposed use, no license is finally effective unless and until full payment is received from you (either by publisher or by CCC) as provided in CCC's Billing and Payment terms and conditions. If full payment is not received on a timely basis, then any license preliminarily granted shall be deemed automatically revoked and shall be void as if never granted. Further, in the event that you breach any of these terms and conditions or any of CCC's Billing and Payment terms and conditions, the license is automatically revoked and shall be void as if never granted. Use of materials as described in a revoked license, as well as any use of the materials beyond the scope of an unrevoked license, may constitute copyright infringement and publisher reserves the right to take any and all action to protect its copyright in the materials.

9. **Warranties:** Publisher makes no representations or warranties with respect to the licensed material.

10. **Indemnity:** You hereby indemnify and agree to hold harmless publisher and CCC, and their respective officers, directors, employees and agents, from and against any and all claims arising out of your use of the licensed material other than as specifically authorized pursuant to this license.

11. **No Transfer of License:** This license is personal to you and may not be sublicensed, assigned, or transferred by you to any other person without publisher's written permission.

12. **No Amendment Except in Writing:** This license may not be amended except in a writing signed by both parties (or, in the case of publisher, by CCC on publisher's behalf).

13. **Objection to Contrary Terms:** Publisher hereby objects to any terms contained in any purchase order, acknowledgment, check endorsement or other writing prepared by you, which terms are inconsistent with these terms and conditions or CCC's Billing and Payment terms and conditions. These terms and conditions, together with CCC's Billing and Payment terms and conditions (which are incorporated herein), comprise the entire agreement between you and publisher (and CCC) concerning this licensing transaction. In the event of any conflict between your obligations established by these terms and conditions and those established by CCC's Billing and Payment terms and conditions, these terms and conditions shall control.

14. **Revocation:** Elsevier or Copyright Clearance Center may deny the permissions described in this License at their sole discretion, for any reason or no reason, with a full refund payable to you. Notice of such denial will be made using the contact information provided by you. Failure to receive such notice will not alter or invalidate the denial. In no event will Elsevier or Copyright Clearance Center be responsible or liable for any costs, expenses or damage incurred by you as a result of a denial of your permission request, other than a refund of the amount(s) paid by you to Elsevier and/or Copyright Clearance Center for denied permissions.

LIMITED LICENSE

The following terms and conditions apply only to specific license types:

15. **Translation:** This permission is granted for non-exclusive world **English** rights only unless your license was granted for translation rights. If you licensed translation rights you may only translate this content into the languages you requested. A professional translator must perform all translations and reproduce the content word for word preserving the

integrity of the article. If this license is to re-use 1 or 2 figures then permission is granted for non-exclusive world rights in all languages.

16. Posting licensed content on any Website: The following terms and conditions apply as follows: Licensing material from an Elsevier journal: All content posted to the web site must maintain the copyright information line on the bottom of each image; A hyper-text must be included to the Homepage of the journal from which you are licensing at <http://www.sciencedirect.com/science/journal/xxxxx> or the Elsevier homepage for books at <http://www.elsevier.com>; Central Storage: This license does not include permission for a scanned version of the material to be stored in a central repository such as that provided by Heron/XanEdu.

Licensing material from an Elsevier book: A hyper-text link must be included to the Elsevier homepage at <http://www.elsevier.com> . All content posted to the web site must maintain the copyright information line on the bottom of each image.

Posting licensed content on Electronic reserve: In addition to the above the following clauses are applicable: The web site must be password-protected and made available only to bona fide students registered on a relevant course. This permission is granted for 1 year only. You may obtain a new license for future website posting.

17. For journal authors: the following clauses are applicable in addition to the above: Permission granted is limited to the author accepted manuscript version* of your paper.

***Accepted Author Manuscript (AAM) Definition:** An accepted author manuscript (AAM) is the author's version of the manuscript of an article that has been accepted for publication and which may include any author-incorporated changes suggested through the processes of submission processing, peer review, and editor-author communications. AAMs do not include other publisher value-added contributions such as copy-editing, formatting, technical enhancements and (if relevant) pagination.

You are not allowed to download and post the published journal article (whether PDF or HTML, proof or final version), nor may you scan the printed edition to create an electronic version. A hyper-text must be included to the Homepage of the journal from which you are licensing at <http://www.sciencedirect.com/science/journal/xxxxx>. As part of our normal production process, you will receive an e-mail notice when your article appears on Elsevier's online service ScienceDirect (www.sciencedirect.com). That e-mail will include the article's Digital Object Identifier (DOI). This number provides the electronic link to the published article and should be included in the posting of your personal version. We ask that you wait until you receive this e-mail and have the DOI to do any posting.

18. Posting to a repository: Authors may post their AAM immediately to their employer's institutional repository for internal use only and may make their manuscript publically available after the journal-specific embargo period has ended.

Please also refer to [Elsevier's Article Posting Policy](#) for further information.

19. For book authors the following clauses are applicable in addition to the above: Authors are permitted to place a brief summary of their work online only.. You are not allowed to download and post the published electronic version of your chapter, nor may you scan the printed edition to create an electronic version. **Posting to a repository:** Authors are permitted to post a summary of their chapter only in their institution's repository.

20. Thesis/Dissertation: If your license is for use in a thesis/dissertation your thesis may be submitted to your institution in either print or electronic form. Should your thesis be

published commercially, please reapply for permission. These requirements include permission for the Library and Archives of Canada to supply single copies, on demand, of the complete thesis and include permission for Proquest/UMI to supply single copies, on demand, of the complete thesis. Should your thesis be published commercially, please reapply for permission.

Elsevier Open Access Terms and Conditions

Elsevier publishes Open Access articles in both its Open Access journals and via its Open Access articles option in subscription journals.

Authors publishing in an Open Access journal or who choose to make their article Open Access in an Elsevier subscription journal select one of the following Creative Commons user licenses, which define how a reader may reuse their work: Creative Commons Attribution License (CC BY), Creative Commons Attribution – Non Commercial - ShareAlike (CC BY NC SA) and Creative Commons Attribution – Non Commercial – No Derivatives (CC BY NC ND)

Terms & Conditions applicable to all Elsevier Open Access articles:

Any reuse of the article must not represent the author as endorsing the adaptation of the article nor should the article be modified in such a way as to damage the author's honour or reputation.

The author(s) must be appropriately credited.

If any part of the material to be used (for example, figures) has appeared in our publication with credit or acknowledgement to another source it is the responsibility of the user to ensure their reuse complies with the terms and conditions determined by the rights holder.

Additional Terms & Conditions applicable to each Creative Commons user license:

CC BY: You may distribute and copy the article, create extracts, abstracts, and other revised versions, adaptations or derivative works of or from an article (such as a translation), to include in a collective work (such as an anthology), to text or data mine the article, including for commercial purposes without permission from Elsevier

CC BY NC SA: For non-commercial purposes you may distribute and copy the article, create extracts, abstracts and other revised versions, adaptations or derivative works of or from an article (such as a translation), to include in a collective work (such as an anthology), to text and data mine the article and license new adaptations or creations under identical terms without permission from Elsevier

CC BY NC ND: For non-commercial purposes you may distribute and copy the article and include it in a collective work (such as an anthology), provided you do not alter or modify the article, without permission from Elsevier

Any commercial reuse of Open Access articles published with a CC BY NC SA or CC BY NC ND license requires permission from Elsevier and will be subject to a fee.

Commercial reuse includes:

- Promotional purposes (advertising or marketing)

- Commercial exploitation (e.g. a product for sale or loan)
- Systematic distribution (for a fee or free of charge)

Please refer to [Elsevier's Open Access Policy](#) for further information.

21. Other Conditions:

v1.7

Questions? customercare@copyright.com or +1-855-239-3415 (toll free in the US) or +1-978-646-2777.

Gratis licenses (referencing \$0 in the Total field) are free. Please retain this printable license for your reference. No payment is required.

JOHN WILEY AND SONS LICENSE TERMS AND CONDITIONS

Mar 04, 2015

This Agreement between Fidel Salas Vicente ("You") and John Wiley and Sons ("John Wiley and Sons") consists of your license details and the terms and conditions provided by John Wiley and Sons and Copyright Clearance Center.

| | |
|---------------------------------------|--|
| License Number | 3582011161581 |
| License date | Mar 04, 2015 |
| Licensed Content Publisher | John Wiley and Sons |
| Licensed Content Publication | Fatigue & Fracture of Engineering Materials & Structures |
| Licensed Content Title | Development of bainitic rail steels with potential resistance to rolling contact fatigue |
| Licensed Content Author | K. SAWLEY,J. KRISTAN |
| Licensed Content Date | Oct 17, 2003 |
| Pages | 11 |
| Type of use | Dissertation/Thesis |
| Requestor type | University/Academic |
| Format | Print and electronic |
| Portion | Figure/table |
| Number of figures/tables | 1 |
| Original Wiley figure/table number(s) | Figure 3 |
| Will you be translating? | No |
| Title of your thesis / dissertation | Investigación y modelización de la adherencia, el desgaste y la fenomenología de daño asociada a la rodadura en contactos rueda-carril de aceros al carbono y bainíticos |
| Expected completion date | May 2015 |
| Expected size (number of pages) | 440 |
| Requestor Location | Fidel Salas Vicente Avda. Castellón, 5 Geldo, Spain 12412 Attn: Fidel Salas Vicente |
| Billing Type | Invoice |
| Billing Address | Fidel Salas Vicente Avda. Castellón, 5 Geldo, Spain 12412 Attn: Fidel Salas Vicente |
| Total | 0.00 EUR |
| Terms and Conditions | |

TERMS AND CONDITIONS

This copyrighted material is owned by or exclusively licensed to John Wiley & Sons, Inc. or one of its group companies (each a "Wiley Company") or handled on behalf of a society with which a Wiley Company has exclusive publishing rights in relation to a particular work (collectively "WILEY"). By clicking accept in connection with completing this licensing transaction, you agree that the following terms and conditions apply to this transaction (along with the billing and payment terms and conditions established by the Copyright Clearance Center Inc., ("CCC's Billing and Payment terms and conditions"), at the time that you opened your Rightslink account (these are available at any time at <http://myaccount.copyright.com>).

Terms and Conditions

- The materials you have requested permission to reproduce or reuse (the "Wiley Materials") are protected by copyright.
- You are hereby granted a personal, non-exclusive, non-sub licensable (on a stand-alone basis), non-transferable, worldwide, limited license to reproduce the Wiley Materials for the purpose specified in the licensing process. This license is for a one-time use only and limited to any maximum distribution number specified in the license. The first instance of republication or reuse granted by this licence must be completed within two years of the date of the grant of this licence (although copies prepared before the end date may be distributed thereafter). The Wiley Materials shall not be used in any other manner or for any other purpose, beyond what is granted in the license. Permission is granted subject to an appropriate acknowledgement given to the author, title of the material/book/journal and the publisher. You shall also duplicate the copyright notice that appears in the Wiley publication in your use of the Wiley Material. Permission is also granted on the understanding that nowhere in the text is a previously published source acknowledged for all or part of this Wiley Material. Any third party content is expressly excluded from this permission.
- With respect to the Wiley Materials, all rights are reserved. Except as expressly granted by the terms of the license, no part of the Wiley Materials may be copied, modified, adapted (except for minor reformatting required by the new Publication), translated, reproduced, transferred or distributed, in any form or by any means, and no derivative works may be made based on the Wiley Materials without the prior permission of the respective copyright owner. You may not alter, remove or suppress in any manner any copyright, trademark or other notices displayed by the Wiley Materials. You may not license, rent, sell, loan, lease, pledge, offer as security, transfer or assign the Wiley Materials on a stand-alone basis, or any of the rights granted to you hereunder to any other person.
- The Wiley Materials and all of the intellectual property rights therein shall at all times remain the exclusive property of John Wiley & Sons Inc, the Wiley Companies, or their respective licensors, and your interest therein is only that of having possession of and the right to reproduce the Wiley Materials pursuant to Section 2 herein during the continuance of this Agreement. You agree that you own no right, title or interest in or to the Wiley Materials or any of the intellectual property rights therein. You shall have no rights hereunder other than the license as provided for above in Section 2. No right, license or interest to any trademark, trade name, service mark or other branding ("Marks") of WILEY or its licensors is granted hereunder, and you agree that you shall not assert any such right, license or interest with respect thereto.

- NEITHER WILEY NOR ITS LICENSORS MAKES ANY WARRANTY OR REPRESENTATION OF ANY KIND TO YOU OR ANY THIRD PARTY, EXPRESS, IMPLIED OR STATUTORY, WITH RESPECT TO THE MATERIALS OR THE ACCURACY OF ANY INFORMATION CONTAINED IN THE MATERIALS, INCLUDING, WITHOUT LIMITATION, ANY IMPLIED WARRANTY OF MERCHANTABILITY, ACCURACY, SATISFACTORY QUALITY, FITNESS FOR A PARTICULAR PURPOSE, USABILITY, INTEGRATION OR NON-INFRINGEMENT AND ALL SUCH WARRANTIES ARE HEREBY EXCLUDED BY WILEY AND ITS LICENSORS AND WAIVED BY YOU
- WILEY shall have the right to terminate this Agreement immediately upon breach of this Agreement by you.
- You shall indemnify, defend and hold harmless WILEY, its Licensors and their respective directors, officers, agents and employees, from and against any actual or threatened claims, demands, causes of action or proceedings arising from any breach of this Agreement by you.
- IN NO EVENT SHALL WILEY OR ITS LICENSORS BE LIABLE TO YOU OR ANY OTHER PARTY OR ANY OTHER PERSON OR ENTITY FOR ANY SPECIAL, CONSEQUENTIAL, INCIDENTAL, INDIRECT, EXEMPLARY OR PUNITIVE DAMAGES, HOWEVER CAUSED, ARISING OUT OF OR IN CONNECTION WITH THE DOWNLOADING, PROVISIONING, VIEWING OR USE OF THE MATERIALS REGARDLESS OF THE FORM OF ACTION, WHETHER FOR BREACH OF CONTRACT, BREACH OF WARRANTY, TORT, NEGLIGENCE, INFRINGEMENT OR OTHERWISE (INCLUDING, WITHOUT LIMITATION, DAMAGES BASED ON LOSS OF PROFITS, DATA, FILES, USE, BUSINESS OPPORTUNITY OR CLAIMS OF THIRD PARTIES), AND WHETHER OR NOT THE PARTY HAS BEEN ADVISED OF THE POSSIBILITY OF SUCH DAMAGES. THIS LIMITATION SHALL APPLY NOTWITHSTANDING ANY FAILURE OF ESSENTIAL PURPOSE OF ANY LIMITED REMEDY PROVIDED HEREIN.
- Should any provision of this Agreement be held by a court of competent jurisdiction to be illegal, invalid, or unenforceable, that provision shall be deemed amended to achieve as nearly as possible the same economic effect as the original provision, and the legality, validity and enforceability of the remaining provisions of this Agreement shall not be affected or impaired thereby.
- The failure of either party to enforce any term or condition of this Agreement shall not constitute a waiver of either party's right to enforce each and every term and condition of this Agreement. No breach under this agreement shall be deemed waived or excused by either party unless such waiver or consent is in writing signed by the party granting such waiver or consent. The waiver by or consent of a party to a breach of any provision of this Agreement shall not operate or be construed as a waiver of or consent to any other or subsequent breach by such other party.
- This Agreement may not be assigned (including by operation of law or otherwise) by you without WILEY's prior written consent.
- Any fee required for this permission shall be non-refundable after thirty (30) days from receipt by the CCC.

- These terms and conditions together with CCC's Billing and Payment terms and conditions (which are incorporated herein) form the entire agreement between you and WILEY concerning this licensing transaction and (in the absence of fraud) supersedes all prior agreements and representations of the parties, oral or written. This Agreement may not be amended except in writing signed by both parties. This Agreement shall be binding upon and inure to the benefit of the parties' successors, legal representatives, and authorized assigns.
- In the event of any conflict between your obligations established by these terms and conditions and those established by CCC's Billing and Payment terms and conditions, these terms and conditions shall prevail.
- WILEY expressly reserves all rights not specifically granted in the combination of (i) the license details provided by you and accepted in the course of this licensing transaction, (ii) these terms and conditions and (iii) CCC's Billing and Payment terms and conditions.
- This Agreement will be void if the Type of Use, Format, Circulation, or Requestor Type was misrepresented during the licensing process.
- This Agreement shall be governed by and construed in accordance with the laws of the State of New York, USA, without regards to such state's conflict of law rules. Any legal action, suit or proceeding arising out of or relating to these Terms and Conditions or the breach thereof shall be instituted in a court of competent jurisdiction in New York County in the State of New York in the United States of America and each party hereby consents and submits to the personal jurisdiction of such court, waives any objection to venue in such court and consents to service of process by registered or certified mail, return receipt requested, at the last known address of such party.

WILEY OPEN ACCESS TERMS AND CONDITIONS

Wiley Publishes Open Access Articles in fully Open Access Journals and in Subscription journals offering Online Open. Although most of the fully Open Access journals publish open access articles under the terms of the Creative Commons Attribution (CC BY) License only, the subscription journals and a few of the Open Access Journals offer a choice of Creative Commons Licenses:: Creative Commons Attribution (CC-BY) license [Creative Commons Attribution Non-Commercial \(CC-BY-NC\) license](#) and [Creative Commons Attribution Non-Commercial-NoDerivs \(CC-BY-NC-ND\) License](#). The license type is clearly identified on the article.

Copyright in any research article in a journal published as Open Access under a Creative Commons License is retained by the author(s). Authors grant Wiley a license to publish the article and identify itself as the original publisher. Authors also grant any third party the right to use the article freely as long as its integrity is maintained and its original authors, citation details and publisher are identified as follows: [Title of Article/Author/Journal Title and Volume/Issue. Copyright (c) [year] [copyright owner as specified in the Journal]. Links to the final article on Wiley's website are encouraged where applicable.

The Creative Commons Attribution License

The [Creative Commons Attribution License \(CC-BY\)](#) allows users to copy, distribute and

transmit an article, adapt the article and make commercial use of the article. The CC-BY license permits commercial and non-commercial re-use of an open access article, as long as the author is properly attributed.

The Creative Commons Attribution License does not affect the moral rights of authors, including without limitation the right not to have their work subjected to derogatory treatment. It also does not affect any other rights held by authors or third parties in the article, including without limitation the rights of privacy and publicity. Use of the article must not assert or imply, whether implicitly or explicitly, any connection with, endorsement or sponsorship of such use by the author, publisher or any other party associated with the article.

For any reuse or distribution, users must include the copyright notice and make clear to others that the article is made available under a Creative Commons Attribution license, linking to the relevant Creative Commons web page.

To the fullest extent permitted by applicable law, the article is made available as is and without representation or warranties of any kind whether express, implied, statutory or otherwise and including, without limitation, warranties of title, merchantability, fitness for a particular purpose, non-infringement, absence of defects, accuracy, or the presence or absence of errors.

Creative Commons Attribution Non-Commercial License

The [Creative Commons Attribution Non-Commercial \(CC-BY-NC\) License](#) permits use, distribution and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited and is not used for commercial purposes.(see below)

Creative Commons Attribution-Non-Commercial-NoDerivs License

The [Creative Commons Attribution Non-Commercial-NoDerivs License](#) (CC-BY-NC-ND) permits use, distribution and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited, is not used for commercial purposes and no modifications or adaptations are made. (see below)

Use by non-commercial users

For non-commercial and non-promotional purposes, individual users may access, download, copy, display and redistribute to colleagues Wiley Open Access articles, as well as adapt, translate, text- and data-mine the content subject to the following conditions:

- The authors' moral rights are not compromised. These rights include the right of "paternity" (also known as "attribution" - the right for the author to be identified as such) and "integrity" (the right for the author not to have the work altered in such a way that the author's reputation or integrity may be impugned).
- Where content in the article is identified as belonging to a third party, it is the obligation of the user to ensure that any reuse complies with the copyright policies of the owner of that content.
- If article content is copied, downloaded or otherwise reused for non-commercial research and education purposes, a link to the appropriate bibliographic citation (authors, journal, article title, volume, issue, page numbers, DOI and the link to the definitive published version on **Wiley Online Library**) should be maintained. Copyright notices and disclaimers must not be deleted.

- Any translations, for which a prior translation agreement with Wiley has not been agreed, must prominently display the statement: "This is an unofficial translation of an article that appeared in a Wiley publication. The publisher has not endorsed this translation."

Use by commercial "for-profit" organisations

Use of Wiley Open Access articles for commercial, promotional, or marketing purposes requires further explicit permission from Wiley and will be subject to a fee. Commercial purposes include:

- Copying or downloading of articles, or linking to such articles for further redistribution, sale or licensing;
- Copying, downloading or posting by a site or service that incorporates advertising with such content;
- The inclusion or incorporation of article content in other works or services (other than normal quotations with an appropriate citation) that is then available for sale or licensing, for a fee (for example, a compilation produced for marketing purposes, inclusion in a sales pack)
- Use of article content (other than normal quotations with appropriate citation) by for-profit organisations for promotional purposes
- Linking to article content in e-mails redistributed for promotional, marketing or educational purposes;
- Use for the purposes of monetary reward by means of sale, resale, licence, loan, transfer or other form of commercial exploitation such as marketing products
- Print reprints of Wiley Open Access articles can be purchased from:
corporatesales@wiley.com

Further details can be found on Wiley Online Library

<http://olabout.wiley.com/WileyCDA/Section/id-410895.html>

Other Terms and Conditions:

v1.9

Questions? customercare@copyright.com or +1-855-239-3415 (toll free in the US) or +1-978-646-2777.

Gratis licenses (referencing \$0 in the Total field) are free. Please retain this printable license for your reference. No payment is required.

JOHN WILEY AND SONS LICENSE TERMS AND CONDITIONS

Feb 20, 2015

This Agreement between Fidel Salas Vicente ("You") and John Wiley and Sons ("John Wiley and Sons") consists of your license details and the terms and conditions provided by John Wiley and Sons and Copyright Clearance Center.

| | |
|---------------------------------------|--|
| License Number | 3573171222721 |
| License date | Feb 20, 2015 |
| Licensed Content Publisher | John Wiley and Sons |
| Licensed Content Publication | Fatigue & Fracture of Engineering Materials & Structures |
| Licensed Content Title | Development of bainitic rail steels with potential resistance to rolling contact fatigue |
| Licensed Content Author | K. SAWLEY,J. KRISTAN |
| Licensed Content Date | Oct 17, 2003 |
| Pages | 11 |
| Type of use | Dissertation/Thesis |
| Requestor type | University/Academic |
| Format | Print and electronic |
| Portion | Figure/table |
| Number of figures/tables | 2 |
| Original Wiley figure/table number(s) | Figures 5 and 6 |
| Will you be translating? | No |
| Title of your thesis / dissertation | Investigación y modelización de la adherencia, el desgaste y la fenomenología de daño asociada a la rodadura en contactos rueda-carril de aceros al carbono y bainíticos |
| Expected completion date | May 2015 |
| Expected size (number of pages) | 440 |
| Requestor Location | Fidel Salas Vicente Avda. Castellón, 5 Geldo, Spain 12412 Attn: Fidel Salas Vicente |
| Billing Type | Invoice |
| Billing Address | Fidel Salas Vicente Avda. Castellón, 5 Geldo, 12412 Attn: Fidel Salas Vicente |
| Total | 0.00 EUR |
| Terms and Conditions | |

TERMS AND CONDITIONS

This copyrighted material is owned by or exclusively licensed to John Wiley & Sons, Inc. or one of its group companies (each a "Wiley Company") or handled on behalf of a society with which a Wiley Company has exclusive publishing rights in relation to a particular work (collectively "WILEY"). By clicking accept in connection with completing this licensing transaction, you agree that the following terms and conditions apply to this transaction (along with the billing and payment terms and conditions established by the Copyright Clearance Center Inc., ("CCC's Billing and Payment terms and conditions"), at the time that you opened your Rightslink account (these are available at any time at <http://myaccount.copyright.com>).

Terms and Conditions

- The materials you have requested permission to reproduce or reuse (the "Wiley Materials") are protected by copyright.
- You are hereby granted a personal, non-exclusive, non-sub licensable (on a stand-alone basis), non-transferable, worldwide, limited license to reproduce the Wiley Materials for the purpose specified in the licensing process. This license is for a one-time use only and limited to any maximum distribution number specified in the license. The first instance of republication or reuse granted by this licence must be completed within two years of the date of the grant of this licence (although copies prepared before the end date may be distributed thereafter). The Wiley Materials shall not be used in any other manner or for any other purpose, beyond what is granted in the license. Permission is granted subject to an appropriate acknowledgement given to the author, title of the material/book/journal and the publisher. You shall also duplicate the copyright notice that appears in the Wiley publication in your use of the Wiley Material. Permission is also granted on the understanding that nowhere in the text is a previously published source acknowledged for all or part of this Wiley Material. Any third party content is expressly excluded from this permission.
- With respect to the Wiley Materials, all rights are reserved. Except as expressly granted by the terms of the license, no part of the Wiley Materials may be copied, modified, adapted (except for minor reformatting required by the new Publication), translated, reproduced, transferred or distributed, in any form or by any means, and no derivative works may be made based on the Wiley Materials without the prior permission of the respective copyright owner. You may not alter, remove or suppress in any manner any copyright, trademark or other notices displayed by the Wiley Materials. You may not license, rent, sell, loan, lease, pledge, offer as security, transfer or assign the Wiley Materials on a stand-alone basis, or any of the rights granted to you hereunder to any other person.
- The Wiley Materials and all of the intellectual property rights therein shall at all times remain the exclusive property of John Wiley & Sons Inc, the Wiley Companies, or their respective licensors, and your interest therein is only that of having possession of and the right to reproduce the Wiley Materials pursuant to Section 2 herein during the continuance of this Agreement. You agree that you own no right, title or interest in or to the Wiley Materials or any of the intellectual property rights therein. You shall have no rights hereunder other than the license as provided for above in Section 2. No right, license or interest to any trademark, trade name, service mark or other branding ("Marks") of WILEY or its licensors is granted hereunder, and you agree that you shall not assert any such right, license or interest with respect thereto.

- NEITHER WILEY NOR ITS LICENSORS MAKES ANY WARRANTY OR REPRESENTATION OF ANY KIND TO YOU OR ANY THIRD PARTY, EXPRESS, IMPLIED OR STATUTORY, WITH RESPECT TO THE MATERIALS OR THE ACCURACY OF ANY INFORMATION CONTAINED IN THE MATERIALS, INCLUDING, WITHOUT LIMITATION, ANY IMPLIED WARRANTY OF MERCHANTABILITY, ACCURACY, SATISFACTORY QUALITY, FITNESS FOR A PARTICULAR PURPOSE, USABILITY, INTEGRATION OR NON-INFRINGEMENT AND ALL SUCH WARRANTIES ARE HEREBY EXCLUDED BY WILEY AND ITS LICENSORS AND WAIVED BY YOU
- WILEY shall have the right to terminate this Agreement immediately upon breach of this Agreement by you.
- You shall indemnify, defend and hold harmless WILEY, its Licensors and their respective directors, officers, agents and employees, from and against any actual or threatened claims, demands, causes of action or proceedings arising from any breach of this Agreement by you.
- IN NO EVENT SHALL WILEY OR ITS LICENSORS BE LIABLE TO YOU OR ANY OTHER PARTY OR ANY OTHER PERSON OR ENTITY FOR ANY SPECIAL, CONSEQUENTIAL, INCIDENTAL, INDIRECT, EXEMPLARY OR PUNITIVE DAMAGES, HOWEVER CAUSED, ARISING OUT OF OR IN CONNECTION WITH THE DOWNLOADING, PROVISIONING, VIEWING OR USE OF THE MATERIALS REGARDLESS OF THE FORM OF ACTION, WHETHER FOR BREACH OF CONTRACT, BREACH OF WARRANTY, TORT, NEGLIGENCE, INFRINGEMENT OR OTHERWISE (INCLUDING, WITHOUT LIMITATION, DAMAGES BASED ON LOSS OF PROFITS, DATA, FILES, USE, BUSINESS OPPORTUNITY OR CLAIMS OF THIRD PARTIES), AND WHETHER OR NOT THE PARTY HAS BEEN ADVISED OF THE POSSIBILITY OF SUCH DAMAGES. THIS LIMITATION SHALL APPLY NOTWITHSTANDING ANY FAILURE OF ESSENTIAL PURPOSE OF ANY LIMITED REMEDY PROVIDED HEREIN.
- Should any provision of this Agreement be held by a court of competent jurisdiction to be illegal, invalid, or unenforceable, that provision shall be deemed amended to achieve as nearly as possible the same economic effect as the original provision, and the legality, validity and enforceability of the remaining provisions of this Agreement shall not be affected or impaired thereby.
- The failure of either party to enforce any term or condition of this Agreement shall not constitute a waiver of either party's right to enforce each and every term and condition of this Agreement. No breach under this agreement shall be deemed waived or excused by either party unless such waiver or consent is in writing signed by the party granting such waiver or consent. The waiver by or consent of a party to a breach of any provision of this Agreement shall not operate or be construed as a waiver of or consent to any other or subsequent breach by such other party.
- This Agreement may not be assigned (including by operation of law or otherwise) by you without WILEY's prior written consent.
- Any fee required for this permission shall be non-refundable after thirty (30) days from receipt by the CCC.

- These terms and conditions together with CCC's Billing and Payment terms and conditions (which are incorporated herein) form the entire agreement between you and WILEY concerning this licensing transaction and (in the absence of fraud) supersedes all prior agreements and representations of the parties, oral or written. This Agreement may not be amended except in writing signed by both parties. This Agreement shall be binding upon and inure to the benefit of the parties' successors, legal representatives, and authorized assigns.
- In the event of any conflict between your obligations established by these terms and conditions and those established by CCC's Billing and Payment terms and conditions, these terms and conditions shall prevail.
- WILEY expressly reserves all rights not specifically granted in the combination of (i) the license details provided by you and accepted in the course of this licensing transaction, (ii) these terms and conditions and (iii) CCC's Billing and Payment terms and conditions.
- This Agreement will be void if the Type of Use, Format, Circulation, or Requestor Type was misrepresented during the licensing process.
- This Agreement shall be governed by and construed in accordance with the laws of the State of New York, USA, without regards to such state's conflict of law rules. Any legal action, suit or proceeding arising out of or relating to these Terms and Conditions or the breach thereof shall be instituted in a court of competent jurisdiction in New York County in the State of New York in the United States of America and each party hereby consents and submits to the personal jurisdiction of such court, waives any objection to venue in such court and consents to service of process by registered or certified mail, return receipt requested, at the last known address of such party.

WILEY OPEN ACCESS TERMS AND CONDITIONS

Wiley Publishes Open Access Articles in fully Open Access Journals and in Subscription journals offering Online Open. Although most of the fully Open Access journals publish open access articles under the terms of the Creative Commons Attribution (CC BY) License only, the subscription journals and a few of the Open Access Journals offer a choice of Creative Commons Licenses:: Creative Commons Attribution (CC-BY) license [Creative Commons Attribution Non-Commercial \(CC-BY-NC\) license](#) and [Creative Commons Attribution Non-Commercial-NoDerivs \(CC-BY-NC-ND\) License](#). The license type is clearly identified on the article.

Copyright in any research article in a journal published as Open Access under a Creative Commons License is retained by the author(s). Authors grant Wiley a license to publish the article and identify itself as the original publisher. Authors also grant any third party the right to use the article freely as long as its integrity is maintained and its original authors, citation details and publisher are identified as follows: [Title of Article/Author/Journal Title and Volume/Issue. Copyright (c) [year] [copyright owner as specified in the Journal]. Links to the final article on Wiley's website are encouraged where applicable.

The Creative Commons Attribution License

The [Creative Commons Attribution License \(CC-BY\)](#) allows users to copy, distribute and

transmit an article, adapt the article and make commercial use of the article. The CC-BY license permits commercial and non-commercial re-use of an open access article, as long as the author is properly attributed.

The Creative Commons Attribution License does not affect the moral rights of authors, including without limitation the right not to have their work subjected to derogatory treatment. It also does not affect any other rights held by authors or third parties in the article, including without limitation the rights of privacy and publicity. Use of the article must not assert or imply, whether implicitly or explicitly, any connection with, endorsement or sponsorship of such use by the author, publisher or any other party associated with the article.

For any reuse or distribution, users must include the copyright notice and make clear to others that the article is made available under a Creative Commons Attribution license, linking to the relevant Creative Commons web page.

To the fullest extent permitted by applicable law, the article is made available as is and without representation or warranties of any kind whether express, implied, statutory or otherwise and including, without limitation, warranties of title, merchantability, fitness for a particular purpose, non-infringement, absence of defects, accuracy, or the presence or absence of errors.

Creative Commons Attribution Non-Commercial License

The [Creative Commons Attribution Non-Commercial \(CC-BY-NC\) License](#) permits use, distribution and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited and is not used for commercial purposes.(see below)

Creative Commons Attribution-Non-Commercial-NoDerivs License

The [Creative Commons Attribution Non-Commercial-NoDerivs License](#) (CC-BY-NC-ND) permits use, distribution and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited, is not used for commercial purposes and no modifications or adaptations are made. (see below)

Use by non-commercial users

For non-commercial and non-promotional purposes, individual users may access, download, copy, display and redistribute to colleagues Wiley Open Access articles, as well as adapt, translate, text- and data-mine the content subject to the following conditions:

- The authors' moral rights are not compromised. These rights include the right of "paternity" (also known as "attribution" - the right for the author to be identified as such) and "integrity" (the right for the author not to have the work altered in such a way that the author's reputation or integrity may be impugned).
- Where content in the article is identified as belonging to a third party, it is the obligation of the user to ensure that any reuse complies with the copyright policies of the owner of that content.
- If article content is copied, downloaded or otherwise reused for non-commercial research and education purposes, a link to the appropriate bibliographic citation (authors, journal, article title, volume, issue, page numbers, DOI and the link to the definitive published version on **Wiley Online Library**) should be maintained. Copyright notices and disclaimers must not be deleted.

- Any translations, for which a prior translation agreement with Wiley has not been agreed, must prominently display the statement: "This is an unofficial translation of an article that appeared in a Wiley publication. The publisher has not endorsed this translation."

Use by commercial "for-profit" organisations

Use of Wiley Open Access articles for commercial, promotional, or marketing purposes requires further explicit permission from Wiley and will be subject to a fee. Commercial purposes include:

- Copying or downloading of articles, or linking to such articles for further redistribution, sale or licensing;
- Copying, downloading or posting by a site or service that incorporates advertising with such content;
- The inclusion or incorporation of article content in other works or services (other than normal quotations with an appropriate citation) that is then available for sale or licensing, for a fee (for example, a compilation produced for marketing purposes, inclusion in a sales pack)
- Use of article content (other than normal quotations with appropriate citation) by for-profit organisations for promotional purposes
- Linking to article content in e-mails redistributed for promotional, marketing or educational purposes;
- Use for the purposes of monetary reward by means of sale, resale, licence, loan, transfer or other form of commercial exploitation such as marketing products
- Print reprints of Wiley Open Access articles can be purchased from:
corporatesales@wiley.com

Further details can be found on Wiley Online Library

<http://olabout.wiley.com/WileyCDA/Section/id-410895.html>

Other Terms and Conditions:

v1.9

Questions? customercare@copyright.com or +1-855-239-3415 (toll free in the US) or +1-978-646-2777.

Gratis licenses (referencing \$0 in the Total field) are free. Please retain this printable license for your reference. No payment is required.

ELSEVIER LICENSE TERMS AND CONDITIONS

Feb 21, 2015

This is a License Agreement between Fidel Salas Vicente ("You") and Elsevier ("Elsevier") provided by Copyright Clearance Center ("CCC"). The license consists of your order details, the terms and conditions provided by Elsevier, and the payment terms and conditions.

All payments must be made in full to CCC. For payment instructions, please see information listed at the bottom of this form.

| | |
|--|---|
| Supplier | Elsevier Limited The Boulevard, Langford Lane Kidlington, Oxford, OX5 1GB, UK |
| Registered Company Number | 1982084 |
| Customer name | Fidel Salas Vicente |
| Customer address | Avda. Castellón, 5 Geldo, Castellón 12412 |
| License number | 3573661444399 |
| License date | Feb 21, 2015 |
| Licensed content publisher | Elsevier |
| Licensed content publication | Wear |
| Licensed content title | Experimental investigation of influential factors on adhesion between wheel and rail under wet conditions |
| Licensed content author | H. Chen, T. Ban, M. Ishida, T. Nakahara |
| Licensed content date | 30 October 2008 |
| Licensed content volume number | 265 |
| Licensed content issue number | 9-10 |
| Number of pages | 8 |
| Start Page | 1504 |
| End Page | 1511 |
| Type of Use | reuse in a thesis/dissertation |
| Intended publisher of new work | other |
| Portion | figures/tables/illustrations |
| Number of figures/tables/illustrations | 2 |
| Format | both print and electronic |
| Are you the author of this Elsevier article? | No |
| Will you be translating? | No |
| Original figure numbers | Figures 1 and 3 |

| | |
|-----------------------------------|--|
| Title of your thesis/dissertation | Investigación y modelización de la adherencia, el desgaste y la fenomenología de daño asociada a la rodadura en contactos rueda-carril de aceros al carbono y bainíticos |
| Expected completion date | May 2015 |
| Estimated size (number of pages) | 440 |
| Elsevier VAT number | GB 494 6272 12 |
| Permissions price | 0.00 EUR |
| VAT/Local Sales Tax | 0.00 USD / 0.00 GBP |
| Total | 0.00 EUR |

Terms and Conditions

INTRODUCTION

1. The publisher for this copyrighted material is Elsevier. By clicking "accept" in connection with completing this licensing transaction, you agree that the following terms and conditions apply to this transaction (along with the Billing and Payment terms and conditions established by Copyright Clearance Center, Inc. ("CCC"), at the time that you opened your Rightslink account and that are available at any time at <http://myaccount.copyright.com>).

GENERAL TERMS

2. Elsevier hereby grants you permission to reproduce the aforementioned material subject to the terms and conditions indicated.

3. Acknowledgement: If any part of the material to be used (for example, figures) has appeared in our publication with credit or acknowledgement to another source, permission must also be sought from that source. If such permission is not obtained then that material may not be included in your publication/copies. Suitable acknowledgement to the source must be made, either as a footnote or in a reference list at the end of your publication, as follows:

“Reprinted from Publication title, Vol /edition number, Author(s), Title of article / title of chapter, Pages No., Copyright (Year), with permission from Elsevier [OR APPLICABLE SOCIETY COPYRIGHT OWNER].” Also Lancet special credit - “Reprinted from The Lancet, Vol. number, Author(s), Title of article, Pages No., Copyright (Year), with permission from Elsevier.”

4. Reproduction of this material is confined to the purpose and/or media for which permission is hereby given.

5. Altering/Modifying Material: Not Permitted. However figures and illustrations may be altered/adapted minimally to serve your work. Any other abbreviations, additions, deletions and/or any other alterations shall be made only with prior written authorization of Elsevier Ltd. (Please contact Elsevier at permissions@elsevier.com)

6. If the permission fee for the requested use of our material is waived in this instance, please be advised that your future requests for Elsevier materials may attract a fee.

7. Reservation of Rights: Publisher reserves all rights not specifically granted in the combination of (i) the license details provided by you and accepted in the course of this licensing transaction, (ii) these terms and conditions and (iii) CCC's Billing and Payment terms and conditions.

8. **License Contingent Upon Payment:** While you may exercise the rights licensed immediately upon issuance of the license at the end of the licensing process for the transaction, provided that you have disclosed complete and accurate details of your proposed use, no license is finally effective unless and until full payment is received from you (either by publisher or by CCC) as provided in CCC's Billing and Payment terms and conditions. If full payment is not received on a timely basis, then any license preliminarily granted shall be deemed automatically revoked and shall be void as if never granted. Further, in the event that you breach any of these terms and conditions or any of CCC's Billing and Payment terms and conditions, the license is automatically revoked and shall be void as if never granted. Use of materials as described in a revoked license, as well as any use of the materials beyond the scope of an unrevoked license, may constitute copyright infringement and publisher reserves the right to take any and all action to protect its copyright in the materials.

9. **Warranties:** Publisher makes no representations or warranties with respect to the licensed material.

10. **Indemnity:** You hereby indemnify and agree to hold harmless publisher and CCC, and their respective officers, directors, employees and agents, from and against any and all claims arising out of your use of the licensed material other than as specifically authorized pursuant to this license.

11. **No Transfer of License:** This license is personal to you and may not be sublicensed, assigned, or transferred by you to any other person without publisher's written permission.

12. **No Amendment Except in Writing:** This license may not be amended except in a writing signed by both parties (or, in the case of publisher, by CCC on publisher's behalf).

13. **Objection to Contrary Terms:** Publisher hereby objects to any terms contained in any purchase order, acknowledgment, check endorsement or other writing prepared by you, which terms are inconsistent with these terms and conditions or CCC's Billing and Payment terms and conditions. These terms and conditions, together with CCC's Billing and Payment terms and conditions (which are incorporated herein), comprise the entire agreement between you and publisher (and CCC) concerning this licensing transaction. In the event of any conflict between your obligations established by these terms and conditions and those established by CCC's Billing and Payment terms and conditions, these terms and conditions shall control.

14. **Revocation:** Elsevier or Copyright Clearance Center may deny the permissions described in this License at their sole discretion, for any reason or no reason, with a full refund payable to you. Notice of such denial will be made using the contact information provided by you. Failure to receive such notice will not alter or invalidate the denial. In no event will Elsevier or Copyright Clearance Center be responsible or liable for any costs, expenses or damage incurred by you as a result of a denial of your permission request, other than a refund of the amount(s) paid by you to Elsevier and/or Copyright Clearance Center for denied permissions.

LIMITED LICENSE

The following terms and conditions apply only to specific license types:

15. **Translation:** This permission is granted for non-exclusive world **English** rights only unless your license was granted for translation rights. If you licensed translation rights you may only translate this content into the languages you requested. A professional translator must perform all translations and reproduce the content word for word preserving the

integrity of the article. If this license is to re-use 1 or 2 figures then permission is granted for non-exclusive world rights in all languages.

16. Posting licensed content on any Website: The following terms and conditions apply as follows: Licensing material from an Elsevier journal: All content posted to the web site must maintain the copyright information line on the bottom of each image; A hyper-text must be included to the Homepage of the journal from which you are licensing at <http://www.sciencedirect.com/science/journal/xxxxx> or the Elsevier homepage for books at <http://www.elsevier.com>; Central Storage: This license does not include permission for a scanned version of the material to be stored in a central repository such as that provided by Heron/XanEdu.

Licensing material from an Elsevier book: A hyper-text link must be included to the Elsevier homepage at <http://www.elsevier.com>. All content posted to the web site must maintain the copyright information line on the bottom of each image.

Posting licensed content on Electronic reserve: In addition to the above the following clauses are applicable: The web site must be password-protected and made available only to bona fide students registered on a relevant course. This permission is granted for 1 year only. You may obtain a new license for future website posting.

17. For journal authors: the following clauses are applicable in addition to the above: Permission granted is limited to the author accepted manuscript version* of your paper.

***Accepted Author Manuscript (AAM) Definition:** An accepted author manuscript (AAM) is the author's version of the manuscript of an article that has been accepted for publication and which may include any author-incorporated changes suggested through the processes of submission processing, peer review, and editor-author communications. AAMs do not include other publisher value-added contributions such as copy-editing, formatting, technical enhancements and (if relevant) pagination.

You are not allowed to download and post the published journal article (whether PDF or HTML, proof or final version), nor may you scan the printed edition to create an electronic version. A hyper-text must be included to the Homepage of the journal from which you are licensing at <http://www.sciencedirect.com/science/journal/xxxxx>. As part of our normal production process, you will receive an e-mail notice when your article appears on Elsevier's online service ScienceDirect (www.sciencedirect.com). That e-mail will include the article's Digital Object Identifier (DOI). This number provides the electronic link to the published article and should be included in the posting of your personal version. We ask that you wait until you receive this e-mail and have the DOI to do any posting.

18. Posting to a repository: Authors may post their AAM immediately to their employer's institutional repository for internal use only and may make their manuscript publically available after the journal-specific embargo period has ended.

Please also refer to [Elsevier's Article Posting Policy](#) for further information.

19. For book authors the following clauses are applicable in addition to the above: Authors are permitted to place a brief summary of their work online only.. You are not allowed to download and post the published electronic version of your chapter, nor may you scan the printed edition to create an electronic version. **Posting to a repository:** Authors are permitted to post a summary of their chapter only in their institution's repository.

20. Thesis/Dissertation: If your license is for use in a thesis/dissertation your thesis may be submitted to your institution in either print or electronic form. Should your thesis be

published commercially, please reapply for permission. These requirements include permission for the Library and Archives of Canada to supply single copies, on demand, of the complete thesis and include permission for Proquest/UMI to supply single copies, on demand, of the complete thesis. Should your thesis be published commercially, please reapply for permission.

Elsevier Open Access Terms and Conditions

Elsevier publishes Open Access articles in both its Open Access journals and via its Open Access articles option in subscription journals.

Authors publishing in an Open Access journal or who choose to make their article Open Access in an Elsevier subscription journal select one of the following Creative Commons user licenses, which define how a reader may reuse their work: Creative Commons Attribution License (CC BY), Creative Commons Attribution – Non Commercial - ShareAlike (CC BY NC SA) and Creative Commons Attribution – Non Commercial – No Derivatives (CC BY NC ND)

Terms & Conditions applicable to all Elsevier Open Access articles:

Any reuse of the article must not represent the author as endorsing the adaptation of the article nor should the article be modified in such a way as to damage the author's honour or reputation.

The author(s) must be appropriately credited.

If any part of the material to be used (for example, figures) has appeared in our publication with credit or acknowledgement to another source it is the responsibility of the user to ensure their reuse complies with the terms and conditions determined by the rights holder.

Additional Terms & Conditions applicable to each Creative Commons user license:

CC BY: You may distribute and copy the article, create extracts, abstracts, and other revised versions, adaptations or derivative works of or from an article (such as a translation), to include in a collective work (such as an anthology), to text or data mine the article, including for commercial purposes without permission from Elsevier

CC BY NC SA: For non-commercial purposes you may distribute and copy the article, create extracts, abstracts and other revised versions, adaptations or derivative works of or from an article (such as a translation), to include in a collective work (such as an anthology), to text and data mine the article and license new adaptations or creations under identical terms without permission from Elsevier

CC BY NC ND: For non-commercial purposes you may distribute and copy the article and include it in a collective work (such as an anthology), provided you do not alter or modify the article, without permission from Elsevier

Any commercial reuse of Open Access articles published with a CC BY NC SA or CC BY NC ND license requires permission from Elsevier and will be subject to a fee.

Commercial reuse includes:

- Promotional purposes (advertising or marketing)

- Commercial exploitation (e.g. a product for sale or loan)
- Systematic distribution (for a fee or free of charge)

Please refer to [Elsevier's Open Access Policy](#) for further information.

21. Other Conditions:

v1.7

Questions? customercare@copyright.com or +1-855-239-3415 (toll free in the US) or +1-978-646-2777.

Gratis licenses (referencing \$0 in the Total field) are free. Please retain this printable license for your reference. No payment is required.

ELSEVIER LICENSE TERMS AND CONDITIONS

Feb 21, 2015

This is a License Agreement between Fidel Salas Vicente ("You") and Elsevier ("Elsevier") provided by Copyright Clearance Center ("CCC"). The license consists of your order details, the terms and conditions provided by Elsevier, and the payment terms and conditions.

All payments must be made in full to CCC. For payment instructions, please see information listed at the bottom of this form.

| | |
|--|---|
| Supplier | Elsevier Limited The Boulevard, Langford Lane Kidlington, Oxford, OX5 1GB, UK |
| Registered Company Number | 1982084 |
| Customer name | Fidel Salas Vicente |
| Customer address | Avda. Castellón, 5 Geldo, Castellón 12412 |
| License number | 3573661255448 |
| License date | Feb 21, 2015 |
| Licensed content publisher | Elsevier |
| Licensed content publication | Wear |
| Licensed content title | Experimental investigation of influential factors on adhesion between wheel and rail under wet conditions |
| Licensed content author | H. Chen, T. Ban, M. Ishida, T. Nakahara |
| Licensed content date | 30 October 2008 |
| Licensed content volume number | 265 |
| Licensed content issue number | 9-10 |
| Number of pages | 8 |
| Start Page | 1504 |
| End Page | 1511 |
| Type of Use | reuse in a thesis/dissertation |
| Intended publisher of new work | other |
| Portion | figures/tables/illustrations |
| Number of figures/tables/illustrations | 1 |
| Format | both print and electronic |
| Are you the author of this Elsevier article? | No |
| Will you be translating? | No |
| Original figure numbers | Figure 11 |

| | |
|-----------------------------------|--|
| Title of your thesis/dissertation | Investigación y modelización de la adherencia, el desgaste y la fenomenología de daño asociada a la rodadura en contactos rueda-carril de aceros al carbono y bainíticos |
| Expected completion date | May 2015 |
| Estimated size (number of pages) | 440 |
| Elsevier VAT number | GB 494 6272 12 |
| Permissions price | 0.00 EUR |
| VAT/Local Sales Tax | 0.00 USD / 0.00 GBP |
| Total | 0.00 EUR |

Terms and Conditions

INTRODUCTION

1. The publisher for this copyrighted material is Elsevier. By clicking "accept" in connection with completing this licensing transaction, you agree that the following terms and conditions apply to this transaction (along with the Billing and Payment terms and conditions established by Copyright Clearance Center, Inc. ("CCC"), at the time that you opened your Rightslink account and that are available at any time at <http://myaccount.copyright.com>).

GENERAL TERMS

2. Elsevier hereby grants you permission to reproduce the aforementioned material subject to the terms and conditions indicated.

3. Acknowledgement: If any part of the material to be used (for example, figures) has appeared in our publication with credit or acknowledgement to another source, permission must also be sought from that source. If such permission is not obtained then that material may not be included in your publication/copies. Suitable acknowledgement to the source must be made, either as a footnote or in a reference list at the end of your publication, as follows:

“Reprinted from Publication title, Vol /edition number, Author(s), Title of article / title of chapter, Pages No., Copyright (Year), with permission from Elsevier [OR APPLICABLE SOCIETY COPYRIGHT OWNER].” Also Lancet special credit - “Reprinted from The Lancet, Vol. number, Author(s), Title of article, Pages No., Copyright (Year), with permission from Elsevier.”

4. Reproduction of this material is confined to the purpose and/or media for which permission is hereby given.

5. Altering/Modifying Material: Not Permitted. However figures and illustrations may be altered/adapted minimally to serve your work. Any other abbreviations, additions, deletions and/or any other alterations shall be made only with prior written authorization of Elsevier Ltd. (Please contact Elsevier at permissions@elsevier.com)

6. If the permission fee for the requested use of our material is waived in this instance, please be advised that your future requests for Elsevier materials may attract a fee.

7. Reservation of Rights: Publisher reserves all rights not specifically granted in the combination of (i) the license details provided by you and accepted in the course of this licensing transaction, (ii) these terms and conditions and (iii) CCC's Billing and Payment terms and conditions.

8. **License Contingent Upon Payment:** While you may exercise the rights licensed immediately upon issuance of the license at the end of the licensing process for the transaction, provided that you have disclosed complete and accurate details of your proposed use, no license is finally effective unless and until full payment is received from you (either by publisher or by CCC) as provided in CCC's Billing and Payment terms and conditions. If full payment is not received on a timely basis, then any license preliminarily granted shall be deemed automatically revoked and shall be void as if never granted. Further, in the event that you breach any of these terms and conditions or any of CCC's Billing and Payment terms and conditions, the license is automatically revoked and shall be void as if never granted. Use of materials as described in a revoked license, as well as any use of the materials beyond the scope of an unrevoked license, may constitute copyright infringement and publisher reserves the right to take any and all action to protect its copyright in the materials.

9. **Warranties:** Publisher makes no representations or warranties with respect to the licensed material.

10. **Indemnity:** You hereby indemnify and agree to hold harmless publisher and CCC, and their respective officers, directors, employees and agents, from and against any and all claims arising out of your use of the licensed material other than as specifically authorized pursuant to this license.

11. **No Transfer of License:** This license is personal to you and may not be sublicensed, assigned, or transferred by you to any other person without publisher's written permission.

12. **No Amendment Except in Writing:** This license may not be amended except in a writing signed by both parties (or, in the case of publisher, by CCC on publisher's behalf).

13. **Objection to Contrary Terms:** Publisher hereby objects to any terms contained in any purchase order, acknowledgment, check endorsement or other writing prepared by you, which terms are inconsistent with these terms and conditions or CCC's Billing and Payment terms and conditions. These terms and conditions, together with CCC's Billing and Payment terms and conditions (which are incorporated herein), comprise the entire agreement between you and publisher (and CCC) concerning this licensing transaction. In the event of any conflict between your obligations established by these terms and conditions and those established by CCC's Billing and Payment terms and conditions, these terms and conditions shall control.

14. **Revocation:** Elsevier or Copyright Clearance Center may deny the permissions described in this License at their sole discretion, for any reason or no reason, with a full refund payable to you. Notice of such denial will be made using the contact information provided by you. Failure to receive such notice will not alter or invalidate the denial. In no event will Elsevier or Copyright Clearance Center be responsible or liable for any costs, expenses or damage incurred by you as a result of a denial of your permission request, other than a refund of the amount(s) paid by you to Elsevier and/or Copyright Clearance Center for denied permissions.

LIMITED LICENSE

The following terms and conditions apply only to specific license types:

15. **Translation:** This permission is granted for non-exclusive world **English** rights only unless your license was granted for translation rights. If you licensed translation rights you may only translate this content into the languages you requested. A professional translator must perform all translations and reproduce the content word for word preserving the

integrity of the article. If this license is to re-use 1 or 2 figures then permission is granted for non-exclusive world rights in all languages.

16. Posting licensed content on any Website: The following terms and conditions apply as follows: Licensing material from an Elsevier journal: All content posted to the web site must maintain the copyright information line on the bottom of each image; A hyper-text must be included to the Homepage of the journal from which you are licensing at <http://www.sciencedirect.com/science/journal/xxxxx> or the Elsevier homepage for books at <http://www.elsevier.com>; Central Storage: This license does not include permission for a scanned version of the material to be stored in a central repository such as that provided by Heron/XanEdu.

Licensing material from an Elsevier book: A hyper-text link must be included to the Elsevier homepage at <http://www.elsevier.com> . All content posted to the web site must maintain the copyright information line on the bottom of each image.

Posting licensed content on Electronic reserve: In addition to the above the following clauses are applicable: The web site must be password-protected and made available only to bona fide students registered on a relevant course. This permission is granted for 1 year only. You may obtain a new license for future website posting.

17. For journal authors: the following clauses are applicable in addition to the above: Permission granted is limited to the author accepted manuscript version* of your paper.

***Accepted Author Manuscript (AAM) Definition:** An accepted author manuscript (AAM) is the author's version of the manuscript of an article that has been accepted for publication and which may include any author-incorporated changes suggested through the processes of submission processing, peer review, and editor-author communications. AAMs do not include other publisher value-added contributions such as copy-editing, formatting, technical enhancements and (if relevant) pagination.

You are not allowed to download and post the published journal article (whether PDF or HTML, proof or final version), nor may you scan the printed edition to create an electronic version. A hyper-text must be included to the Homepage of the journal from which you are licensing at <http://www.sciencedirect.com/science/journal/xxxxx>. As part of our normal production process, you will receive an e-mail notice when your article appears on Elsevier's online service ScienceDirect (www.sciencedirect.com). That e-mail will include the article's Digital Object Identifier (DOI). This number provides the electronic link to the published article and should be included in the posting of your personal version. We ask that you wait until you receive this e-mail and have the DOI to do any posting.

18. Posting to a repository: Authors may post their AAM immediately to their employer's institutional repository for internal use only and may make their manuscript publically available after the journal-specific embargo period has ended.

Please also refer to [Elsevier's Article Posting Policy](#) for further information.

19. For book authors the following clauses are applicable in addition to the above: Authors are permitted to place a brief summary of their work online only.. You are not allowed to download and post the published electronic version of your chapter, nor may you scan the printed edition to create an electronic version. **Posting to a repository:** Authors are permitted to post a summary of their chapter only in their institution's repository.

20. Thesis/Dissertation: If your license is for use in a thesis/dissertation your thesis may be submitted to your institution in either print or electronic form. Should your thesis be

published commercially, please reapply for permission. These requirements include permission for the Library and Archives of Canada to supply single copies, on demand, of the complete thesis and include permission for Proquest/UMI to supply single copies, on demand, of the complete thesis. Should your thesis be published commercially, please reapply for permission.

Elsevier Open Access Terms and Conditions

Elsevier publishes Open Access articles in both its Open Access journals and via its Open Access articles option in subscription journals.

Authors publishing in an Open Access journal or who choose to make their article Open Access in an Elsevier subscription journal select one of the following Creative Commons user licenses, which define how a reader may reuse their work: Creative Commons Attribution License (CC BY), Creative Commons Attribution – Non Commercial - ShareAlike (CC BY NC SA) and Creative Commons Attribution – Non Commercial – No Derivatives (CC BY NC ND)

Terms & Conditions applicable to all Elsevier Open Access articles:

Any reuse of the article must not represent the author as endorsing the adaptation of the article nor should the article be modified in such a way as to damage the author's honour or reputation.

The author(s) must be appropriately credited.

If any part of the material to be used (for example, figures) has appeared in our publication with credit or acknowledgement to another source it is the responsibility of the user to ensure their reuse complies with the terms and conditions determined by the rights holder.

Additional Terms & Conditions applicable to each Creative Commons user license:

CC BY: You may distribute and copy the article, create extracts, abstracts, and other revised versions, adaptations or derivative works of or from an article (such as a translation), to include in a collective work (such as an anthology), to text or data mine the article, including for commercial purposes without permission from Elsevier

CC BY NC SA: For non-commercial purposes you may distribute and copy the article, create extracts, abstracts and other revised versions, adaptations or derivative works of or from an article (such as a translation), to include in a collective work (such as an anthology), to text and data mine the article and license new adaptations or creations under identical terms without permission from Elsevier

CC BY NC ND: For non-commercial purposes you may distribute and copy the article and include it in a collective work (such as an anthology), provided you do not alter or modify the article, without permission from Elsevier

Any commercial reuse of Open Access articles published with a CC BY NC SA or CC BY NC ND license requires permission from Elsevier and will be subject to a fee.

Commercial reuse includes:

- Promotional purposes (advertising or marketing)

- Commercial exploitation (e.g. a product for sale or loan)
- Systematic distribution (for a fee or free of charge)

Please refer to [Elsevier's Open Access Policy](#) for further information.

21. Other Conditions:

v1.7

Questions? customercare@copyright.com or +1-855-239-3415 (toll free in the US) or +1-978-646-2777.

Gratis licenses (referencing \$0 in the Total field) are free. Please retain this printable license for your reference. No payment is required.

ELSEVIER LICENSE TERMS AND CONDITIONS

Mar 13, 2015

This is a License Agreement between Fidel Salas Vicente ("You") and Elsevier ("Elsevier") provided by Copyright Clearance Center ("CCC"). The license consists of your order details, the terms and conditions provided by Elsevier, and the payment terms and conditions.

All payments must be made in full to CCC. For payment instructions, please see information listed at the bottom of this form.

| | |
|--|--|
| Supplier | Elsevier Limited The Boulevard, Langford Lane Kidlington, Oxford, OX5 1GB, UK |
| Registered Company Number | 1982084 |
| Customer name | Fidel Salas Vicente |
| Customer address | Avda. Castellón, 5 Geldo, Castellón 12412 |
| License number | 3587070777836 |
| License date | Mar 13, 2015 |
| Licensed content publisher | Elsevier |
| Licensed content publication | Wear |
| Licensed content title | Fatigue of railway wheels and rails under rolling contact and thermal loading—an overview |
| Licensed content author | Anders Ekberg, Elena Kabo |
| Licensed content date | March 2005 |
| Licensed content volume number | 258 |
| Licensed content issue number | 7-8 |
| Number of pages | 13 |
| Start Page | 1288 |
| End Page | 1300 |
| Type of Use | reuse in a thesis/dissertation |
| Portion | figures/tables/illustrations |
| Number of figures/tables/illustrations | 1 |
| Format | both print and electronic |
| Are you the author of this Elsevier article? | No |
| Will you be translating? | No |
| Original figure numbers | Figure 1 |
| Title of your thesis/dissertation | Investigación y modelización de la adherencia, el desgaste y la fenomenología de daño asociada a la rodadura en contactos rueda-carril de aceros al carbono y bainíticos |

| | |
|----------------------------------|---------------------|
| Expected completion date | May 2015 |
| Estimated size (number of pages) | 440 |
| Elsevier VAT number | GB 494 6272 12 |
| Permissions price | 0.00 EUR |
| VAT/Local Sales Tax | 0.00 EUR / 0.00 GBP |
| Total | 0.00 EUR |

[Terms and Conditions](#)

INTRODUCTION

1. The publisher for this copyrighted material is Elsevier. By clicking "accept" in connection with completing this licensing transaction, you agree that the following terms and conditions apply to this transaction (along with the Billing and Payment terms and conditions established by Copyright Clearance Center, Inc. ("CCC"), at the time that you opened your Rightslink account and that are available at any time at <http://myaccount.copyright.com>).

GENERAL TERMS

2. Elsevier hereby grants you permission to reproduce the aforementioned material subject to the terms and conditions indicated.

3. Acknowledgement: If any part of the material to be used (for example, figures) has appeared in our publication with credit or acknowledgement to another source, permission must also be sought from that source. If such permission is not obtained then that material may not be included in your publication/copies. Suitable acknowledgement to the source must be made, either as a footnote or in a reference list at the end of your publication, as follows:

"Reprinted from Publication title, Vol /edition number, Author(s), Title of article / title of chapter, Pages No., Copyright (Year), with permission from Elsevier [OR APPLICABLE SOCIETY COPYRIGHT OWNER]." Also Lancet special credit - "Reprinted from The Lancet, Vol. number, Author(s), Title of article, Pages No., Copyright (Year), with permission from Elsevier."

4. Reproduction of this material is confined to the purpose and/or media for which permission is hereby given.

5. Altering/Modifying Material: Not Permitted. However figures and illustrations may be altered/adapted minimally to serve your work. Any other abbreviations, additions, deletions and/or any other alterations shall be made only with prior written authorization of Elsevier Ltd. (Please contact Elsevier at permissions@elsevier.com)

6. If the permission fee for the requested use of our material is waived in this instance, please be advised that your future requests for Elsevier materials may attract a fee.

7. Reservation of Rights: Publisher reserves all rights not specifically granted in the combination of (i) the license details provided by you and accepted in the course of this licensing transaction, (ii) these terms and conditions and (iii) CCC's Billing and Payment terms and conditions.

8. License Contingent Upon Payment: While you may exercise the rights licensed immediately upon issuance of the license at the end of the licensing process for the

transaction, provided that you have disclosed complete and accurate details of your proposed use, no license is finally effective unless and until full payment is received from you (either by publisher or by CCC) as provided in CCC's Billing and Payment terms and conditions. If full payment is not received on a timely basis, then any license preliminarily granted shall be deemed automatically revoked and shall be void as if never granted. Further, in the event that you breach any of these terms and conditions or any of CCC's Billing and Payment terms and conditions, the license is automatically revoked and shall be void as if never granted. Use of materials as described in a revoked license, as well as any use of the materials beyond the scope of an unrevoked license, may constitute copyright infringement and publisher reserves the right to take any and all action to protect its copyright in the materials.

9. **Warranties:** Publisher makes no representations or warranties with respect to the licensed material.

10. **Indemnity:** You hereby indemnify and agree to hold harmless publisher and CCC, and their respective officers, directors, employees and agents, from and against any and all claims arising out of your use of the licensed material other than as specifically authorized pursuant to this license.

11. **No Transfer of License:** This license is personal to you and may not be sublicensed, assigned, or transferred by you to any other person without publisher's written permission.

12. **No Amendment Except in Writing:** This license may not be amended except in a writing signed by both parties (or, in the case of publisher, by CCC on publisher's behalf).

13. **Objection to Contrary Terms:** Publisher hereby objects to any terms contained in any purchase order, acknowledgment, check endorsement or other writing prepared by you, which terms are inconsistent with these terms and conditions or CCC's Billing and Payment terms and conditions. These terms and conditions, together with CCC's Billing and Payment terms and conditions (which are incorporated herein), comprise the entire agreement between you and publisher (and CCC) concerning this licensing transaction. In the event of any conflict between your obligations established by these terms and conditions and those established by CCC's Billing and Payment terms and conditions, these terms and conditions shall control.

14. **Revocation:** Elsevier or Copyright Clearance Center may deny the permissions described in this License at their sole discretion, for any reason or no reason, with a full refund payable to you. Notice of such denial will be made using the contact information provided by you. Failure to receive such notice will not alter or invalidate the denial. In no event will Elsevier or Copyright Clearance Center be responsible or liable for any costs, expenses or damage incurred by you as a result of a denial of your permission request, other than a refund of the amount(s) paid by you to Elsevier and/or Copyright Clearance Center for denied permissions.

LIMITED LICENSE

The following terms and conditions apply only to specific license types:

15. **Translation:** This permission is granted for non-exclusive world **English** rights only unless your license was granted for translation rights. If you licensed translation rights you may only translate this content into the languages you requested. A professional translator must perform all translations and reproduce the content word for word preserving the integrity of the article. If this license is to re-use 1 or 2 figures then permission is granted for non-exclusive world rights in all languages.

16. Posting licensed content on any Website: The following terms and conditions apply as follows: Licensing material from an Elsevier journal: All content posted to the web site must maintain the copyright information line on the bottom of each image; A hyper-text must be included to the Homepage of the journal from which you are licensing at <http://www.sciencedirect.com/science/journal/xxxxx> or the Elsevier homepage for books at <http://www.elsevier.com>; Central Storage: This license does not include permission for a scanned version of the material to be stored in a central repository such as that provided by Heron/XanEdu.

Licensing material from an Elsevier book: A hyper-text link must be included to the Elsevier homepage at <http://www.elsevier.com> . All content posted to the web site must maintain the copyright information line on the bottom of each image.

Posting licensed content on Electronic reserve: In addition to the above the following clauses are applicable: The web site must be password-protected and made available only to bona fide students registered on a relevant course. This permission is granted for 1 year only. You may obtain a new license for future website posting.

17. For journal authors: the following clauses are applicable in addition to the above:

Preprints:

A preprint is an author's own write-up of research results and analysis, it has not been peer-reviewed, nor has it had any other value added to it by a publisher (such as formatting, copyright, technical enhancement etc.).

Authors can share their preprints anywhere at any time. Preprints should not be added to or enhanced in any way in order to appear more like, or to substitute for, the final versions of articles however authors can update their preprints on arXiv or RePEc with their Accepted Author Manuscript (see below).

If accepted for publication, we encourage authors to link from the preprint to their formal publication via its DOI. Millions of researchers have access to the formal publications on ScienceDirect, and so links will help users to find, access, cite and use the best available version. Please note that Cell Press, The Lancet and some society-owned have different preprint policies. Information on these policies is available on the journal homepage.

Accepted Author Manuscripts: An accepted author manuscript is the manuscript of an article that has been accepted for publication and which typically includes author-incorporated changes suggested during submission, peer review and editor-author communications.

Authors can share their accepted author manuscript:

- immediately
 - via their non-commercial person homepage or blog
 - by updating a preprint in arXiv or RePEc with the accepted manuscript
 - via their research institute or institutional repository for internal institutional uses or as part of an invitation-only research collaboration work-group
 - directly by providing copies to their students or to research collaborators for

their personal use

- for private scholarly sharing as part of an invitation-only work group on commercial sites with which Elsevier has an agreement
- after the embargo period
 - via non-commercial hosting platforms such as their institutional repository
 - via commercial sites with which Elsevier has an agreement

In all cases accepted manuscripts should:

- link to the formal publication via its DOI
- bear a CC-BY-NC-ND license - this is easy to do
- if aggregated with other manuscripts, for example in a repository or other site, be shared in alignment with our hosting policy not be added to or enhanced in any way to appear more like, or to substitute for, the published journal article.

Published journal article (JPA): A published journal article (PJA) is the definitive final record of published research that appears or will appear in the journal and embodies all value-adding publishing activities including peer review co-ordination, copy-editing, formatting, (if relevant) pagination and online enrichment.

Policies for sharing publishing journal articles differ for subscription and gold open access articles:

Subscription Articles: If you are an author, please share a link to your article rather than the full-text. Millions of researchers have access to the formal publications on ScienceDirect, and so links will help your users to find, access, cite, and use the best available version.

Theses and dissertations which contain embedded PJAs as part of the formal submission can be posted publicly by the awarding institution with DOI links back to the formal publications on ScienceDirect.

If you are affiliated with a library that subscribes to ScienceDirect you have additional private sharing rights for others' research accessed under that agreement. This includes use for classroom teaching and internal training at the institution (including use in course packs and courseware programs), and inclusion of the article for grant funding purposes.

Gold Open Access Articles: May be shared according to the author-selected end-user license and should contain a [CrossMark logo](#), the end user license, and a DOI link to the formal publication on ScienceDirect.

Please refer to Elsevier's [posting policy](#) for further information.

18. **For book authors** the following clauses are applicable in addition to the above: Authors are permitted to place a brief summary of their work online only. You are not allowed to download and post the published electronic version of your chapter, nor may you scan the printed edition to create an electronic version. **Posting to a repository:** Authors are permitted to post a summary of their chapter only in their institution's repository.

19. **Thesis/Dissertation:** If your license is for use in a thesis/dissertation your thesis may be

submitted to your institution in either print or electronic form. Should your thesis be published commercially, please reapply for permission. These requirements include permission for the Library and Archives of Canada to supply single copies, on demand, of the complete thesis and include permission for Proquest/UMI to supply single copies, on demand, of the complete thesis. Should your thesis be published commercially, please reapply for permission. Theses and dissertations which contain embedded PJAs as part of the formal submission can be posted publicly by the awarding institution with DOI links back to the formal publications on ScienceDirect.

Elsevier Open Access Terms and Conditions

You can publish open access with Elsevier in hundreds of open access journals or in nearly 2000 established subscription journals that support open access publishing. Permitted third party re-use of these open access articles is defined by the author's choice of Creative Commons user license. See our [open access license policy](#) for more information.

Terms & Conditions applicable to all Open Access articles published with Elsevier:

Any reuse of the article must not represent the author as endorsing the adaptation of the article nor should the article be modified in such a way as to damage the author's honour or reputation. If any changes have been made, such changes must be clearly indicated.

The author(s) must be appropriately credited and we ask that you include the end user license and a DOI link to the formal publication on ScienceDirect.

If any part of the material to be used (for example, figures) has appeared in our publication with credit or acknowledgement to another source it is the responsibility of the user to ensure their reuse complies with the terms and conditions determined by the rights holder.

Additional Terms & Conditions applicable to each Creative Commons user license:

CC BY: The CC-BY license allows users to copy, to create extracts, abstracts and new works from the Article, to alter and revise the Article and to make commercial use of the Article (including reuse and/or resale of the Article by commercial entities), provided the user gives appropriate credit (with a link to the formal publication through the relevant DOI), provides a link to the license, indicates if changes were made and the licensor is not represented as endorsing the use made of the work. The full details of the license are available at <http://creativecommons.org/licenses/by/4.0>.

CC BY NC SA: The CC BY-NC-SA license allows users to copy, to create extracts, abstracts and new works from the Article, to alter and revise the Article, provided this is not done for commercial purposes, and that the user gives appropriate credit (with a link to the formal publication through the relevant DOI), provides a link to the license, indicates if changes were made and the licensor is not represented as endorsing the use made of the work. Further, any new works must be made available on the same conditions. The full details of the license are available at <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0>.

CC BY NC ND: The CC BY-NC-ND license allows users to copy and distribute the Article, provided this is not done for commercial purposes and further does not permit distribution of the Article if it is changed or edited in any way, and provided the user gives appropriate credit (with a link to the formal publication through the relevant DOI), provides a link to the license, and that the licensor is not represented as endorsing the use made of the work. The full details of the license are available at <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0>.

Any commercial reuse of Open Access articles published with a CC BY NC SA or CC BY NC ND license requires permission from Elsevier and will be subject to a fee.

Commercial reuse includes:

- Associating advertising with the full text of the Article
- Charging fees for document delivery or access
- Article aggregation
- Systematic distribution via e-mail lists or share buttons

Posting or linking by commercial companies for use by customers of those companies.

20. Other Conditions:

Questions? customercare@copyright.com or +1-855-239-3415 (toll free in the US) or +1-978-646-2777.

Gratis licenses (referencing \$0 in the Total field) are free. Please retain this printable license for your reference. No payment is required.

ELSEVIER LICENSE TERMS AND CONDITIONS

Mar 07, 2015

This is a License Agreement between Fidel Salas Vicente ("You") and Elsevier ("Elsevier") provided by Copyright Clearance Center ("CCC"). The license consists of your order details, the terms and conditions provided by Elsevier, and the payment terms and conditions.

All payments must be made in full to CCC. For payment instructions, please see information listed at the bottom of this form.

| | |
|--|---|
| Supplier | Elsevier Limited The Boulevard,Langford Lane Kidlington,Oxford,OX5 1GB,UK |
| Registered Company Number | 1982084 |
| Customer name | Fidel Salas Vicente |
| Customer address | Avda. Castellón, 5 Geldo, Castellón 12412 |
| License number | 3583670436094 |
| License date | Mar 07, 2015 |
| Licensed content publisher | Elsevier |
| Licensed content publication | Wear |
| Licensed content title | Fatigue of railway wheels and rails under rolling contact and thermal loading—an overview |
| Licensed content author | Anders Ekberg,Elena Kabo |
| Licensed content date | March 2005 |
| Licensed content volume number | 258 |
| Licensed content issue number | 7-8 |
| Number of pages | 13 |
| Start Page | 1288 |
| End Page | 1300 |
| Type of Use | reuse in a thesis/dissertation |
| Intended publisher of new work | other |
| Portion | figures/tables/illustrations |
| Number of figures/tables/illustrations | 1 |
| Format | both print and electronic |
| Are you the author of this Elsevier article? | No |
| Will you be translating? | No |
| Original figure numbers | Figure 5 |

| | |
|-----------------------------------|--|
| Title of your thesis/dissertation | Investigación y modelización de la adherencia, el desgaste y la fenomenología de daño asociada a la rodadura en contactos rueda-carril de aceros al carbono y bainíticos |
| Expected completion date | May 2015 |
| Estimated size (number of pages) | 440 |
| Elsevier VAT number | GB 494 6272 12 |
| Permissions price | 0.00 EUR |
| VAT/Local Sales Tax | 0.00 EUR / 0.00 GBP |
| Total | 0.00 EUR |

Terms and Conditions

INTRODUCTION

1. The publisher for this copyrighted material is Elsevier. By clicking "accept" in connection with completing this licensing transaction, you agree that the following terms and conditions apply to this transaction (along with the Billing and Payment terms and conditions established by Copyright Clearance Center, Inc. ("CCC"), at the time that you opened your Rightslink account and that are available at any time at <http://myaccount.copyright.com>).

GENERAL TERMS

2. Elsevier hereby grants you permission to reproduce the aforementioned material subject to the terms and conditions indicated.

3. Acknowledgement: If any part of the material to be used (for example, figures) has appeared in our publication with credit or acknowledgement to another source, permission must also be sought from that source. If such permission is not obtained then that material may not be included in your publication/copies. Suitable acknowledgement to the source must be made, either as a footnote or in a reference list at the end of your publication, as follows:

"Reprinted from Publication title, Vol /edition number, Author(s), Title of article / title of chapter, Pages No., Copyright (Year), with permission from Elsevier [OR APPLICABLE SOCIETY COPYRIGHT OWNER]." Also Lancet special credit - "Reprinted from The Lancet, Vol. number, Author(s), Title of article, Pages No., Copyright (Year), with permission from Elsevier."

4. Reproduction of this material is confined to the purpose and/or media for which permission is hereby given.

5. Altering/Modifying Material: Not Permitted. However figures and illustrations may be altered/adapted minimally to serve your work. Any other abbreviations, additions, deletions and/or any other alterations shall be made only with prior written authorization of Elsevier Ltd. (Please contact Elsevier at permissions@elsevier.com)

6. If the permission fee for the requested use of our material is waived in this instance, please be advised that your future requests for Elsevier materials may attract a fee.

7. Reservation of Rights: Publisher reserves all rights not specifically granted in the combination of (i) the license details provided by you and accepted in the course of this licensing transaction, (ii) these terms and conditions and (iii) CCC's Billing and Payment terms and conditions.

8. **License Contingent Upon Payment:** While you may exercise the rights licensed immediately upon issuance of the license at the end of the licensing process for the transaction, provided that you have disclosed complete and accurate details of your proposed use, no license is finally effective unless and until full payment is received from you (either by publisher or by CCC) as provided in CCC's Billing and Payment terms and conditions. If full payment is not received on a timely basis, then any license preliminarily granted shall be deemed automatically revoked and shall be void as if never granted. Further, in the event that you breach any of these terms and conditions or any of CCC's Billing and Payment terms and conditions, the license is automatically revoked and shall be void as if never granted. Use of materials as described in a revoked license, as well as any use of the materials beyond the scope of an unrevoked license, may constitute copyright infringement and publisher reserves the right to take any and all action to protect its copyright in the materials.

9. **Warranties:** Publisher makes no representations or warranties with respect to the licensed material.

10. **Indemnity:** You hereby indemnify and agree to hold harmless publisher and CCC, and their respective officers, directors, employees and agents, from and against any and all claims arising out of your use of the licensed material other than as specifically authorized pursuant to this license.

11. **No Transfer of License:** This license is personal to you and may not be sublicensed, assigned, or transferred by you to any other person without publisher's written permission.

12. **No Amendment Except in Writing:** This license may not be amended except in a writing signed by both parties (or, in the case of publisher, by CCC on publisher's behalf).

13. **Objection to Contrary Terms:** Publisher hereby objects to any terms contained in any purchase order, acknowledgment, check endorsement or other writing prepared by you, which terms are inconsistent with these terms and conditions or CCC's Billing and Payment terms and conditions. These terms and conditions, together with CCC's Billing and Payment terms and conditions (which are incorporated herein), comprise the entire agreement between you and publisher (and CCC) concerning this licensing transaction. In the event of any conflict between your obligations established by these terms and conditions and those established by CCC's Billing and Payment terms and conditions, these terms and conditions shall control.

14. **Revocation:** Elsevier or Copyright Clearance Center may deny the permissions described in this License at their sole discretion, for any reason or no reason, with a full refund payable to you. Notice of such denial will be made using the contact information provided by you. Failure to receive such notice will not alter or invalidate the denial. In no event will Elsevier or Copyright Clearance Center be responsible or liable for any costs, expenses or damage incurred by you as a result of a denial of your permission request, other than a refund of the amount(s) paid by you to Elsevier and/or Copyright Clearance Center for denied permissions.

LIMITED LICENSE

The following terms and conditions apply only to specific license types:

15. **Translation:** This permission is granted for non-exclusive world **English** rights only unless your license was granted for translation rights. If you licensed translation rights you may only translate this content into the languages you requested. A professional translator must perform all translations and reproduce the content word for word preserving the

integrity of the article. If this license is to re-use 1 or 2 figures then permission is granted for non-exclusive world rights in all languages.

16. Posting licensed content on any Website: The following terms and conditions apply as follows: Licensing material from an Elsevier journal: All content posted to the web site must maintain the copyright information line on the bottom of each image; A hyper-text must be included to the Homepage of the journal from which you are licensing at <http://www.sciencedirect.com/science/journal/xxxxx> or the Elsevier homepage for books at <http://www.elsevier.com>; Central Storage: This license does not include permission for a scanned version of the material to be stored in a central repository such as that provided by Heron/XanEdu.

Licensing material from an Elsevier book: A hyper-text link must be included to the Elsevier homepage at <http://www.elsevier.com> . All content posted to the web site must maintain the copyright information line on the bottom of each image.

Posting licensed content on Electronic reserve: In addition to the above the following clauses are applicable: The web site must be password-protected and made available only to bona fide students registered on a relevant course. This permission is granted for 1 year only. You may obtain a new license for future website posting.

17. For journal authors: the following clauses are applicable in addition to the above:

Preprints:

A preprint is an author's own write-up of research results and analysis, it has not been peer-reviewed, nor has it had any other value added to it by a publisher (such as formatting, copyright, technical enhancement etc.).

Authors can share their preprints anywhere at any time. Preprints should not be added to or enhanced in any way in order to appear more like, or to substitute for, the final versions of articles however authors can update their preprints on arXiv or RePEc with their Accepted Author Manuscript (see below).

If accepted for publication, we encourage authors to link from the preprint to their formal publication via its DOI. Millions of researchers have access to the formal publications on ScienceDirect, and so links will help users to find, access, cite and use the best available version. Please note that Cell Press, The Lancet and some society-owned have different preprint policies. Information on these policies is available on the journal homepage.

Accepted Author Manuscripts: An accepted author manuscript is the manuscript of an article that has been accepted for publication and which typically includes author-incorporated changes suggested during submission, peer review and editor-author communications.

Authors can share their accepted author manuscript:

- immediately
 - via their non-commercial person homepage or blog
 - by updating a preprint in arXiv or RePEc with the accepted manuscript
 - via their research institute or institutional repository for internal institutional

uses or as part of an invitation-only research collaboration work-group

- directly by providing copies to their students or to research collaborators for their personal use
 - for private scholarly sharing as part of an invitation-only work group on commercial sites with which Elsevier has an agreement
- after the embargo period
- via non-commercial hosting platforms such as their institutional repository
 - via commercial sites with which Elsevier has an agreement

In all cases accepted manuscripts should:

- link to the formal publication via its DOI
- bear a CC-BY-NC-ND license - this is easy to do
- if aggregated with other manuscripts, for example in a repository or other site, be shared in alignment with our hosting policy not be added to or enhanced in any way to appear more like, or to substitute for, the published journal article.

Published journal article (JPA): A published journal article (PJA) is the definitive final record of published research that appears or will appear in the journal and embodies all value-adding publishing activities including peer review co-ordination, copy-editing, formatting, (if relevant) pagination and online enrichment.

Policies for sharing publishing journal articles differ for subscription and gold open access articles:

Subscription Articles: If you are an author, please share a link to your article rather than the full-text. Millions of researchers have access to the formal publications on ScienceDirect, and so links will help your users to find, access, cite, and use the best available version.

Theses and dissertations which contain embedded PJAs as part of the formal submission can be posted publicly by the awarding institution with DOI links back to the formal publications on ScienceDirect.

If you are affiliated with a library that subscribes to ScienceDirect you have additional private sharing rights for others' research accessed under that agreement. This includes use for classroom teaching and internal training at the institution (including use in course packs and courseware programs), and inclusion of the article for grant funding purposes.

Gold Open Access Articles: May be shared according to the author-selected end-user license and should contain a [CrossMark logo](#), the end user license, and a DOI link to the formal publication on ScienceDirect.

Please refer to Elsevier's [posting policy](#) for further information.

18. **For book authors** the following clauses are applicable in addition to the above: Authors are permitted to place a brief summary of their work online only. You are not allowed to download and post the published electronic version of your chapter, nor may you scan the printed edition to create an electronic version. **Posting to a repository:** Authors are

permitted to post a summary of their chapter only in their institution's repository.

19. Thesis/Dissertation: If your license is for use in a thesis/dissertation your thesis may be submitted to your institution in either print or electronic form. Should your thesis be published commercially, please reapply for permission. These requirements include permission for the Library and Archives of Canada to supply single copies, on demand, of the complete thesis and include permission for Proquest/UMI to supply single copies, on demand, of the complete thesis. Should your thesis be published commercially, please reapply for permission. Theses and dissertations which contain embedded PJAs as part of the formal submission can be posted publicly by the awarding institution with DOI links back to the formal publications on ScienceDirect.

Elsevier Open Access Terms and Conditions

You can publish open access with Elsevier in hundreds of open access journals or in nearly 2000 established subscription journals that support open access publishing. Permitted third party re-use of these open access articles is defined by the author's choice of Creative Commons user license. See our [open access license policy](#) for more information.

Terms & Conditions applicable to all Open Access articles published with Elsevier:

Any reuse of the article must not represent the author as endorsing the adaptation of the article nor should the article be modified in such a way as to damage the author's honour or reputation. If any changes have been made, such changes must be clearly indicated.

The author(s) must be appropriately credited and we ask that you include the end user license and a DOI link to the formal publication on ScienceDirect.

If any part of the material to be used (for example, figures) has appeared in our publication with credit or acknowledgement to another source it is the responsibility of the user to ensure their reuse complies with the terms and conditions determined by the rights holder.

Additional Terms & Conditions applicable to each Creative Commons user license:

CC BY: The CC-BY license allows users to copy, to create extracts, abstracts and new works from the Article, to alter and revise the Article and to make commercial use of the Article (including reuse and/or resale of the Article by commercial entities), provided the user gives appropriate credit (with a link to the formal publication through the relevant DOI), provides a link to the license, indicates if changes were made and the licensor is not represented as endorsing the use made of the work. The full details of the license are available at <http://creativecommons.org/licenses/by/4.0>.

CC BY NC SA: The CC BY-NC-SA license allows users to copy, to create extracts, abstracts and new works from the Article, to alter and revise the Article, provided this is not done for commercial purposes, and that the user gives appropriate credit (with a link to the formal publication through the relevant DOI), provides a link to the license, indicates if changes were made and the licensor is not represented as endorsing the use made of the work. Further, any new works must be made available on the same conditions. The full details of the license are available at <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0>.

CC BY NC ND: The CC BY-NC-ND license allows users to copy and distribute the Article, provided this is not done for commercial purposes and further does not permit distribution of the Article if it is changed or edited in any way, and provided the user gives appropriate

credit (with a link to the formal publication through the relevant DOI), provides a link to the license, and that the licensor is not represented as endorsing the use made of the work. The full details of the license are available at <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0>. Any commercial reuse of Open Access articles published with a CC BY NC SA or CC BY NC ND license requires permission from Elsevier and will be subject to a fee.

Commercial reuse includes:

- Associating advertising with the full text of the Article
- Charging fees for document delivery or access
- Article aggregation
- Systematic distribution via e-mail lists or share buttons

Posting or linking by commercial companies for use by customers of those companies.

20. Other Conditions:

Questions? customercare@copyright.com or +1-855-239-3415 (toll free in the US) or +1-978-646-2777.

Gratis licenses (referencing \$0 in the Total field) are free. Please retain this printable license for your reference. No payment is required.

ELSEVIER LICENSE TERMS AND CONDITIONS

Feb 21, 2015

This is a License Agreement between Fidel Salas Vicente ("You") and Elsevier ("Elsevier") provided by Copyright Clearance Center ("CCC"). The license consists of your order details, the terms and conditions provided by Elsevier, and the payment terms and conditions.

All payments must be made in full to CCC. For payment instructions, please see information listed at the bottom of this form.

| | |
|--|---|
| Supplier | Elsevier Limited The Boulevard, Langford Lane Kidlington, Oxford, OX5 1GB, UK |
| Registered Company Number | 1982084 |
| Customer name | Fidel Salas Vicente |
| Customer address | Avda. Castellón, 5 Geldo, Castellón 12412 |
| License number | 3573610721540 |
| License date | Feb 21, 2015 |
| Licensed content publisher | Elsevier |
| Licensed content publication | Wear |
| Licensed content title | Friction and wear testing of rail and wheel material |
| Licensed content author | None |
| Licensed content date | March 2005 |
| Licensed content volume number | 258 |
| Licensed content issue number | 7-8 |
| Number of pages | 11 |
| Start Page | 981 |
| End Page | 991 |
| Type of Use | reuse in a thesis/dissertation |
| Intended publisher of new work | other |
| Portion | figures/tables/illustrations |
| Number of figures/tables/illustrations | 2 |
| Format | both print and electronic |
| Are you the author of this Elsevier article? | No |
| Will you be translating? | No |
| Original figure numbers | Figures 3, 5 and 6 |
| Title of your | Investigación y modelización de la adherencia, el desgaste y la |

| | |
|--------------------------------------|--|
| thesis/dissertation | fenomenología de daño asociada a la rodadura en contactos rueda-carril de aceros al carbono y bainíticos |
| Expected completion date | May 2015 |
| Estimated size (number of pages) | 440 |
| Elsevier VAT number | GB 494 6272 12 |
| Permissions price | 0.00 EUR |
| VAT/Local Sales Tax | 0.00 USD / 0.00 GBP |
| Total | 0.00 EUR |
| Terms and Conditions | |

INTRODUCTION

1. The publisher for this copyrighted material is Elsevier. By clicking "accept" in connection with completing this licensing transaction, you agree that the following terms and conditions apply to this transaction (along with the Billing and Payment terms and conditions established by Copyright Clearance Center, Inc. ("CCC"), at the time that you opened your Rightslink account and that are available at any time at <http://myaccount.copyright.com>).

GENERAL TERMS

2. Elsevier hereby grants you permission to reproduce the aforementioned material subject to the terms and conditions indicated.

3. Acknowledgement: If any part of the material to be used (for example, figures) has appeared in our publication with credit or acknowledgement to another source, permission must also be sought from that source. If such permission is not obtained then that material may not be included in your publication/copies. Suitable acknowledgement to the source must be made, either as a footnote or in a reference list at the end of your publication, as follows:

“Reprinted from Publication title, Vol /edition number, Author(s), Title of article / title of chapter, Pages No., Copyright (Year), with permission from Elsevier [OR APPLICABLE SOCIETY COPYRIGHT OWNER].” Also Lancet special credit - “Reprinted from The Lancet, Vol. number, Author(s), Title of article, Pages No., Copyright (Year), with permission from Elsevier.”

4. Reproduction of this material is confined to the purpose and/or media for which permission is hereby given.

5. Altering/Modifying Material: Not Permitted. However figures and illustrations may be altered/adapted minimally to serve your work. Any other abbreviations, additions, deletions and/or any other alterations shall be made only with prior written authorization of Elsevier Ltd. (Please contact Elsevier at permissions@elsevier.com)

6. If the permission fee for the requested use of our material is waived in this instance, please be advised that your future requests for Elsevier materials may attract a fee.

7. Reservation of Rights: Publisher reserves all rights not specifically granted in the combination of (i) the license details provided by you and accepted in the course of this licensing transaction, (ii) these terms and conditions and (iii) CCC's Billing and Payment terms and conditions.

8. **License Contingent Upon Payment:** While you may exercise the rights licensed immediately upon issuance of the license at the end of the licensing process for the transaction, provided that you have disclosed complete and accurate details of your proposed use, no license is finally effective unless and until full payment is received from you (either by publisher or by CCC) as provided in CCC's Billing and Payment terms and conditions. If full payment is not received on a timely basis, then any license preliminarily granted shall be deemed automatically revoked and shall be void as if never granted. Further, in the event that you breach any of these terms and conditions or any of CCC's Billing and Payment terms and conditions, the license is automatically revoked and shall be void as if never granted. Use of materials as described in a revoked license, as well as any use of the materials beyond the scope of an unrevoked license, may constitute copyright infringement and publisher reserves the right to take any and all action to protect its copyright in the materials.

9. **Warranties:** Publisher makes no representations or warranties with respect to the licensed material.

10. **Indemnity:** You hereby indemnify and agree to hold harmless publisher and CCC, and their respective officers, directors, employees and agents, from and against any and all claims arising out of your use of the licensed material other than as specifically authorized pursuant to this license.

11. **No Transfer of License:** This license is personal to you and may not be sublicensed, assigned, or transferred by you to any other person without publisher's written permission.

12. **No Amendment Except in Writing:** This license may not be amended except in a writing signed by both parties (or, in the case of publisher, by CCC on publisher's behalf).

13. **Objection to Contrary Terms:** Publisher hereby objects to any terms contained in any purchase order, acknowledgment, check endorsement or other writing prepared by you, which terms are inconsistent with these terms and conditions or CCC's Billing and Payment terms and conditions. These terms and conditions, together with CCC's Billing and Payment terms and conditions (which are incorporated herein), comprise the entire agreement between you and publisher (and CCC) concerning this licensing transaction. In the event of any conflict between your obligations established by these terms and conditions and those established by CCC's Billing and Payment terms and conditions, these terms and conditions shall control.

14. **Revocation:** Elsevier or Copyright Clearance Center may deny the permissions described in this License at their sole discretion, for any reason or no reason, with a full refund payable to you. Notice of such denial will be made using the contact information provided by you. Failure to receive such notice will not alter or invalidate the denial. In no event will Elsevier or Copyright Clearance Center be responsible or liable for any costs, expenses or damage incurred by you as a result of a denial of your permission request, other than a refund of the amount(s) paid by you to Elsevier and/or Copyright Clearance Center for denied permissions.

LIMITED LICENSE

The following terms and conditions apply only to specific license types:

15. **Translation:** This permission is granted for non-exclusive world **English** rights only unless your license was granted for translation rights. If you licensed translation rights you may only translate this content into the languages you requested. A professional translator must perform all translations and reproduce the content word for word preserving the

integrity of the article. If this license is to re-use 1 or 2 figures then permission is granted for non-exclusive world rights in all languages.

16. Posting licensed content on any Website: The following terms and conditions apply as follows: Licensing material from an Elsevier journal: All content posted to the web site must maintain the copyright information line on the bottom of each image; A hyper-text must be included to the Homepage of the journal from which you are licensing at <http://www.sciencedirect.com/science/journal/xxxxx> or the Elsevier homepage for books at <http://www.elsevier.com>; Central Storage: This license does not include permission for a scanned version of the material to be stored in a central repository such as that provided by Heron/XanEdu.

Licensing material from an Elsevier book: A hyper-text link must be included to the Elsevier homepage at <http://www.elsevier.com>. All content posted to the web site must maintain the copyright information line on the bottom of each image.

Posting licensed content on Electronic reserve: In addition to the above the following clauses are applicable: The web site must be password-protected and made available only to bona fide students registered on a relevant course. This permission is granted for 1 year only. You may obtain a new license for future website posting.

17. For journal authors: the following clauses are applicable in addition to the above: Permission granted is limited to the author accepted manuscript version* of your paper.

***Accepted Author Manuscript (AAM) Definition:** An accepted author manuscript (AAM) is the author's version of the manuscript of an article that has been accepted for publication and which may include any author-incorporated changes suggested through the processes of submission processing, peer review, and editor-author communications. AAMs do not include other publisher value-added contributions such as copy-editing, formatting, technical enhancements and (if relevant) pagination.

You are not allowed to download and post the published journal article (whether PDF or HTML, proof or final version), nor may you scan the printed edition to create an electronic version. A hyper-text must be included to the Homepage of the journal from which you are licensing at <http://www.sciencedirect.com/science/journal/xxxxx>. As part of our normal production process, you will receive an e-mail notice when your article appears on Elsevier's online service ScienceDirect (www.sciencedirect.com). That e-mail will include the article's Digital Object Identifier (DOI). This number provides the electronic link to the published article and should be included in the posting of your personal version. We ask that you wait until you receive this e-mail and have the DOI to do any posting.

18. Posting to a repository: Authors may post their AAM immediately to their employer's institutional repository for internal use only and may make their manuscript publically available after the journal-specific embargo period has ended.

Please also refer to [Elsevier's Article Posting Policy](#) for further information.

19. For book authors the following clauses are applicable in addition to the above: Authors are permitted to place a brief summary of their work online only.. You are not allowed to download and post the published electronic version of your chapter, nor may you scan the printed edition to create an electronic version. **Posting to a repository:** Authors are permitted to post a summary of their chapter only in their institution's repository.

20. Thesis/Dissertation: If your license is for use in a thesis/dissertation your thesis may be submitted to your institution in either print or electronic form. Should your thesis be

published commercially, please reapply for permission. These requirements include permission for the Library and Archives of Canada to supply single copies, on demand, of the complete thesis and include permission for Proquest/UMI to supply single copies, on demand, of the complete thesis. Should your thesis be published commercially, please reapply for permission.

Elsevier Open Access Terms and Conditions

Elsevier publishes Open Access articles in both its Open Access journals and via its Open Access articles option in subscription journals.

Authors publishing in an Open Access journal or who choose to make their article Open Access in an Elsevier subscription journal select one of the following Creative Commons user licenses, which define how a reader may reuse their work: Creative Commons Attribution License (CC BY), Creative Commons Attribution – Non Commercial - ShareAlike (CC BY NC SA) and Creative Commons Attribution – Non Commercial – No Derivatives (CC BY NC ND)

Terms & Conditions applicable to all Elsevier Open Access articles:

Any reuse of the article must not represent the author as endorsing the adaptation of the article nor should the article be modified in such a way as to damage the author's honour or reputation.

The author(s) must be appropriately credited.

If any part of the material to be used (for example, figures) has appeared in our publication with credit or acknowledgement to another source it is the responsibility of the user to ensure their reuse complies with the terms and conditions determined by the rights holder.

Additional Terms & Conditions applicable to each Creative Commons user license:

CC BY: You may distribute and copy the article, create extracts, abstracts, and other revised versions, adaptations or derivative works of or from an article (such as a translation), to include in a collective work (such as an anthology), to text or data mine the article, including for commercial purposes without permission from Elsevier

CC BY NC SA: For non-commercial purposes you may distribute and copy the article, create extracts, abstracts and other revised versions, adaptations or derivative works of or from an article (such as a translation), to include in a collective work (such as an anthology), to text and data mine the article and license new adaptations or creations under identical terms without permission from Elsevier

CC BY NC ND: For non-commercial purposes you may distribute and copy the article and include it in a collective work (such as an anthology), provided you do not alter or modify the article, without permission from Elsevier

Any commercial reuse of Open Access articles published with a CC BY NC SA or CC BY NC ND license requires permission from Elsevier and will be subject to a fee.

Commercial reuse includes:

- Promotional purposes (advertising or marketing)

- Commercial exploitation (e.g. a product for sale or loan)
- Systematic distribution (for a fee or free of charge)

Please refer to [Elsevier's Open Access Policy](#) for further information.

21. Other Conditions:

v1.7

Questions? customercare@copyright.com or +1-855-239-3415 (toll free in the US) or +1-978-646-2777.

Gratis licenses (referencing \$0 in the Total field) are free. Please retain this printable license for your reference. No payment is required.

ELSEVIER LICENSE TERMS AND CONDITIONS

Feb 21, 2015

This is a License Agreement between Fidel Salas Vicente ("You") and Elsevier ("Elsevier") provided by Copyright Clearance Center ("CCC"). The license consists of your order details, the terms and conditions provided by Elsevier, and the payment terms and conditions.

All payments must be made in full to CCC. For payment instructions, please see information listed at the bottom of this form.

| | |
|--|---|
| Supplier | Elsevier Limited The Boulevard,Langford Lane Kidlington,Oxford,OX5 1GB,UK |
| Registered Company Number | 1982084 |
| Customer name | Fidel Salas Vicente |
| Customer address | Avda. Castellón, 5 Geldo, Castellón 12412 |
| License number | 3573660044498 |
| License date | Feb 21, 2015 |
| Licensed content publisher | Elsevier |
| Licensed content publication | Wear |
| Licensed content title | High strength rail steels—The importance of material properties in contact mechanics problems |
| Licensed content author | None |
| Licensed content date | 30 October 2008 |
| Licensed content volume number | 265 |
| Licensed content issue number | 9-10 |
| Number of pages | 7 |
| Start Page | 1373 |
| End Page | 1379 |
| Type of Use | reuse in a thesis/dissertation |
| Intended publisher of new work | other |
| Portion | figures/tables/illustrations |
| Number of figures/tables/illustrations | 2 |
| Format | both print and electronic |
| Are you the author of this Elsevier article? | No |
| Will you be translating? | No |
| Original figure numbers | Figures 1 & 2 |

| | |
|-----------------------------------|--|
| Title of your thesis/dissertation | Investigación y modelización de la adherencia, el desgaste y la fenomenología de daño asociada a la rodadura en contactos rueda-carril de aceros al carbono y bainíticos |
| Expected completion date | May 2015 |
| Estimated size (number of pages) | 440 |
| Elsevier VAT number | GB 494 6272 12 |
| Permissions price | 0.00 EUR |
| VAT/Local Sales Tax | 0.00 EUR / 0.00 GBP |
| Total | 0.00 EUR |

Terms and Conditions

INTRODUCTION

1. The publisher for this copyrighted material is Elsevier. By clicking "accept" in connection with completing this licensing transaction, you agree that the following terms and conditions apply to this transaction (along with the Billing and Payment terms and conditions established by Copyright Clearance Center, Inc. ("CCC"), at the time that you opened your Rightslink account and that are available at any time at <http://myaccount.copyright.com>).

GENERAL TERMS

2. Elsevier hereby grants you permission to reproduce the aforementioned material subject to the terms and conditions indicated.

3. Acknowledgement: If any part of the material to be used (for example, figures) has appeared in our publication with credit or acknowledgement to another source, permission must also be sought from that source. If such permission is not obtained then that material may not be included in your publication/copies. Suitable acknowledgement to the source must be made, either as a footnote or in a reference list at the end of your publication, as follows:

“Reprinted from Publication title, Vol /edition number, Author(s), Title of article / title of chapter, Pages No., Copyright (Year), with permission from Elsevier [OR APPLICABLE SOCIETY COPYRIGHT OWNER].” Also Lancet special credit - “Reprinted from The Lancet, Vol. number, Author(s), Title of article, Pages No., Copyright (Year), with permission from Elsevier.”

4. Reproduction of this material is confined to the purpose and/or media for which permission is hereby given.

5. Altering/Modifying Material: Not Permitted. However figures and illustrations may be altered/adapted minimally to serve your work. Any other abbreviations, additions, deletions and/or any other alterations shall be made only with prior written authorization of Elsevier Ltd. (Please contact Elsevier at permissions@elsevier.com)

6. If the permission fee for the requested use of our material is waived in this instance, please be advised that your future requests for Elsevier materials may attract a fee.

7. Reservation of Rights: Publisher reserves all rights not specifically granted in the combination of (i) the license details provided by you and accepted in the course of this licensing transaction, (ii) these terms and conditions and (iii) CCC's Billing and Payment terms and conditions.

8. **License Contingent Upon Payment:** While you may exercise the rights licensed immediately upon issuance of the license at the end of the licensing process for the transaction, provided that you have disclosed complete and accurate details of your proposed use, no license is finally effective unless and until full payment is received from you (either by publisher or by CCC) as provided in CCC's Billing and Payment terms and conditions. If full payment is not received on a timely basis, then any license preliminarily granted shall be deemed automatically revoked and shall be void as if never granted. Further, in the event that you breach any of these terms and conditions or any of CCC's Billing and Payment terms and conditions, the license is automatically revoked and shall be void as if never granted. Use of materials as described in a revoked license, as well as any use of the materials beyond the scope of an unrevoked license, may constitute copyright infringement and publisher reserves the right to take any and all action to protect its copyright in the materials.

9. **Warranties:** Publisher makes no representations or warranties with respect to the licensed material.

10. **Indemnity:** You hereby indemnify and agree to hold harmless publisher and CCC, and their respective officers, directors, employees and agents, from and against any and all claims arising out of your use of the licensed material other than as specifically authorized pursuant to this license.

11. **No Transfer of License:** This license is personal to you and may not be sublicensed, assigned, or transferred by you to any other person without publisher's written permission.

12. **No Amendment Except in Writing:** This license may not be amended except in a writing signed by both parties (or, in the case of publisher, by CCC on publisher's behalf).

13. **Objection to Contrary Terms:** Publisher hereby objects to any terms contained in any purchase order, acknowledgment, check endorsement or other writing prepared by you, which terms are inconsistent with these terms and conditions or CCC's Billing and Payment terms and conditions. These terms and conditions, together with CCC's Billing and Payment terms and conditions (which are incorporated herein), comprise the entire agreement between you and publisher (and CCC) concerning this licensing transaction. In the event of any conflict between your obligations established by these terms and conditions and those established by CCC's Billing and Payment terms and conditions, these terms and conditions shall control.

14. **Revocation:** Elsevier or Copyright Clearance Center may deny the permissions described in this License at their sole discretion, for any reason or no reason, with a full refund payable to you. Notice of such denial will be made using the contact information provided by you. Failure to receive such notice will not alter or invalidate the denial. In no event will Elsevier or Copyright Clearance Center be responsible or liable for any costs, expenses or damage incurred by you as a result of a denial of your permission request, other than a refund of the amount(s) paid by you to Elsevier and/or Copyright Clearance Center for denied permissions.

LIMITED LICENSE

The following terms and conditions apply only to specific license types:

15. **Translation:** This permission is granted for non-exclusive world **English** rights only unless your license was granted for translation rights. If you licensed translation rights you may only translate this content into the languages you requested. A professional translator must perform all translations and reproduce the content word for word preserving the

integrity of the article. If this license is to re-use 1 or 2 figures then permission is granted for non-exclusive world rights in all languages.

16. Posting licensed content on any Website: The following terms and conditions apply as follows: Licensing material from an Elsevier journal: All content posted to the web site must maintain the copyright information line on the bottom of each image; A hyper-text must be included to the Homepage of the journal from which you are licensing at <http://www.sciencedirect.com/science/journal/xxxxx> or the Elsevier homepage for books at <http://www.elsevier.com>; Central Storage: This license does not include permission for a scanned version of the material to be stored in a central repository such as that provided by Heron/XanEdu.

Licensing material from an Elsevier book: A hyper-text link must be included to the Elsevier homepage at <http://www.elsevier.com>. All content posted to the web site must maintain the copyright information line on the bottom of each image.

Posting licensed content on Electronic reserve: In addition to the above the following clauses are applicable: The web site must be password-protected and made available only to bona fide students registered on a relevant course. This permission is granted for 1 year only. You may obtain a new license for future website posting.

17. For journal authors: the following clauses are applicable in addition to the above: Permission granted is limited to the author accepted manuscript version* of your paper.

***Accepted Author Manuscript (AAM) Definition:** An accepted author manuscript (AAM) is the author's version of the manuscript of an article that has been accepted for publication and which may include any author-incorporated changes suggested through the processes of submission processing, peer review, and editor-author communications. AAMs do not include other publisher value-added contributions such as copy-editing, formatting, technical enhancements and (if relevant) pagination.

You are not allowed to download and post the published journal article (whether PDF or HTML, proof or final version), nor may you scan the printed edition to create an electronic version. A hyper-text must be included to the Homepage of the journal from which you are licensing at <http://www.sciencedirect.com/science/journal/xxxxx>. As part of our normal production process, you will receive an e-mail notice when your article appears on Elsevier's online service ScienceDirect (www.sciencedirect.com). That e-mail will include the article's Digital Object Identifier (DOI). This number provides the electronic link to the published article and should be included in the posting of your personal version. We ask that you wait until you receive this e-mail and have the DOI to do any posting.

18. Posting to a repository: Authors may post their AAM immediately to their employer's institutional repository for internal use only and may make their manuscript publically available after the journal-specific embargo period has ended.

Please also refer to [Elsevier's Article Posting Policy](#) for further information.

19. For book authors the following clauses are applicable in addition to the above: Authors are permitted to place a brief summary of their work online only.. You are not allowed to download and post the published electronic version of your chapter, nor may you scan the printed edition to create an electronic version. **Posting to a repository:** Authors are permitted to post a summary of their chapter only in their institution's repository.

20. Thesis/Dissertation: If your license is for use in a thesis/dissertation your thesis may be submitted to your institution in either print or electronic form. Should your thesis be

published commercially, please reapply for permission. These requirements include permission for the Library and Archives of Canada to supply single copies, on demand, of the complete thesis and include permission for Proquest/UMI to supply single copies, on demand, of the complete thesis. Should your thesis be published commercially, please reapply for permission.

Elsevier Open Access Terms and Conditions

Elsevier publishes Open Access articles in both its Open Access journals and via its Open Access articles option in subscription journals.

Authors publishing in an Open Access journal or who choose to make their article Open Access in an Elsevier subscription journal select one of the following Creative Commons user licenses, which define how a reader may reuse their work: Creative Commons Attribution License (CC BY), Creative Commons Attribution – Non Commercial - ShareAlike (CC BY NC SA) and Creative Commons Attribution – Non Commercial – No Derivatives (CC BY NC ND)

Terms & Conditions applicable to all Elsevier Open Access articles:

Any reuse of the article must not represent the author as endorsing the adaptation of the article nor should the article be modified in such a way as to damage the author's honour or reputation.

The author(s) must be appropriately credited.

If any part of the material to be used (for example, figures) has appeared in our publication with credit or acknowledgement to another source it is the responsibility of the user to ensure their reuse complies with the terms and conditions determined by the rights holder.

Additional Terms & Conditions applicable to each Creative Commons user license:

CC BY: You may distribute and copy the article, create extracts, abstracts, and other revised versions, adaptations or derivative works of or from an article (such as a translation), to include in a collective work (such as an anthology), to text or data mine the article, including for commercial purposes without permission from Elsevier

CC BY NC SA: For non-commercial purposes you may distribute and copy the article, create extracts, abstracts and other revised versions, adaptations or derivative works of or from an article (such as a translation), to include in a collective work (such as an anthology), to text and data mine the article and license new adaptations or creations under identical terms without permission from Elsevier

CC BY NC ND: For non-commercial purposes you may distribute and copy the article and include it in a collective work (such as an anthology), provided you do not alter or modify the article, without permission from Elsevier

Any commercial reuse of Open Access articles published with a CC BY NC SA or CC BY NC ND license requires permission from Elsevier and will be subject to a fee.

Commercial reuse includes:

- Promotional purposes (advertising or marketing)

- Commercial exploitation (e.g. a product for sale or loan)
- Systematic distribution (for a fee or free of charge)

Please refer to [Elsevier's Open Access Policy](#) for further information.

21. Other Conditions:

v1.7

Questions? customercare@copyright.com or +1-855-239-3415 (toll free in the US) or +1-978-646-2777.

Gratis licenses (referencing \$0 in the Total field) are free. Please retain this printable license for your reference. No payment is required.

ELSEVIER LICENSE TERMS AND CONDITIONS

Feb 21, 2015

This is a License Agreement between Fidel Salas Vicente ("You") and Elsevier ("Elsevier") provided by Copyright Clearance Center ("CCC"). The license consists of your order details, the terms and conditions provided by Elsevier, and the payment terms and conditions.

All payments must be made in full to CCC. For payment instructions, please see information listed at the bottom of this form.

| | |
|--|---|
| Supplier | Elsevier Limited The Boulevard, Langford Lane Kidlington, Oxford, OX5 1GB, UK |
| Registered Company Number | 1982084 |
| Customer name | Fidel Salas Vicente |
| Customer address | Avda. Castellón, 5 Geldo, Castellón 12412 |
| License number | 3573610318928 |
| License date | Feb 21, 2015 |
| Licensed content publisher | Elsevier |
| Licensed content publication | Wear |
| Licensed content title | Laboratory tests for wear of rail and wheel steels |
| Licensed content author | D. Markov |
| Licensed content date | March 1995 |
| Licensed content volume number | 181 |
| Licensed content issue number | n/a |
| Number of pages | 9 |
| Start Page | 678 |
| End Page | 686 |
| Type of Use | reuse in a thesis/dissertation |
| Intended publisher of new work | other |
| Portion | figures/tables/illustrations |
| Number of figures/tables/illustrations | 1 |
| Format | both print and electronic |
| Are you the author of this Elsevier article? | No |
| Will you be translating? | No |
| Original figure numbers | figure 11 |
| Title of your | Investigación y modelización de la adherencia, el desgaste y la |

| | |
|----------------------------------|--|
| thesis/dissertation | fenomenología de daño asociada a la rodadura en contactos rueda-carril de aceros al carbono y bainíticos |
| Expected completion date | May 2015 |
| Estimated size (number of pages) | 440 |
| Elsevier VAT number | GB 494 6272 12 |
| Permissions price | 0.00 EUR |
| VAT/Local Sales Tax | 0.00 EUR / 0.00 GBP |
| Total | 0.00 EUR |
| Terms and Conditions | |

INTRODUCTION

1. The publisher for this copyrighted material is Elsevier. By clicking "accept" in connection with completing this licensing transaction, you agree that the following terms and conditions apply to this transaction (along with the Billing and Payment terms and conditions established by Copyright Clearance Center, Inc. ("CCC"), at the time that you opened your Rightslink account and that are available at any time at <http://myaccount.copyright.com>).

GENERAL TERMS

2. Elsevier hereby grants you permission to reproduce the aforementioned material subject to the terms and conditions indicated.

3. Acknowledgement: If any part of the material to be used (for example, figures) has appeared in our publication with credit or acknowledgement to another source, permission must also be sought from that source. If such permission is not obtained then that material may not be included in your publication/copies. Suitable acknowledgement to the source must be made, either as a footnote or in a reference list at the end of your publication, as follows:

“Reprinted from Publication title, Vol /edition number, Author(s), Title of article / title of chapter, Pages No., Copyright (Year), with permission from Elsevier [OR APPLICABLE SOCIETY COPYRIGHT OWNER].” Also Lancet special credit - “Reprinted from The Lancet, Vol. number, Author(s), Title of article, Pages No., Copyright (Year), with permission from Elsevier.”

4. Reproduction of this material is confined to the purpose and/or media for which permission is hereby given.

5. Altering/Modifying Material: Not Permitted. However figures and illustrations may be altered/adapted minimally to serve your work. Any other abbreviations, additions, deletions and/or any other alterations shall be made only with prior written authorization of Elsevier Ltd. (Please contact Elsevier at permissions@elsevier.com)

6. If the permission fee for the requested use of our material is waived in this instance, please be advised that your future requests for Elsevier materials may attract a fee.

7. Reservation of Rights: Publisher reserves all rights not specifically granted in the combination of (i) the license details provided by you and accepted in the course of this licensing transaction, (ii) these terms and conditions and (iii) CCC's Billing and Payment terms and conditions.

8. **License Contingent Upon Payment:** While you may exercise the rights licensed immediately upon issuance of the license at the end of the licensing process for the transaction, provided that you have disclosed complete and accurate details of your proposed use, no license is finally effective unless and until full payment is received from you (either by publisher or by CCC) as provided in CCC's Billing and Payment terms and conditions. If full payment is not received on a timely basis, then any license preliminarily granted shall be deemed automatically revoked and shall be void as if never granted. Further, in the event that you breach any of these terms and conditions or any of CCC's Billing and Payment terms and conditions, the license is automatically revoked and shall be void as if never granted. Use of materials as described in a revoked license, as well as any use of the materials beyond the scope of an unrevoked license, may constitute copyright infringement and publisher reserves the right to take any and all action to protect its copyright in the materials.

9. **Warranties:** Publisher makes no representations or warranties with respect to the licensed material.

10. **Indemnity:** You hereby indemnify and agree to hold harmless publisher and CCC, and their respective officers, directors, employees and agents, from and against any and all claims arising out of your use of the licensed material other than as specifically authorized pursuant to this license.

11. **No Transfer of License:** This license is personal to you and may not be sublicensed, assigned, or transferred by you to any other person without publisher's written permission.

12. **No Amendment Except in Writing:** This license may not be amended except in a writing signed by both parties (or, in the case of publisher, by CCC on publisher's behalf).

13. **Objection to Contrary Terms:** Publisher hereby objects to any terms contained in any purchase order, acknowledgment, check endorsement or other writing prepared by you, which terms are inconsistent with these terms and conditions or CCC's Billing and Payment terms and conditions. These terms and conditions, together with CCC's Billing and Payment terms and conditions (which are incorporated herein), comprise the entire agreement between you and publisher (and CCC) concerning this licensing transaction. In the event of any conflict between your obligations established by these terms and conditions and those established by CCC's Billing and Payment terms and conditions, these terms and conditions shall control.

14. **Revocation:** Elsevier or Copyright Clearance Center may deny the permissions described in this License at their sole discretion, for any reason or no reason, with a full refund payable to you. Notice of such denial will be made using the contact information provided by you. Failure to receive such notice will not alter or invalidate the denial. In no event will Elsevier or Copyright Clearance Center be responsible or liable for any costs, expenses or damage incurred by you as a result of a denial of your permission request, other than a refund of the amount(s) paid by you to Elsevier and/or Copyright Clearance Center for denied permissions.

LIMITED LICENSE

The following terms and conditions apply only to specific license types:

15. **Translation:** This permission is granted for non-exclusive world **English** rights only unless your license was granted for translation rights. If you licensed translation rights you may only translate this content into the languages you requested. A professional translator must perform all translations and reproduce the content word for word preserving the

integrity of the article. If this license is to re-use 1 or 2 figures then permission is granted for non-exclusive world rights in all languages.

16. Posting licensed content on any Website: The following terms and conditions apply as follows: Licensing material from an Elsevier journal: All content posted to the web site must maintain the copyright information line on the bottom of each image; A hyper-text must be included to the Homepage of the journal from which you are licensing at <http://www.sciencedirect.com/science/journal/xxxxx> or the Elsevier homepage for books at <http://www.elsevier.com>; Central Storage: This license does not include permission for a scanned version of the material to be stored in a central repository such as that provided by Heron/XanEdu.

Licensing material from an Elsevier book: A hyper-text link must be included to the Elsevier homepage at <http://www.elsevier.com>. All content posted to the web site must maintain the copyright information line on the bottom of each image.

Posting licensed content on Electronic reserve: In addition to the above the following clauses are applicable: The web site must be password-protected and made available only to bona fide students registered on a relevant course. This permission is granted for 1 year only. You may obtain a new license for future website posting.

17. For journal authors: the following clauses are applicable in addition to the above: Permission granted is limited to the author accepted manuscript version* of your paper.

***Accepted Author Manuscript (AAM) Definition:** An accepted author manuscript (AAM) is the author's version of the manuscript of an article that has been accepted for publication and which may include any author-incorporated changes suggested through the processes of submission processing, peer review, and editor-author communications. AAMs do not include other publisher value-added contributions such as copy-editing, formatting, technical enhancements and (if relevant) pagination.

You are not allowed to download and post the published journal article (whether PDF or HTML, proof or final version), nor may you scan the printed edition to create an electronic version. A hyper-text must be included to the Homepage of the journal from which you are licensing at <http://www.sciencedirect.com/science/journal/xxxxx>. As part of our normal production process, you will receive an e-mail notice when your article appears on Elsevier's online service ScienceDirect (www.sciencedirect.com). That e-mail will include the article's Digital Object Identifier (DOI). This number provides the electronic link to the published article and should be included in the posting of your personal version. We ask that you wait until you receive this e-mail and have the DOI to do any posting.

18. Posting to a repository: Authors may post their AAM immediately to their employer's institutional repository for internal use only and may make their manuscript publically available after the journal-specific embargo period has ended.

Please also refer to [Elsevier's Article Posting Policy](#) for further information.

19. For book authors the following clauses are applicable in addition to the above: Authors are permitted to place a brief summary of their work online only.. You are not allowed to download and post the published electronic version of your chapter, nor may you scan the printed edition to create an electronic version. **Posting to a repository:** Authors are permitted to post a summary of their chapter only in their institution's repository.

20. Thesis/Dissertation: If your license is for use in a thesis/dissertation your thesis may be submitted to your institution in either print or electronic form. Should your thesis be

published commercially, please reapply for permission. These requirements include permission for the Library and Archives of Canada to supply single copies, on demand, of the complete thesis and include permission for Proquest/UMI to supply single copies, on demand, of the complete thesis. Should your thesis be published commercially, please reapply for permission.

Elsevier Open Access Terms and Conditions

Elsevier publishes Open Access articles in both its Open Access journals and via its Open Access articles option in subscription journals.

Authors publishing in an Open Access journal or who choose to make their article Open Access in an Elsevier subscription journal select one of the following Creative Commons user licenses, which define how a reader may reuse their work: Creative Commons Attribution License (CC BY), Creative Commons Attribution – Non Commercial - ShareAlike (CC BY NC SA) and Creative Commons Attribution – Non Commercial – No Derivatives (CC BY NC ND)

Terms & Conditions applicable to all Elsevier Open Access articles:

Any reuse of the article must not represent the author as endorsing the adaptation of the article nor should the article be modified in such a way as to damage the author's honour or reputation.

The author(s) must be appropriately credited.

If any part of the material to be used (for example, figures) has appeared in our publication with credit or acknowledgement to another source it is the responsibility of the user to ensure their reuse complies with the terms and conditions determined by the rights holder.

Additional Terms & Conditions applicable to each Creative Commons user license:

CC BY: You may distribute and copy the article, create extracts, abstracts, and other revised versions, adaptations or derivative works of or from an article (such as a translation), to include in a collective work (such as an anthology), to text or data mine the article, including for commercial purposes without permission from Elsevier

CC BY NC SA: For non-commercial purposes you may distribute and copy the article, create extracts, abstracts and other revised versions, adaptations or derivative works of or from an article (such as a translation), to include in a collective work (such as an anthology), to text and data mine the article and license new adaptations or creations under identical terms without permission from Elsevier

CC BY NC ND: For non-commercial purposes you may distribute and copy the article and include it in a collective work (such as an anthology), provided you do not alter or modify the article, without permission from Elsevier

Any commercial reuse of Open Access articles published with a CC BY NC SA or CC BY NC ND license requires permission from Elsevier and will be subject to a fee.

Commercial reuse includes:

- Promotional purposes (advertising or marketing)

- Commercial exploitation (e.g. a product for sale or loan)
- Systematic distribution (for a fee or free of charge)

Please refer to [Elsevier's Open Access Policy](#) for further information.

21. Other Conditions:

v1.7

Questions? customercare@copyright.com or +1-855-239-3415 (toll free in the US) or +1-978-646-2777.

Gratis licenses (referencing \$0 in the Total field) are free. Please retain this printable license for your reference. No payment is required.

ELSEVIER LICENSE TERMS AND CONDITIONS

Feb 21, 2015

This is a License Agreement between Fidel Salas Vicente ("You") and Elsevier ("Elsevier") provided by Copyright Clearance Center ("CCC"). The license consists of your order details, the terms and conditions provided by Elsevier, and the payment terms and conditions.

All payments must be made in full to CCC. For payment instructions, please see information listed at the bottom of this form.

| | |
|--|--|
| Supplier | Elsevier Limited The Boulevard, Langford Lane Kidlington, Oxford, OX5 1GB, UK |
| Registered Company Number | 1982084 |
| Customer name | Fidel Salas Vicente |
| Customer address | Avda. Castellón, 5 Geldo, Castellón 12412 |
| License number | 3573590243572 |
| License date | Feb 21, 2015 |
| Licensed content publisher | Elsevier |
| Licensed content publication | Journal of the Mechanics and Physics of Solids |
| Licensed content title | Application of the kinematical shakedown theorem to rolling and sliding point contacts |
| Licensed content author | A.R.S. Ponter, A.D. Hearle, K.L. Johnson |
| Licensed content date | 1985 |
| Licensed content volume number | 33 |
| Licensed content issue number | 4 |
| Number of pages | 24 |
| Start Page | 339 |
| End Page | 362 |
| Type of Use | reuse in a thesis/dissertation |
| Intended publisher of new work | other |
| Portion | figures/tables/illustrations |
| Number of figures/tables/illustrations | 3 |
| Format | both print and electronic |
| Are you the author of this Elsevier article? | No |
| Will you be translating? | No |
| Original figure numbers | Figures 1, 3 and 4 |

| | |
|-----------------------------------|--|
| Title of your thesis/dissertation | Investigación y modelización de la adherencia, el desgaste y la fenomenología de daño asociada a la rodadura en contactos rueda-carril de aceros al carbono y bainíticos |
| Expected completion date | May 2015 |
| Estimated size (number of pages) | 440 |
| Elsevier VAT number | GB 494 6272 12 |
| Permissions price | 0.00 EUR |
| VAT/Local Sales Tax | 0.00 USD / 0.00 GBP |
| Total | 0.00 EUR |

Terms and Conditions

INTRODUCTION

1. The publisher for this copyrighted material is Elsevier. By clicking "accept" in connection with completing this licensing transaction, you agree that the following terms and conditions apply to this transaction (along with the Billing and Payment terms and conditions established by Copyright Clearance Center, Inc. ("CCC"), at the time that you opened your Rightslink account and that are available at any time at <http://myaccount.copyright.com>).

GENERAL TERMS

2. Elsevier hereby grants you permission to reproduce the aforementioned material subject to the terms and conditions indicated.

3. Acknowledgement: If any part of the material to be used (for example, figures) has appeared in our publication with credit or acknowledgement to another source, permission must also be sought from that source. If such permission is not obtained then that material may not be included in your publication/copies. Suitable acknowledgement to the source must be made, either as a footnote or in a reference list at the end of your publication, as follows:

“Reprinted from Publication title, Vol /edition number, Author(s), Title of article / title of chapter, Pages No., Copyright (Year), with permission from Elsevier [OR APPLICABLE SOCIETY COPYRIGHT OWNER].” Also Lancet special credit - “Reprinted from The Lancet, Vol. number, Author(s), Title of article, Pages No., Copyright (Year), with permission from Elsevier.”

4. Reproduction of this material is confined to the purpose and/or media for which permission is hereby given.

5. Altering/Modifying Material: Not Permitted. However figures and illustrations may be altered/adapted minimally to serve your work. Any other abbreviations, additions, deletions and/or any other alterations shall be made only with prior written authorization of Elsevier Ltd. (Please contact Elsevier at permissions@elsevier.com)

6. If the permission fee for the requested use of our material is waived in this instance, please be advised that your future requests for Elsevier materials may attract a fee.

7. Reservation of Rights: Publisher reserves all rights not specifically granted in the combination of (i) the license details provided by you and accepted in the course of this licensing transaction, (ii) these terms and conditions and (iii) CCC's Billing and Payment terms and conditions.

8. **License Contingent Upon Payment:** While you may exercise the rights licensed immediately upon issuance of the license at the end of the licensing process for the transaction, provided that you have disclosed complete and accurate details of your proposed use, no license is finally effective unless and until full payment is received from you (either by publisher or by CCC) as provided in CCC's Billing and Payment terms and conditions. If full payment is not received on a timely basis, then any license preliminarily granted shall be deemed automatically revoked and shall be void as if never granted. Further, in the event that you breach any of these terms and conditions or any of CCC's Billing and Payment terms and conditions, the license is automatically revoked and shall be void as if never granted. Use of materials as described in a revoked license, as well as any use of the materials beyond the scope of an unrevoked license, may constitute copyright infringement and publisher reserves the right to take any and all action to protect its copyright in the materials.

9. **Warranties:** Publisher makes no representations or warranties with respect to the licensed material.

10. **Indemnity:** You hereby indemnify and agree to hold harmless publisher and CCC, and their respective officers, directors, employees and agents, from and against any and all claims arising out of your use of the licensed material other than as specifically authorized pursuant to this license.

11. **No Transfer of License:** This license is personal to you and may not be sublicensed, assigned, or transferred by you to any other person without publisher's written permission.

12. **No Amendment Except in Writing:** This license may not be amended except in a writing signed by both parties (or, in the case of publisher, by CCC on publisher's behalf).

13. **Objection to Contrary Terms:** Publisher hereby objects to any terms contained in any purchase order, acknowledgment, check endorsement or other writing prepared by you, which terms are inconsistent with these terms and conditions or CCC's Billing and Payment terms and conditions. These terms and conditions, together with CCC's Billing and Payment terms and conditions (which are incorporated herein), comprise the entire agreement between you and publisher (and CCC) concerning this licensing transaction. In the event of any conflict between your obligations established by these terms and conditions and those established by CCC's Billing and Payment terms and conditions, these terms and conditions shall control.

14. **Revocation:** Elsevier or Copyright Clearance Center may deny the permissions described in this License at their sole discretion, for any reason or no reason, with a full refund payable to you. Notice of such denial will be made using the contact information provided by you. Failure to receive such notice will not alter or invalidate the denial. In no event will Elsevier or Copyright Clearance Center be responsible or liable for any costs, expenses or damage incurred by you as a result of a denial of your permission request, other than a refund of the amount(s) paid by you to Elsevier and/or Copyright Clearance Center for denied permissions.

LIMITED LICENSE

The following terms and conditions apply only to specific license types:

15. **Translation:** This permission is granted for non-exclusive world **English** rights only unless your license was granted for translation rights. If you licensed translation rights you may only translate this content into the languages you requested. A professional translator must perform all translations and reproduce the content word for word preserving the

integrity of the article. If this license is to re-use 1 or 2 figures then permission is granted for non-exclusive world rights in all languages.

16. Posting licensed content on any Website: The following terms and conditions apply as follows: Licensing material from an Elsevier journal: All content posted to the web site must maintain the copyright information line on the bottom of each image; A hyper-text must be included to the Homepage of the journal from which you are licensing at <http://www.sciencedirect.com/science/journal/xxxxx> or the Elsevier homepage for books at <http://www.elsevier.com>; Central Storage: This license does not include permission for a scanned version of the material to be stored in a central repository such as that provided by Heron/XanEdu.

Licensing material from an Elsevier book: A hyper-text link must be included to the Elsevier homepage at <http://www.elsevier.com>. All content posted to the web site must maintain the copyright information line on the bottom of each image.

Posting licensed content on Electronic reserve: In addition to the above the following clauses are applicable: The web site must be password-protected and made available only to bona fide students registered on a relevant course. This permission is granted for 1 year only. You may obtain a new license for future website posting.

17. For journal authors: the following clauses are applicable in addition to the above: Permission granted is limited to the author accepted manuscript version* of your paper.

***Accepted Author Manuscript (AAM) Definition:** An accepted author manuscript (AAM) is the author's version of the manuscript of an article that has been accepted for publication and which may include any author-incorporated changes suggested through the processes of submission processing, peer review, and editor-author communications. AAMs do not include other publisher value-added contributions such as copy-editing, formatting, technical enhancements and (if relevant) pagination.

You are not allowed to download and post the published journal article (whether PDF or HTML, proof or final version), nor may you scan the printed edition to create an electronic version. A hyper-text must be included to the Homepage of the journal from which you are licensing at <http://www.sciencedirect.com/science/journal/xxxxx>. As part of our normal production process, you will receive an e-mail notice when your article appears on Elsevier's online service ScienceDirect (www.sciencedirect.com). That e-mail will include the article's Digital Object Identifier (DOI). This number provides the electronic link to the published article and should be included in the posting of your personal version. We ask that you wait until you receive this e-mail and have the DOI to do any posting.

18. Posting to a repository: Authors may post their AAM immediately to their employer's institutional repository for internal use only and may make their manuscript publically available after the journal-specific embargo period has ended.

Please also refer to [Elsevier's Article Posting Policy](#) for further information.

19. For book authors the following clauses are applicable in addition to the above: Authors are permitted to place a brief summary of their work online only.. You are not allowed to download and post the published electronic version of your chapter, nor may you scan the printed edition to create an electronic version. **Posting to a repository:** Authors are permitted to post a summary of their chapter only in their institution's repository.

20. Thesis/Dissertation: If your license is for use in a thesis/dissertation your thesis may be submitted to your institution in either print or electronic form. Should your thesis be

published commercially, please reapply for permission. These requirements include permission for the Library and Archives of Canada to supply single copies, on demand, of the complete thesis and include permission for Proquest/UMI to supply single copies, on demand, of the complete thesis. Should your thesis be published commercially, please reapply for permission.

Elsevier Open Access Terms and Conditions

Elsevier publishes Open Access articles in both its Open Access journals and via its Open Access articles option in subscription journals.

Authors publishing in an Open Access journal or who choose to make their article Open Access in an Elsevier subscription journal select one of the following Creative Commons user licenses, which define how a reader may reuse their work: Creative Commons Attribution License (CC BY), Creative Commons Attribution – Non Commercial - ShareAlike (CC BY NC SA) and Creative Commons Attribution – Non Commercial – No Derivatives (CC BY NC ND)

Terms & Conditions applicable to all Elsevier Open Access articles:

Any reuse of the article must not represent the author as endorsing the adaptation of the article nor should the article be modified in such a way as to damage the author's honour or reputation.

The author(s) must be appropriately credited.

If any part of the material to be used (for example, figures) has appeared in our publication with credit or acknowledgement to another source it is the responsibility of the user to ensure their reuse complies with the terms and conditions determined by the rights holder.

Additional Terms & Conditions applicable to each Creative Commons user license:

CC BY: You may distribute and copy the article, create extracts, abstracts, and other revised versions, adaptations or derivative works of or from an article (such as a translation), to include in a collective work (such as an anthology), to text or data mine the article, including for commercial purposes without permission from Elsevier

CC BY NC SA: For non-commercial purposes you may distribute and copy the article, create extracts, abstracts and other revised versions, adaptations or derivative works of or from an article (such as a translation), to include in a collective work (such as an anthology), to text and data mine the article and license new adaptations or creations under identical terms without permission from Elsevier

CC BY NC ND: For non-commercial purposes you may distribute and copy the article and include it in a collective work (such as an anthology), provided you do not alter or modify the article, without permission from Elsevier

Any commercial reuse of Open Access articles published with a CC BY NC SA or CC BY NC ND license requires permission from Elsevier and will be subject to a fee.

Commercial reuse includes:

- Promotional purposes (advertising or marketing)

- Commercial exploitation (e.g. a product for sale or loan)
- Systematic distribution (for a fee or free of charge)

Please refer to [Elsevier's Open Access Policy](#) for further information.

21. Other Conditions:

v1.7

Questions? customercare@copyright.com or +1-855-239-3415 (toll free in the US) or +1-978-646-2777.

Gratis licenses (referencing \$0 in the Total field) are free. Please retain this printable license for your reference. No payment is required.

ELSEVIER LICENSE TERMS AND CONDITIONS

Feb 20, 2015

This is a License Agreement between Fidel Salas Vicente ("You") and Elsevier ("Elsevier") provided by Copyright Clearance Center ("CCC"). The license consists of your order details, the terms and conditions provided by Elsevier, and the payment terms and conditions.

All payments must be made in full to CCC. For payment instructions, please see information listed at the bottom of this form.

| | |
|--|---|
| Supplier | Elsevier Limited The Boulevard,Langford Lane Kidlington,Oxford,OX5 1GB,UK |
| Registered Company Number | 1982084 |
| Customer name | Fidel Salas Vicente |
| Customer address | Avda. Castellón, 5 Geldo, Castellón 12412 |
| License number | 3573170954725 |
| License date | Feb 20, 2015 |
| Licensed content publisher | Elsevier |
| Licensed content publication | Materials Science and Engineering: A |
| Licensed content title | Local cyclic deformation behavior and microstructure of railway wheel materials |
| Licensed content author | None |
| Licensed content date | 15 December 2004 |
| Licensed content volume number | 387 |
| Licensed content issue number | n/a |
| Number of pages | 5 |
| Start Page | 481 |
| End Page | 485 |
| Type of Use | reuse in a thesis/dissertation |
| Intended publisher of new work | other |
| Portion | figures/tables/illustrations |
| Number of figures/tables/illustrations | 1 |
| Format | both print and electronic |
| Are you the author of this Elsevier article? | No |
| Will you be translating? | No |
| Original figure numbers | Figure 2 |

| | |
|-----------------------------------|--|
| Title of your thesis/dissertation | Investigación y modelización de la adherencia, el desgaste y la fenomenología de daño asociada a la rodadura en contactos rueda-carril de aceros al carbono y bainíticos |
| Expected completion date | May 2015 |
| Estimated size (number of pages) | 440 |
| Elsevier VAT number | GB 494 6272 12 |
| Permissions price | 0.00 EUR |
| VAT/Local Sales Tax | 0.00 EUR / 0.00 GBP |
| Total | 0.00 EUR |

Terms and Conditions

INTRODUCTION

1. The publisher for this copyrighted material is Elsevier. By clicking "accept" in connection with completing this licensing transaction, you agree that the following terms and conditions apply to this transaction (along with the Billing and Payment terms and conditions established by Copyright Clearance Center, Inc. ("CCC"), at the time that you opened your Rightslink account and that are available at any time at <http://myaccount.copyright.com>).

GENERAL TERMS

2. Elsevier hereby grants you permission to reproduce the aforementioned material subject to the terms and conditions indicated.

3. Acknowledgement: If any part of the material to be used (for example, figures) has appeared in our publication with credit or acknowledgement to another source, permission must also be sought from that source. If such permission is not obtained then that material may not be included in your publication/copies. Suitable acknowledgement to the source must be made, either as a footnote or in a reference list at the end of your publication, as follows:

“Reprinted from Publication title, Vol /edition number, Author(s), Title of article / title of chapter, Pages No., Copyright (Year), with permission from Elsevier [OR APPLICABLE SOCIETY COPYRIGHT OWNER].” Also Lancet special credit - “Reprinted from The Lancet, Vol. number, Author(s), Title of article, Pages No., Copyright (Year), with permission from Elsevier.”

4. Reproduction of this material is confined to the purpose and/or media for which permission is hereby given.

5. Altering/Modifying Material: Not Permitted. However figures and illustrations may be altered/adapted minimally to serve your work. Any other abbreviations, additions, deletions and/or any other alterations shall be made only with prior written authorization of Elsevier Ltd. (Please contact Elsevier at permissions@elsevier.com)

6. If the permission fee for the requested use of our material is waived in this instance, please be advised that your future requests for Elsevier materials may attract a fee.

7. Reservation of Rights: Publisher reserves all rights not specifically granted in the combination of (i) the license details provided by you and accepted in the course of this licensing transaction, (ii) these terms and conditions and (iii) CCC's Billing and Payment terms and conditions.

8. **License Contingent Upon Payment:** While you may exercise the rights licensed immediately upon issuance of the license at the end of the licensing process for the transaction, provided that you have disclosed complete and accurate details of your proposed use, no license is finally effective unless and until full payment is received from you (either by publisher or by CCC) as provided in CCC's Billing and Payment terms and conditions. If full payment is not received on a timely basis, then any license preliminarily granted shall be deemed automatically revoked and shall be void as if never granted. Further, in the event that you breach any of these terms and conditions or any of CCC's Billing and Payment terms and conditions, the license is automatically revoked and shall be void as if never granted. Use of materials as described in a revoked license, as well as any use of the materials beyond the scope of an unrevoked license, may constitute copyright infringement and publisher reserves the right to take any and all action to protect its copyright in the materials.

9. **Warranties:** Publisher makes no representations or warranties with respect to the licensed material.

10. **Indemnity:** You hereby indemnify and agree to hold harmless publisher and CCC, and their respective officers, directors, employees and agents, from and against any and all claims arising out of your use of the licensed material other than as specifically authorized pursuant to this license.

11. **No Transfer of License:** This license is personal to you and may not be sublicensed, assigned, or transferred by you to any other person without publisher's written permission.

12. **No Amendment Except in Writing:** This license may not be amended except in a writing signed by both parties (or, in the case of publisher, by CCC on publisher's behalf).

13. **Objection to Contrary Terms:** Publisher hereby objects to any terms contained in any purchase order, acknowledgment, check endorsement or other writing prepared by you, which terms are inconsistent with these terms and conditions or CCC's Billing and Payment terms and conditions. These terms and conditions, together with CCC's Billing and Payment terms and conditions (which are incorporated herein), comprise the entire agreement between you and publisher (and CCC) concerning this licensing transaction. In the event of any conflict between your obligations established by these terms and conditions and those established by CCC's Billing and Payment terms and conditions, these terms and conditions shall control.

14. **Revocation:** Elsevier or Copyright Clearance Center may deny the permissions described in this License at their sole discretion, for any reason or no reason, with a full refund payable to you. Notice of such denial will be made using the contact information provided by you. Failure to receive such notice will not alter or invalidate the denial. In no event will Elsevier or Copyright Clearance Center be responsible or liable for any costs, expenses or damage incurred by you as a result of a denial of your permission request, other than a refund of the amount(s) paid by you to Elsevier and/or Copyright Clearance Center for denied permissions.

LIMITED LICENSE

The following terms and conditions apply only to specific license types:

15. **Translation:** This permission is granted for non-exclusive world **English** rights only unless your license was granted for translation rights. If you licensed translation rights you may only translate this content into the languages you requested. A professional translator must perform all translations and reproduce the content word for word preserving the

integrity of the article. If this license is to re-use 1 or 2 figures then permission is granted for non-exclusive world rights in all languages.

16. Posting licensed content on any Website: The following terms and conditions apply as follows: Licensing material from an Elsevier journal: All content posted to the web site must maintain the copyright information line on the bottom of each image; A hyper-text must be included to the Homepage of the journal from which you are licensing at <http://www.sciencedirect.com/science/journal/xxxxx> or the Elsevier homepage for books at <http://www.elsevier.com>; Central Storage: This license does not include permission for a scanned version of the material to be stored in a central repository such as that provided by Heron/XanEdu.

Licensing material from an Elsevier book: A hyper-text link must be included to the Elsevier homepage at <http://www.elsevier.com>. All content posted to the web site must maintain the copyright information line on the bottom of each image.

Posting licensed content on Electronic reserve: In addition to the above the following clauses are applicable: The web site must be password-protected and made available only to bona fide students registered on a relevant course. This permission is granted for 1 year only. You may obtain a new license for future website posting.

17. For journal authors: the following clauses are applicable in addition to the above: Permission granted is limited to the author accepted manuscript version* of your paper.

***Accepted Author Manuscript (AAM) Definition:** An accepted author manuscript (AAM) is the author's version of the manuscript of an article that has been accepted for publication and which may include any author-incorporated changes suggested through the processes of submission processing, peer review, and editor-author communications. AAMs do not include other publisher value-added contributions such as copy-editing, formatting, technical enhancements and (if relevant) pagination.

You are not allowed to download and post the published journal article (whether PDF or HTML, proof or final version), nor may you scan the printed edition to create an electronic version. A hyper-text must be included to the Homepage of the journal from which you are licensing at <http://www.sciencedirect.com/science/journal/xxxxx>. As part of our normal production process, you will receive an e-mail notice when your article appears on Elsevier's online service ScienceDirect (www.sciencedirect.com). That e-mail will include the article's Digital Object Identifier (DOI). This number provides the electronic link to the published article and should be included in the posting of your personal version. We ask that you wait until you receive this e-mail and have the DOI to do any posting.

18. Posting to a repository: Authors may post their AAM immediately to their employer's institutional repository for internal use only and may make their manuscript publically available after the journal-specific embargo period has ended.

Please also refer to [Elsevier's Article Posting Policy](#) for further information.

19. For book authors the following clauses are applicable in addition to the above: Authors are permitted to place a brief summary of their work online only.. You are not allowed to download and post the published electronic version of your chapter, nor may you scan the printed edition to create an electronic version. **Posting to a repository:** Authors are permitted to post a summary of their chapter only in their institution's repository.

20. Thesis/Dissertation: If your license is for use in a thesis/dissertation your thesis may be submitted to your institution in either print or electronic form. Should your thesis be

published commercially, please reapply for permission. These requirements include permission for the Library and Archives of Canada to supply single copies, on demand, of the complete thesis and include permission for Proquest/UMI to supply single copies, on demand, of the complete thesis. Should your thesis be published commercially, please reapply for permission.

Elsevier Open Access Terms and Conditions

Elsevier publishes Open Access articles in both its Open Access journals and via its Open Access articles option in subscription journals.

Authors publishing in an Open Access journal or who choose to make their article Open Access in an Elsevier subscription journal select one of the following Creative Commons user licenses, which define how a reader may reuse their work: Creative Commons Attribution License (CC BY), Creative Commons Attribution – Non Commercial - ShareAlike (CC BY NC SA) and Creative Commons Attribution – Non Commercial – No Derivatives (CC BY NC ND)

Terms & Conditions applicable to all Elsevier Open Access articles:

Any reuse of the article must not represent the author as endorsing the adaptation of the article nor should the article be modified in such a way as to damage the author's honour or reputation.

The author(s) must be appropriately credited.

If any part of the material to be used (for example, figures) has appeared in our publication with credit or acknowledgement to another source it is the responsibility of the user to ensure their reuse complies with the terms and conditions determined by the rights holder.

Additional Terms & Conditions applicable to each Creative Commons user license:

CC BY: You may distribute and copy the article, create extracts, abstracts, and other revised versions, adaptations or derivative works of or from an article (such as a translation), to include in a collective work (such as an anthology), to text or data mine the article, including for commercial purposes without permission from Elsevier

CC BY NC SA: For non-commercial purposes you may distribute and copy the article, create extracts, abstracts and other revised versions, adaptations or derivative works of or from an article (such as a translation), to include in a collective work (such as an anthology), to text and data mine the article and license new adaptations or creations under identical terms without permission from Elsevier

CC BY NC ND: For non-commercial purposes you may distribute and copy the article and include it in a collective work (such as an anthology), provided you do not alter or modify the article, without permission from Elsevier

Any commercial reuse of Open Access articles published with a CC BY NC SA or CC BY NC ND license requires permission from Elsevier and will be subject to a fee.

Commercial reuse includes:

- Promotional purposes (advertising or marketing)

- Commercial exploitation (e.g. a product for sale or loan)
- Systematic distribution (for a fee or free of charge)

Please refer to [Elsevier's Open Access Policy](#) for further information.

21. Other Conditions:

v1.7

Questions? customercare@copyright.com or +1-855-239-3415 (toll free in the US) or +1-978-646-2777.

Gratis licenses (referencing \$0 in the Total field) are free. Please retain this printable license for your reference. No payment is required.

Management and Understanding of Rolling Contact Fatigue
WP1: Mechanisms of Crack Initiation
WP2: Crack Growth
Literature Survey

Report prepared for Rail Safety & Standards Board by

Newcastle University:

Prof. A Kapoor
Dr. D. I. Fletcher
Dr. F. J. Franklin

AEA Technology Rail:

Mr A E Beagles
Dr Mark Burstow

Corus Railway Technologies:

Dr. R. Allen
Mr G. Evans
Dr J Jaiswal

Report status: Initial draft February 2005; revised July 2006.

© Copyright 2006 Rail Safety and Standards Board.

This publication may be reproduced free of charge for research, private study or for internal circulation within an organisation. This is subject to it being reproduced and referenced accurately and not being used in a misleading context. The material must be acknowledged as the copyright of Rail Safety and Standards Board and the title of the publication specified accordingly. For any other use of the material please apply to RSSB's Head of Research and Development for permission.

Any additional queries can be directed to research@rssb.co.uk.
This publication can be accessed via the RSSB website www.rssb.co.uk.

ELSEVIER LICENSE TERMS AND CONDITIONS

Mar 08, 2015

This is a License Agreement between Fidel Salas Vicente ("You") and Elsevier ("Elsevier") provided by Copyright Clearance Center ("CCC"). The license consists of your order details, the terms and conditions provided by Elsevier, and the payment terms and conditions.

All payments must be made in full to CCC. For payment instructions, please see information listed at the bottom of this form.

| | |
|--|---|
| Supplier | Elsevier Limited The Boulevard,Langford Lane Kidlington,Oxford,OX5 1GB,UK |
| Registered Company Number | 1982084 |
| Customer name | Fidel Salas Vicente |
| Customer address | Avda. Castellón, 5 Geldo, Castellón 12412 |
| License number | 3584300622397 |
| License date | Mar 08, 2015 |
| Licensed content publisher | Elsevier |
| Licensed content publication | Wear |
| Licensed content title | Mapping rail wear regimes and transitions |
| Licensed content author | None |
| Licensed content date | October 2004 |
| Licensed content volume number | 257 |
| Licensed content issue number | 7-8 |
| Number of pages | 9 |
| Start Page | 721 |
| End Page | 729 |
| Type of Use | reuse in a thesis/dissertation |
| Intended publisher of new work | other |
| Portion | figures/tables/illustrations |
| Number of figures/tables/illustrations | 1 |
| Format | both print and electronic |
| Are you the author of this Elsevier article? | No |
| Will you be translating? | No |
| Original figure numbers | Figure 2 |
| Title of your | Investigación y modelización de la adherencia, el desgaste y la |

| | |
|----------------------------------|--|
| thesis/dissertation | fenomenología de daño asociada a la rodadura en contactos rueda-carril de aceros al carbono y bainíticos |
| Expected completion date | May 2015 |
| Estimated size (number of pages) | 440 |
| Elsevier VAT number | GB 494 6272 12 |
| Permissions price | 0.00 EUR |
| VAT/Local Sales Tax | 0.00 USD / 0.00 GBP |
| Total | 0.00 EUR |
| Terms and Conditions | |

INTRODUCTION

1. The publisher for this copyrighted material is Elsevier. By clicking "accept" in connection with completing this licensing transaction, you agree that the following terms and conditions apply to this transaction (along with the Billing and Payment terms and conditions established by Copyright Clearance Center, Inc. ("CCC"), at the time that you opened your Rightslink account and that are available at any time at <http://myaccount.copyright.com>).

GENERAL TERMS

2. Elsevier hereby grants you permission to reproduce the aforementioned material subject to the terms and conditions indicated.

3. Acknowledgement: If any part of the material to be used (for example, figures) has appeared in our publication with credit or acknowledgement to another source, permission must also be sought from that source. If such permission is not obtained then that material may not be included in your publication/copies. Suitable acknowledgement to the source must be made, either as a footnote or in a reference list at the end of your publication, as follows:

"Reprinted from Publication title, Vol /edition number, Author(s), Title of article / title of chapter, Pages No., Copyright (Year), with permission from Elsevier [OR APPLICABLE SOCIETY COPYRIGHT OWNER]." Also Lancet special credit - "Reprinted from The Lancet, Vol. number, Author(s), Title of article, Pages No., Copyright (Year), with permission from Elsevier."

4. Reproduction of this material is confined to the purpose and/or media for which permission is hereby given.

5. Altering/Modifying Material: Not Permitted. However figures and illustrations may be altered/adapted minimally to serve your work. Any other abbreviations, additions, deletions and/or any other alterations shall be made only with prior written authorization of Elsevier Ltd. (Please contact Elsevier at permissions@elsevier.com)

6. If the permission fee for the requested use of our material is waived in this instance, please be advised that your future requests for Elsevier materials may attract a fee.

7. Reservation of Rights: Publisher reserves all rights not specifically granted in the combination of (i) the license details provided by you and accepted in the course of this licensing transaction, (ii) these terms and conditions and (iii) CCC's Billing and Payment terms and conditions.

8. **License Contingent Upon Payment:** While you may exercise the rights licensed immediately upon issuance of the license at the end of the licensing process for the transaction, provided that you have disclosed complete and accurate details of your proposed use, no license is finally effective unless and until full payment is received from you (either by publisher or by CCC) as provided in CCC's Billing and Payment terms and conditions. If full payment is not received on a timely basis, then any license preliminarily granted shall be deemed automatically revoked and shall be void as if never granted. Further, in the event that you breach any of these terms and conditions or any of CCC's Billing and Payment terms and conditions, the license is automatically revoked and shall be void as if never granted. Use of materials as described in a revoked license, as well as any use of the materials beyond the scope of an unrevoked license, may constitute copyright infringement and publisher reserves the right to take any and all action to protect its copyright in the materials.

9. **Warranties:** Publisher makes no representations or warranties with respect to the licensed material.

10. **Indemnity:** You hereby indemnify and agree to hold harmless publisher and CCC, and their respective officers, directors, employees and agents, from and against any and all claims arising out of your use of the licensed material other than as specifically authorized pursuant to this license.

11. **No Transfer of License:** This license is personal to you and may not be sublicensed, assigned, or transferred by you to any other person without publisher's written permission.

12. **No Amendment Except in Writing:** This license may not be amended except in a writing signed by both parties (or, in the case of publisher, by CCC on publisher's behalf).

13. **Objection to Contrary Terms:** Publisher hereby objects to any terms contained in any purchase order, acknowledgment, check endorsement or other writing prepared by you, which terms are inconsistent with these terms and conditions or CCC's Billing and Payment terms and conditions. These terms and conditions, together with CCC's Billing and Payment terms and conditions (which are incorporated herein), comprise the entire agreement between you and publisher (and CCC) concerning this licensing transaction. In the event of any conflict between your obligations established by these terms and conditions and those established by CCC's Billing and Payment terms and conditions, these terms and conditions shall control.

14. **Revocation:** Elsevier or Copyright Clearance Center may deny the permissions described in this License at their sole discretion, for any reason or no reason, with a full refund payable to you. Notice of such denial will be made using the contact information provided by you. Failure to receive such notice will not alter or invalidate the denial. In no event will Elsevier or Copyright Clearance Center be responsible or liable for any costs, expenses or damage incurred by you as a result of a denial of your permission request, other than a refund of the amount(s) paid by you to Elsevier and/or Copyright Clearance Center for denied permissions.

LIMITED LICENSE

The following terms and conditions apply only to specific license types:

15. **Translation:** This permission is granted for non-exclusive world **English** rights only unless your license was granted for translation rights. If you licensed translation rights you may only translate this content into the languages you requested. A professional translator must perform all translations and reproduce the content word for word preserving the

integrity of the article. If this license is to re-use 1 or 2 figures then permission is granted for non-exclusive world rights in all languages.

16. Posting licensed content on any Website: The following terms and conditions apply as follows: Licensing material from an Elsevier journal: All content posted to the web site must maintain the copyright information line on the bottom of each image; A hyper-text must be included to the Homepage of the journal from which you are licensing at <http://www.sciencedirect.com/science/journal/xxxxx> or the Elsevier homepage for books at <http://www.elsevier.com>; Central Storage: This license does not include permission for a scanned version of the material to be stored in a central repository such as that provided by Heron/XanEdu.

Licensing material from an Elsevier book: A hyper-text link must be included to the Elsevier homepage at <http://www.elsevier.com> . All content posted to the web site must maintain the copyright information line on the bottom of each image.

Posting licensed content on Electronic reserve: In addition to the above the following clauses are applicable: The web site must be password-protected and made available only to bona fide students registered on a relevant course. This permission is granted for 1 year only. You may obtain a new license for future website posting.

17. For journal authors: the following clauses are applicable in addition to the above:

Preprints:

A preprint is an author's own write-up of research results and analysis, it has not been peer-reviewed, nor has it had any other value added to it by a publisher (such as formatting, copyright, technical enhancement etc.).

Authors can share their preprints anywhere at any time. Preprints should not be added to or enhanced in any way in order to appear more like, or to substitute for, the final versions of articles however authors can update their preprints on arXiv or RePEc with their Accepted Author Manuscript (see below).

If accepted for publication, we encourage authors to link from the preprint to their formal publication via its DOI. Millions of researchers have access to the formal publications on ScienceDirect, and so links will help users to find, access, cite and use the best available version. Please note that Cell Press, The Lancet and some society-owned have different preprint policies. Information on these policies is available on the journal homepage.

Accepted Author Manuscripts: An accepted author manuscript is the manuscript of an article that has been accepted for publication and which typically includes author-incorporated changes suggested during submission, peer review and editor-author communications.

Authors can share their accepted author manuscript:

- immediately
 - via their non-commercial person homepage or blog
 - by updating a preprint in arXiv or RePEc with the accepted manuscript
 - via their research institute or institutional repository for internal institutional

uses or as part of an invitation-only research collaboration work-group

- directly by providing copies to their students or to research collaborators for their personal use
 - for private scholarly sharing as part of an invitation-only work group on commercial sites with which Elsevier has an agreement
- after the embargo period
- via non-commercial hosting platforms such as their institutional repository
 - via commercial sites with which Elsevier has an agreement

In all cases accepted manuscripts should:

- link to the formal publication via its DOI
- bear a CC-BY-NC-ND license - this is easy to do
- if aggregated with other manuscripts, for example in a repository or other site, be shared in alignment with our hosting policy not be added to or enhanced in any way to appear more like, or to substitute for, the published journal article.

Published journal article (JPA): A published journal article (PJA) is the definitive final record of published research that appears or will appear in the journal and embodies all value-adding publishing activities including peer review co-ordination, copy-editing, formatting, (if relevant) pagination and online enrichment.

Policies for sharing publishing journal articles differ for subscription and gold open access articles:

Subscription Articles: If you are an author, please share a link to your article rather than the full-text. Millions of researchers have access to the formal publications on ScienceDirect, and so links will help your users to find, access, cite, and use the best available version.

Theses and dissertations which contain embedded PJAs as part of the formal submission can be posted publicly by the awarding institution with DOI links back to the formal publications on ScienceDirect.

If you are affiliated with a library that subscribes to ScienceDirect you have additional private sharing rights for others' research accessed under that agreement. This includes use for classroom teaching and internal training at the institution (including use in course packs and courseware programs), and inclusion of the article for grant funding purposes.

Gold Open Access Articles: May be shared according to the author-selected end-user license and should contain a [CrossMark logo](#), the end user license, and a DOI link to the formal publication on ScienceDirect.

Please refer to Elsevier's [posting policy](#) for further information.

18. **For book authors** the following clauses are applicable in addition to the above: Authors are permitted to place a brief summary of their work online only. You are not allowed to download and post the published electronic version of your chapter, nor may you scan the printed edition to create an electronic version. **Posting to a repository:** Authors are

permitted to post a summary of their chapter only in their institution's repository.

19. Thesis/Dissertation: If your license is for use in a thesis/dissertation your thesis may be submitted to your institution in either print or electronic form. Should your thesis be published commercially, please reapply for permission. These requirements include permission for the Library and Archives of Canada to supply single copies, on demand, of the complete thesis and include permission for Proquest/UMI to supply single copies, on demand, of the complete thesis. Should your thesis be published commercially, please reapply for permission. Theses and dissertations which contain embedded PJAs as part of the formal submission can be posted publicly by the awarding institution with DOI links back to the formal publications on ScienceDirect.

Elsevier Open Access Terms and Conditions

You can publish open access with Elsevier in hundreds of open access journals or in nearly 2000 established subscription journals that support open access publishing. Permitted third party re-use of these open access articles is defined by the author's choice of Creative Commons user license. See our [open access license policy](#) for more information.

Terms & Conditions applicable to all Open Access articles published with Elsevier:

Any reuse of the article must not represent the author as endorsing the adaptation of the article nor should the article be modified in such a way as to damage the author's honour or reputation. If any changes have been made, such changes must be clearly indicated.

The author(s) must be appropriately credited and we ask that you include the end user license and a DOI link to the formal publication on ScienceDirect.

If any part of the material to be used (for example, figures) has appeared in our publication with credit or acknowledgement to another source it is the responsibility of the user to ensure their reuse complies with the terms and conditions determined by the rights holder.

Additional Terms & Conditions applicable to each Creative Commons user license:

CC BY: The CC-BY license allows users to copy, to create extracts, abstracts and new works from the Article, to alter and revise the Article and to make commercial use of the Article (including reuse and/or resale of the Article by commercial entities), provided the user gives appropriate credit (with a link to the formal publication through the relevant DOI), provides a link to the license, indicates if changes were made and the licensor is not represented as endorsing the use made of the work. The full details of the license are available at <http://creativecommons.org/licenses/by/4.0>.

CC BY NC SA: The CC BY-NC-SA license allows users to copy, to create extracts, abstracts and new works from the Article, to alter and revise the Article, provided this is not done for commercial purposes, and that the user gives appropriate credit (with a link to the formal publication through the relevant DOI), provides a link to the license, indicates if changes were made and the licensor is not represented as endorsing the use made of the work. Further, any new works must be made available on the same conditions. The full details of the license are available at <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0>.

CC BY NC ND: The CC BY-NC-ND license allows users to copy and distribute the Article, provided this is not done for commercial purposes and further does not permit distribution of the Article if it is changed or edited in any way, and provided the user gives appropriate

credit (with a link to the formal publication through the relevant DOI), provides a link to the license, and that the licensor is not represented as endorsing the use made of the work. The full details of the license are available at <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0>. Any commercial reuse of Open Access articles published with a CC BY NC SA or CC BY NC ND license requires permission from Elsevier and will be subject to a fee.

Commercial reuse includes:

- Associating advertising with the full text of the Article
- Charging fees for document delivery or access
- Article aggregation
- Systematic distribution via e-mail lists or share buttons

Posting or linking by commercial companies for use by customers of those companies.

20. Other Conditions:

Questions? customercare@copyright.com or +1-855-239-3415 (toll free in the US) or +1-978-646-2777.

Gratis licenses (referencing \$0 in the Total field) are free. Please retain this printable license for your reference. No payment is required.

ELSEVIER LICENSE TERMS AND CONDITIONS

Feb 21, 2015

This is a License Agreement between Fidel Salas Vicente ("You") and Elsevier ("Elsevier") provided by Copyright Clearance Center ("CCC"). The license consists of your order details, the terms and conditions provided by Elsevier, and the payment terms and conditions.

All payments must be made in full to CCC. For payment instructions, please see information listed at the bottom of this form.

| | |
|--|---|
| Supplier | Elsevier Limited The Boulevard,Langford Lane Kidlington,Oxford,OX5 1GB,UK |
| Registered Company Number | 1982084 |
| Customer name | Fidel Salas Vicente |
| Customer address | Avda. Castellón, 5 Geldo, Castellón 12412 |
| License number | 3573651244673 |
| License date | Feb 21, 2015 |
| Licensed content publisher | Elsevier |
| Licensed content publication | Wear |
| Licensed content title | Mapping rail wear regimes and transitions |
| Licensed content author | None |
| Licensed content date | October 2004 |
| Licensed content volume number | 257 |
| Licensed content issue number | 7-8 |
| Number of pages | 9 |
| Start Page | 721 |
| End Page | 729 |
| Type of Use | reuse in a thesis/dissertation |
| Intended publisher of new work | other |
| Portion | figures/tables/illustrations |
| Number of figures/tables/illustrations | 2 |
| Format | both print and electronic |
| Are you the author of this Elsevier article? | No |
| Will you be translating? | No |
| Original figure numbers | Figures 5 and 7 |
| Title of your | Investigación y modelización de la adherencia, el desgaste y la |

| | |
|--------------------------------------|--|
| thesis/dissertation | fenomenología de daño asociada a la rodadura en contactos rueda-carril de aceros al carbono y bainíticos |
| Expected completion date | May 2015 |
| Estimated size (number of pages) | 440 |
| Elsevier VAT number | GB 494 6272 12 |
| Permissions price | 0.00 EUR |
| VAT/Local Sales Tax | 0.00 EUR / 0.00 GBP |
| Total | 0.00 EUR |
| Terms and Conditions | |

INTRODUCTION

1. The publisher for this copyrighted material is Elsevier. By clicking "accept" in connection with completing this licensing transaction, you agree that the following terms and conditions apply to this transaction (along with the Billing and Payment terms and conditions established by Copyright Clearance Center, Inc. ("CCC"), at the time that you opened your Rightslink account and that are available at any time at <http://myaccount.copyright.com>).

GENERAL TERMS

2. Elsevier hereby grants you permission to reproduce the aforementioned material subject to the terms and conditions indicated.

3. Acknowledgement: If any part of the material to be used (for example, figures) has appeared in our publication with credit or acknowledgement to another source, permission must also be sought from that source. If such permission is not obtained then that material may not be included in your publication/copies. Suitable acknowledgement to the source must be made, either as a footnote or in a reference list at the end of your publication, as follows:

“Reprinted from Publication title, Vol /edition number, Author(s), Title of article / title of chapter, Pages No., Copyright (Year), with permission from Elsevier [OR APPLICABLE SOCIETY COPYRIGHT OWNER].” Also Lancet special credit - “Reprinted from The Lancet, Vol. number, Author(s), Title of article, Pages No., Copyright (Year), with permission from Elsevier.”

4. Reproduction of this material is confined to the purpose and/or media for which permission is hereby given.

5. Altering/Modifying Material: Not Permitted. However figures and illustrations may be altered/adapted minimally to serve your work. Any other abbreviations, additions, deletions and/or any other alterations shall be made only with prior written authorization of Elsevier Ltd. (Please contact Elsevier at permissions@elsevier.com)

6. If the permission fee for the requested use of our material is waived in this instance, please be advised that your future requests for Elsevier materials may attract a fee.

7. Reservation of Rights: Publisher reserves all rights not specifically granted in the combination of (i) the license details provided by you and accepted in the course of this licensing transaction, (ii) these terms and conditions and (iii) CCC's Billing and Payment terms and conditions.

8. **License Contingent Upon Payment:** While you may exercise the rights licensed immediately upon issuance of the license at the end of the licensing process for the transaction, provided that you have disclosed complete and accurate details of your proposed use, no license is finally effective unless and until full payment is received from you (either by publisher or by CCC) as provided in CCC's Billing and Payment terms and conditions. If full payment is not received on a timely basis, then any license preliminarily granted shall be deemed automatically revoked and shall be void as if never granted. Further, in the event that you breach any of these terms and conditions or any of CCC's Billing and Payment terms and conditions, the license is automatically revoked and shall be void as if never granted. Use of materials as described in a revoked license, as well as any use of the materials beyond the scope of an unrevoked license, may constitute copyright infringement and publisher reserves the right to take any and all action to protect its copyright in the materials.

9. **Warranties:** Publisher makes no representations or warranties with respect to the licensed material.

10. **Indemnity:** You hereby indemnify and agree to hold harmless publisher and CCC, and their respective officers, directors, employees and agents, from and against any and all claims arising out of your use of the licensed material other than as specifically authorized pursuant to this license.

11. **No Transfer of License:** This license is personal to you and may not be sublicensed, assigned, or transferred by you to any other person without publisher's written permission.

12. **No Amendment Except in Writing:** This license may not be amended except in a writing signed by both parties (or, in the case of publisher, by CCC on publisher's behalf).

13. **Objection to Contrary Terms:** Publisher hereby objects to any terms contained in any purchase order, acknowledgment, check endorsement or other writing prepared by you, which terms are inconsistent with these terms and conditions or CCC's Billing and Payment terms and conditions. These terms and conditions, together with CCC's Billing and Payment terms and conditions (which are incorporated herein), comprise the entire agreement between you and publisher (and CCC) concerning this licensing transaction. In the event of any conflict between your obligations established by these terms and conditions and those established by CCC's Billing and Payment terms and conditions, these terms and conditions shall control.

14. **Revocation:** Elsevier or Copyright Clearance Center may deny the permissions described in this License at their sole discretion, for any reason or no reason, with a full refund payable to you. Notice of such denial will be made using the contact information provided by you. Failure to receive such notice will not alter or invalidate the denial. In no event will Elsevier or Copyright Clearance Center be responsible or liable for any costs, expenses or damage incurred by you as a result of a denial of your permission request, other than a refund of the amount(s) paid by you to Elsevier and/or Copyright Clearance Center for denied permissions.

LIMITED LICENSE

The following terms and conditions apply only to specific license types:

15. **Translation:** This permission is granted for non-exclusive world **English** rights only unless your license was granted for translation rights. If you licensed translation rights you may only translate this content into the languages you requested. A professional translator must perform all translations and reproduce the content word for word preserving the

integrity of the article. If this license is to re-use 1 or 2 figures then permission is granted for non-exclusive world rights in all languages.

16. Posting licensed content on any Website: The following terms and conditions apply as follows: Licensing material from an Elsevier journal: All content posted to the web site must maintain the copyright information line on the bottom of each image; A hyper-text must be included to the Homepage of the journal from which you are licensing at <http://www.sciencedirect.com/science/journal/xxxxx> or the Elsevier homepage for books at <http://www.elsevier.com>; Central Storage: This license does not include permission for a scanned version of the material to be stored in a central repository such as that provided by Heron/XanEdu.

Licensing material from an Elsevier book: A hyper-text link must be included to the Elsevier homepage at <http://www.elsevier.com>. All content posted to the web site must maintain the copyright information line on the bottom of each image.

Posting licensed content on Electronic reserve: In addition to the above the following clauses are applicable: The web site must be password-protected and made available only to bona fide students registered on a relevant course. This permission is granted for 1 year only. You may obtain a new license for future website posting.

17. For journal authors: the following clauses are applicable in addition to the above: Permission granted is limited to the author accepted manuscript version* of your paper.

***Accepted Author Manuscript (AAM) Definition:** An accepted author manuscript (AAM) is the author's version of the manuscript of an article that has been accepted for publication and which may include any author-incorporated changes suggested through the processes of submission processing, peer review, and editor-author communications. AAMs do not include other publisher value-added contributions such as copy-editing, formatting, technical enhancements and (if relevant) pagination.

You are not allowed to download and post the published journal article (whether PDF or HTML, proof or final version), nor may you scan the printed edition to create an electronic version. A hyper-text must be included to the Homepage of the journal from which you are licensing at <http://www.sciencedirect.com/science/journal/xxxxx>. As part of our normal production process, you will receive an e-mail notice when your article appears on Elsevier's online service ScienceDirect (www.sciencedirect.com). That e-mail will include the article's Digital Object Identifier (DOI). This number provides the electronic link to the published article and should be included in the posting of your personal version. We ask that you wait until you receive this e-mail and have the DOI to do any posting.

18. Posting to a repository: Authors may post their AAM immediately to their employer's institutional repository for internal use only and may make their manuscript publically available after the journal-specific embargo period has ended.

Please also refer to [Elsevier's Article Posting Policy](#) for further information.

19. For book authors the following clauses are applicable in addition to the above: Authors are permitted to place a brief summary of their work online only.. You are not allowed to download and post the published electronic version of your chapter, nor may you scan the printed edition to create an electronic version. **Posting to a repository:** Authors are permitted to post a summary of their chapter only in their institution's repository.

20. Thesis/Dissertation: If your license is for use in a thesis/dissertation your thesis may be submitted to your institution in either print or electronic form. Should your thesis be

published commercially, please reapply for permission. These requirements include permission for the Library and Archives of Canada to supply single copies, on demand, of the complete thesis and include permission for Proquest/UMI to supply single copies, on demand, of the complete thesis. Should your thesis be published commercially, please reapply for permission.

Elsevier Open Access Terms and Conditions

Elsevier publishes Open Access articles in both its Open Access journals and via its Open Access articles option in subscription journals.

Authors publishing in an Open Access journal or who choose to make their article Open Access in an Elsevier subscription journal select one of the following Creative Commons user licenses, which define how a reader may reuse their work: Creative Commons Attribution License (CC BY), Creative Commons Attribution – Non Commercial - ShareAlike (CC BY NC SA) and Creative Commons Attribution – Non Commercial – No Derivatives (CC BY NC ND)

Terms & Conditions applicable to all Elsevier Open Access articles:

Any reuse of the article must not represent the author as endorsing the adaptation of the article nor should the article be modified in such a way as to damage the author's honour or reputation.

The author(s) must be appropriately credited.

If any part of the material to be used (for example, figures) has appeared in our publication with credit or acknowledgement to another source it is the responsibility of the user to ensure their reuse complies with the terms and conditions determined by the rights holder.

Additional Terms & Conditions applicable to each Creative Commons user license:

CC BY: You may distribute and copy the article, create extracts, abstracts, and other revised versions, adaptations or derivative works of or from an article (such as a translation), to include in a collective work (such as an anthology), to text or data mine the article, including for commercial purposes without permission from Elsevier

CC BY NC SA: For non-commercial purposes you may distribute and copy the article, create extracts, abstracts and other revised versions, adaptations or derivative works of or from an article (such as a translation), to include in a collective work (such as an anthology), to text and data mine the article and license new adaptations or creations under identical terms without permission from Elsevier

CC BY NC ND: For non-commercial purposes you may distribute and copy the article and include it in a collective work (such as an anthology), provided you do not alter or modify the article, without permission from Elsevier

Any commercial reuse of Open Access articles published with a CC BY NC SA or CC BY NC ND license requires permission from Elsevier and will be subject to a fee.

Commercial reuse includes:

- Promotional purposes (advertising or marketing)

- Commercial exploitation (e.g. a product for sale or loan)
- Systematic distribution (for a fee or free of charge)

Please refer to [Elsevier's Open Access Policy](#) for further information.

21. Other Conditions:

v1.7

Questions? customercare@copyright.com or +1-855-239-3415 (toll free in the US) or +1-978-646-2777.

Gratis licenses (referencing \$0 in the Total field) are free. Please retain this printable license for your reference. No payment is required.

ELSEVIER LICENSE TERMS AND CONDITIONS

Mar 05, 2015

This is a License Agreement between Fidel Salas Vicente ("You") and Elsevier ("Elsevier") provided by Copyright Clearance Center ("CCC"). The license consists of your order details, the terms and conditions provided by Elsevier, and the payment terms and conditions.

All payments must be made in full to CCC. For payment instructions, please see information listed at the bottom of this form.

| | |
|--|---|
| Supplier | Elsevier Limited The Boulevard,Langford Lane Kidlington,Oxford,OX5 1GB,UK |
| Registered Company Number | 1982084 |
| Customer name | Fidel Salas Vicente |
| Customer address | Avda. Castellón, 5 Geldo, Castellón 12412 |
| License number | 3582351364478 |
| License date | Mar 05, 2015 |
| Licensed content publisher | Elsevier |
| Licensed content publication | Materials Science and Engineering: A |
| Licensed content title | Microstructure features on rolling surfaces of railway rails subjected to heavy loading |
| Licensed content author | None |
| Licensed content date | 25 October 2003 |
| Licensed content volume number | 359 |
| Licensed content issue number | 1-2 |
| Number of pages | 13 |
| Start Page | 31 |
| End Page | 43 |
| Type of Use | reuse in a thesis/dissertation |
| Intended publisher of new work | other |
| Portion | figures/tables/illustrations |
| Number of figures/tables/illustrations | 2 |
| Format | both print and electronic |
| Are you the author of this Elsevier article? | No |
| Will you be translating? | No |
| Original figure numbers | Figures 5 and 22 |

| | |
|-----------------------------------|--|
| Title of your thesis/dissertation | Investigación y modelización de la adherencia, el desgaste y la fenomenología de daño asociada a la rodadura en contactos rueda-carril de aceros al carbono y bainíticos |
| Expected completion date | May 2015 |
| Estimated size (number of pages) | 440 |
| Elsevier VAT number | GB 494 6272 12 |
| Permissions price | 0.00 EUR |
| VAT/Local Sales Tax | 0.00 EUR / 0.00 GBP |
| Total | 0.00 EUR |

Terms and Conditions

INTRODUCTION

1. The publisher for this copyrighted material is Elsevier. By clicking "accept" in connection with completing this licensing transaction, you agree that the following terms and conditions apply to this transaction (along with the Billing and Payment terms and conditions established by Copyright Clearance Center, Inc. ("CCC"), at the time that you opened your Rightslink account and that are available at any time at <http://myaccount.copyright.com>).

GENERAL TERMS

2. Elsevier hereby grants you permission to reproduce the aforementioned material subject to the terms and conditions indicated.

3. Acknowledgement: If any part of the material to be used (for example, figures) has appeared in our publication with credit or acknowledgement to another source, permission must also be sought from that source. If such permission is not obtained then that material may not be included in your publication/copies. Suitable acknowledgement to the source must be made, either as a footnote or in a reference list at the end of your publication, as follows:

"Reprinted from Publication title, Vol /edition number, Author(s), Title of article / title of chapter, Pages No., Copyright (Year), with permission from Elsevier [OR APPLICABLE SOCIETY COPYRIGHT OWNER]." Also Lancet special credit - "Reprinted from The Lancet, Vol. number, Author(s), Title of article, Pages No., Copyright (Year), with permission from Elsevier."

4. Reproduction of this material is confined to the purpose and/or media for which permission is hereby given.

5. Altering/Modifying Material: Not Permitted. However figures and illustrations may be altered/adapted minimally to serve your work. Any other abbreviations, additions, deletions and/or any other alterations shall be made only with prior written authorization of Elsevier Ltd. (Please contact Elsevier at permissions@elsevier.com)

6. If the permission fee for the requested use of our material is waived in this instance, please be advised that your future requests for Elsevier materials may attract a fee.

7. Reservation of Rights: Publisher reserves all rights not specifically granted in the combination of (i) the license details provided by you and accepted in the course of this licensing transaction, (ii) these terms and conditions and (iii) CCC's Billing and Payment terms and conditions.

8. **License Contingent Upon Payment:** While you may exercise the rights licensed immediately upon issuance of the license at the end of the licensing process for the transaction, provided that you have disclosed complete and accurate details of your proposed use, no license is finally effective unless and until full payment is received from you (either by publisher or by CCC) as provided in CCC's Billing and Payment terms and conditions. If full payment is not received on a timely basis, then any license preliminarily granted shall be deemed automatically revoked and shall be void as if never granted. Further, in the event that you breach any of these terms and conditions or any of CCC's Billing and Payment terms and conditions, the license is automatically revoked and shall be void as if never granted. Use of materials as described in a revoked license, as well as any use of the materials beyond the scope of an unrevoked license, may constitute copyright infringement and publisher reserves the right to take any and all action to protect its copyright in the materials.

9. **Warranties:** Publisher makes no representations or warranties with respect to the licensed material.

10. **Indemnity:** You hereby indemnify and agree to hold harmless publisher and CCC, and their respective officers, directors, employees and agents, from and against any and all claims arising out of your use of the licensed material other than as specifically authorized pursuant to this license.

11. **No Transfer of License:** This license is personal to you and may not be sublicensed, assigned, or transferred by you to any other person without publisher's written permission.

12. **No Amendment Except in Writing:** This license may not be amended except in a writing signed by both parties (or, in the case of publisher, by CCC on publisher's behalf).

13. **Objection to Contrary Terms:** Publisher hereby objects to any terms contained in any purchase order, acknowledgment, check endorsement or other writing prepared by you, which terms are inconsistent with these terms and conditions or CCC's Billing and Payment terms and conditions. These terms and conditions, together with CCC's Billing and Payment terms and conditions (which are incorporated herein), comprise the entire agreement between you and publisher (and CCC) concerning this licensing transaction. In the event of any conflict between your obligations established by these terms and conditions and those established by CCC's Billing and Payment terms and conditions, these terms and conditions shall control.

14. **Revocation:** Elsevier or Copyright Clearance Center may deny the permissions described in this License at their sole discretion, for any reason or no reason, with a full refund payable to you. Notice of such denial will be made using the contact information provided by you. Failure to receive such notice will not alter or invalidate the denial. In no event will Elsevier or Copyright Clearance Center be responsible or liable for any costs, expenses or damage incurred by you as a result of a denial of your permission request, other than a refund of the amount(s) paid by you to Elsevier and/or Copyright Clearance Center for denied permissions.

LIMITED LICENSE

The following terms and conditions apply only to specific license types:

15. **Translation:** This permission is granted for non-exclusive world **English** rights only unless your license was granted for translation rights. If you licensed translation rights you may only translate this content into the languages you requested. A professional translator must perform all translations and reproduce the content word for word preserving the

integrity of the article. If this license is to re-use 1 or 2 figures then permission is granted for non-exclusive world rights in all languages.

16. Posting licensed content on any Website: The following terms and conditions apply as follows: Licensing material from an Elsevier journal: All content posted to the web site must maintain the copyright information line on the bottom of each image; A hyper-text must be included to the Homepage of the journal from which you are licensing at <http://www.sciencedirect.com/science/journal/xxxxx> or the Elsevier homepage for books at <http://www.elsevier.com>; Central Storage: This license does not include permission for a scanned version of the material to be stored in a central repository such as that provided by Heron/XanEdu.

Licensing material from an Elsevier book: A hyper-text link must be included to the Elsevier homepage at <http://www.elsevier.com> . All content posted to the web site must maintain the copyright information line on the bottom of each image.

Posting licensed content on Electronic reserve: In addition to the above the following clauses are applicable: The web site must be password-protected and made available only to bona fide students registered on a relevant course. This permission is granted for 1 year only. You may obtain a new license for future website posting.

17. For journal authors: the following clauses are applicable in addition to the above:

Preprints:

A preprint is an author's own write-up of research results and analysis, it has not been peer-reviewed, nor has it had any other value added to it by a publisher (such as formatting, copyright, technical enhancement etc.).

Authors can share their preprints anywhere at any time. Preprints should not be added to or enhanced in any way in order to appear more like, or to substitute for, the final versions of articles however authors can update their preprints on arXiv or RePEc with their Accepted Author Manuscript (see below).

If accepted for publication, we encourage authors to link from the preprint to their formal publication via its DOI. Millions of researchers have access to the formal publications on ScienceDirect, and so links will help users to find, access, cite and use the best available version. Please note that Cell Press, The Lancet and some society-owned have different preprint policies. Information on these policies is available on the journal homepage.

Accepted Author Manuscripts: An accepted author manuscript is the manuscript of an article that has been accepted for publication and which typically includes author-incorporated changes suggested during submission, peer review and editor-author communications.

Authors can share their accepted author manuscript:

- immediately
 - via their non-commercial person homepage or blog
 - by updating a preprint in arXiv or RePEc with the accepted manuscript
 - via their research institute or institutional repository for internal institutional

uses or as part of an invitation-only research collaboration work-group

- directly by providing copies to their students or to research collaborators for their personal use
 - for private scholarly sharing as part of an invitation-only work group on commercial sites with which Elsevier has an agreement
- after the embargo period
- via non-commercial hosting platforms such as their institutional repository
 - via commercial sites with which Elsevier has an agreement

In all cases accepted manuscripts should:

- link to the formal publication via its DOI
- bear a CC-BY-NC-ND license - this is easy to do
- if aggregated with other manuscripts, for example in a repository or other site, be shared in alignment with our hosting policy not be added to or enhanced in any way to appear more like, or to substitute for, the published journal article.

Published journal article (JPA): A published journal article (PJA) is the definitive final record of published research that appears or will appear in the journal and embodies all value-adding publishing activities including peer review co-ordination, copy-editing, formatting, (if relevant) pagination and online enrichment.

Policies for sharing publishing journal articles differ for subscription and gold open access articles:

Subscription Articles: If you are an author, please share a link to your article rather than the full-text. Millions of researchers have access to the formal publications on ScienceDirect, and so links will help your users to find, access, cite, and use the best available version.

Theses and dissertations which contain embedded PJAs as part of the formal submission can be posted publicly by the awarding institution with DOI links back to the formal publications on ScienceDirect.

If you are affiliated with a library that subscribes to ScienceDirect you have additional private sharing rights for others' research accessed under that agreement. This includes use for classroom teaching and internal training at the institution (including use in course packs and courseware programs), and inclusion of the article for grant funding purposes.

Gold Open Access Articles: May be shared according to the author-selected end-user license and should contain a [CrossMark logo](#), the end user license, and a DOI link to the formal publication on ScienceDirect.

Please refer to Elsevier's [posting policy](#) for further information.

18. **For book authors** the following clauses are applicable in addition to the above: Authors are permitted to place a brief summary of their work online only. You are not allowed to download and post the published electronic version of your chapter, nor may you scan the printed edition to create an electronic version. **Posting to a repository:** Authors are

permitted to post a summary of their chapter only in their institution's repository.

19. Thesis/Dissertation: If your license is for use in a thesis/dissertation your thesis may be submitted to your institution in either print or electronic form. Should your thesis be published commercially, please reapply for permission. These requirements include permission for the Library and Archives of Canada to supply single copies, on demand, of the complete thesis and include permission for Proquest/UMI to supply single copies, on demand, of the complete thesis. Should your thesis be published commercially, please reapply for permission. Theses and dissertations which contain embedded PJAs as part of the formal submission can be posted publicly by the awarding institution with DOI links back to the formal publications on ScienceDirect.

Elsevier Open Access Terms and Conditions

You can publish open access with Elsevier in hundreds of open access journals or in nearly 2000 established subscription journals that support open access publishing. Permitted third party re-use of these open access articles is defined by the author's choice of Creative Commons user license. See our [open access license policy](#) for more information.

Terms & Conditions applicable to all Open Access articles published with Elsevier:

Any reuse of the article must not represent the author as endorsing the adaptation of the article nor should the article be modified in such a way as to damage the author's honour or reputation. If any changes have been made, such changes must be clearly indicated.

The author(s) must be appropriately credited and we ask that you include the end user license and a DOI link to the formal publication on ScienceDirect.

If any part of the material to be used (for example, figures) has appeared in our publication with credit or acknowledgement to another source it is the responsibility of the user to ensure their reuse complies with the terms and conditions determined by the rights holder.

Additional Terms & Conditions applicable to each Creative Commons user license:

CC BY: The CC-BY license allows users to copy, to create extracts, abstracts and new works from the Article, to alter and revise the Article and to make commercial use of the Article (including reuse and/or resale of the Article by commercial entities), provided the user gives appropriate credit (with a link to the formal publication through the relevant DOI), provides a link to the license, indicates if changes were made and the licensor is not represented as endorsing the use made of the work. The full details of the license are available at <http://creativecommons.org/licenses/by/4.0>.

CC BY NC SA: The CC BY-NC-SA license allows users to copy, to create extracts, abstracts and new works from the Article, to alter and revise the Article, provided this is not done for commercial purposes, and that the user gives appropriate credit (with a link to the formal publication through the relevant DOI), provides a link to the license, indicates if changes were made and the licensor is not represented as endorsing the use made of the work. Further, any new works must be made available on the same conditions. The full details of the license are available at <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0>.

CC BY NC ND: The CC BY-NC-ND license allows users to copy and distribute the Article, provided this is not done for commercial purposes and further does not permit distribution of the Article if it is changed or edited in any way, and provided the user gives appropriate

credit (with a link to the formal publication through the relevant DOI), provides a link to the license, and that the licensor is not represented as endorsing the use made of the work. The full details of the license are available at <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0>. Any commercial reuse of Open Access articles published with a CC BY NC SA or CC BY NC ND license requires permission from Elsevier and will be subject to a fee.

Commercial reuse includes:

- Associating advertising with the full text of the Article
- Charging fees for document delivery or access
- Article aggregation
- Systematic distribution via e-mail lists or share buttons

Posting or linking by commercial companies for use by customers of those companies.

20. Other Conditions:

Questions? customercare@copyright.com or +1-855-239-3415 (toll free in the US) or +1-978-646-2777.

Gratis licenses (referencing \$0 in the Total field) are free. Please retain this printable license for your reference. No payment is required.

ELSEVIER LICENSE TERMS AND CONDITIONS

Feb 20, 2015

This is a License Agreement between Fidel Salas Vicente ("You") and Elsevier ("Elsevier") provided by Copyright Clearance Center ("CCC"). The license consists of your order details, the terms and conditions provided by Elsevier, and the payment terms and conditions.

All payments must be made in full to CCC. For payment instructions, please see information listed at the bottom of this form.

| | |
|--|--|
| Supplier | Elsevier Limited The Boulevard, Langford Lane Kidlington, Oxford, OX5 1GB, UK |
| Registered Company Number | 1982084 |
| Customer name | Fidel Salas Vicente |
| Customer address | Avda. Castellón, 5 Geldo, Castellón 12412 |
| License number | 3573160876097 |
| License date | Feb 20, 2015 |
| Licensed content publisher | Elsevier |
| Licensed content publication | International Journal of Fatigue |
| Licensed content title | Prediction of fatigue crack initiation for rolling contact fatigue |
| Licensed content author | None |
| Licensed content date | March 2000 |
| Licensed content volume number | 22 |
| Licensed content issue number | 3 |
| Number of pages | 11 |
| Start Page | 205 |
| End Page | 215 |
| Type of Use | reuse in a thesis/dissertation |
| Portion | figures/tables/illustrations |
| Number of figures/tables/illustrations | 1 |
| Format | both print and electronic |
| Are you the author of this Elsevier article? | No |
| Will you be translating? | No |
| Original figure numbers | figure 9 |
| Title of your thesis/dissertation | Investigación y modelización de la adherencia, el desgaste y la fenomenología de daño asociada a la rodadura en contactos rueda-carril de aceros al carbono y bainíticos |

| | |
|----------------------------------|---------------------|
| Expected completion date | May 2015 |
| Estimated size (number of pages) | 440 |
| Elsevier VAT number | GB 494 6272 12 |
| Permissions price | 0.00 EUR |
| VAT/Local Sales Tax | 0.00 EUR / 0.00 GBP |
| Total | 0.00 EUR |

[Terms and Conditions](#)

INTRODUCTION

1. The publisher for this copyrighted material is Elsevier. By clicking "accept" in connection with completing this licensing transaction, you agree that the following terms and conditions apply to this transaction (along with the Billing and Payment terms and conditions established by Copyright Clearance Center, Inc. ("CCC"), at the time that you opened your Rightslink account and that are available at any time at <http://myaccount.copyright.com>).

GENERAL TERMS

2. Elsevier hereby grants you permission to reproduce the aforementioned material subject to the terms and conditions indicated.

3. Acknowledgement: If any part of the material to be used (for example, figures) has appeared in our publication with credit or acknowledgement to another source, permission must also be sought from that source. If such permission is not obtained then that material may not be included in your publication/copies. Suitable acknowledgement to the source must be made, either as a footnote or in a reference list at the end of your publication, as follows:

“Reprinted from Publication title, Vol /edition number, Author(s), Title of article / title of chapter, Pages No., Copyright (Year), with permission from Elsevier [OR APPLICABLE SOCIETY COPYRIGHT OWNER].” Also Lancet special credit - “Reprinted from The Lancet, Vol. number, Author(s), Title of article, Pages No., Copyright (Year), with permission from Elsevier.”

4. Reproduction of this material is confined to the purpose and/or media for which permission is hereby given.

5. Altering/Modifying Material: Not Permitted. However figures and illustrations may be altered/adapted minimally to serve your work. Any other abbreviations, additions, deletions and/or any other alterations shall be made only with prior written authorization of Elsevier Ltd. (Please contact Elsevier at permissions@elsevier.com)

6. If the permission fee for the requested use of our material is waived in this instance, please be advised that your future requests for Elsevier materials may attract a fee.

7. Reservation of Rights: Publisher reserves all rights not specifically granted in the combination of (i) the license details provided by you and accepted in the course of this licensing transaction, (ii) these terms and conditions and (iii) CCC's Billing and Payment terms and conditions.

8. License Contingent Upon Payment: While you may exercise the rights licensed immediately upon issuance of the license at the end of the licensing process for the

transaction, provided that you have disclosed complete and accurate details of your proposed use, no license is finally effective unless and until full payment is received from you (either by publisher or by CCC) as provided in CCC's Billing and Payment terms and conditions. If full payment is not received on a timely basis, then any license preliminarily granted shall be deemed automatically revoked and shall be void as if never granted. Further, in the event that you breach any of these terms and conditions or any of CCC's Billing and Payment terms and conditions, the license is automatically revoked and shall be void as if never granted. Use of materials as described in a revoked license, as well as any use of the materials beyond the scope of an unrevoked license, may constitute copyright infringement and publisher reserves the right to take any and all action to protect its copyright in the materials.

9. **Warranties:** Publisher makes no representations or warranties with respect to the licensed material.

10. **Indemnity:** You hereby indemnify and agree to hold harmless publisher and CCC, and their respective officers, directors, employees and agents, from and against any and all claims arising out of your use of the licensed material other than as specifically authorized pursuant to this license.

11. **No Transfer of License:** This license is personal to you and may not be sublicensed, assigned, or transferred by you to any other person without publisher's written permission.

12. **No Amendment Except in Writing:** This license may not be amended except in a writing signed by both parties (or, in the case of publisher, by CCC on publisher's behalf).

13. **Objection to Contrary Terms:** Publisher hereby objects to any terms contained in any purchase order, acknowledgment, check endorsement or other writing prepared by you, which terms are inconsistent with these terms and conditions or CCC's Billing and Payment terms and conditions. These terms and conditions, together with CCC's Billing and Payment terms and conditions (which are incorporated herein), comprise the entire agreement between you and publisher (and CCC) concerning this licensing transaction. In the event of any conflict between your obligations established by these terms and conditions and those established by CCC's Billing and Payment terms and conditions, these terms and conditions shall control.

14. **Revocation:** Elsevier or Copyright Clearance Center may deny the permissions described in this License at their sole discretion, for any reason or no reason, with a full refund payable to you. Notice of such denial will be made using the contact information provided by you. Failure to receive such notice will not alter or invalidate the denial. In no event will Elsevier or Copyright Clearance Center be responsible or liable for any costs, expenses or damage incurred by you as a result of a denial of your permission request, other than a refund of the amount(s) paid by you to Elsevier and/or Copyright Clearance Center for denied permissions.

LIMITED LICENSE

The following terms and conditions apply only to specific license types:

15. **Translation:** This permission is granted for non-exclusive world **English** rights only unless your license was granted for translation rights. If you licensed translation rights you may only translate this content into the languages you requested. A professional translator must perform all translations and reproduce the content word for word preserving the integrity of the article. If this license is to re-use 1 or 2 figures then permission is granted for non-exclusive world rights in all languages.

16. Posting licensed content on any Website: The following terms and conditions apply as follows: Licensing material from an Elsevier journal: All content posted to the web site must maintain the copyright information line on the bottom of each image; A hyper-text must be included to the Homepage of the journal from which you are licensing at <http://www.sciencedirect.com/science/journal/xxxxx> or the Elsevier homepage for books at <http://www.elsevier.com>; Central Storage: This license does not include permission for a scanned version of the material to be stored in a central repository such as that provided by Heron/XanEdu.

Licensing material from an Elsevier book: A hyper-text link must be included to the Elsevier homepage at <http://www.elsevier.com>. All content posted to the web site must maintain the copyright information line on the bottom of each image.

Posting licensed content on Electronic reserve: In addition to the above the following clauses are applicable: The web site must be password-protected and made available only to bona fide students registered on a relevant course. This permission is granted for 1 year only. You may obtain a new license for future website posting.

17. For journal authors: the following clauses are applicable in addition to the above: Permission granted is limited to the author accepted manuscript version* of your paper.

***Accepted Author Manuscript (AAM) Definition:** An accepted author manuscript (AAM) is the author's version of the manuscript of an article that has been accepted for publication and which may include any author-incorporated changes suggested through the processes of submission processing, peer review, and editor-author communications. AAMs do not include other publisher value-added contributions such as copy-editing, formatting, technical enhancements and (if relevant) pagination.

You are not allowed to download and post the published journal article (whether PDF or HTML, proof or final version), nor may you scan the printed edition to create an electronic version. A hyper-text must be included to the Homepage of the journal from which you are licensing at <http://www.sciencedirect.com/science/journal/xxxxx>. As part of our normal production process, you will receive an e-mail notice when your article appears on Elsevier's online service ScienceDirect (www.sciencedirect.com). That e-mail will include the article's Digital Object Identifier (DOI). This number provides the electronic link to the published article and should be included in the posting of your personal version. We ask that you wait until you receive this e-mail and have the DOI to do any posting.

18. Posting to a repository: Authors may post their AAM immediately to their employer's institutional repository for internal use only and may make their manuscript publically available after the journal-specific embargo period has ended.

Please also refer to [Elsevier's Article Posting Policy](#) for further information.

19. For book authors the following clauses are applicable in addition to the above: Authors are permitted to place a brief summary of their work online only.. You are not allowed to download and post the published electronic version of your chapter, nor may you scan the printed edition to create an electronic version. **Posting to a repository:** Authors are permitted to post a summary of their chapter only in their institution's repository.

20. Thesis/Dissertation: If your license is for use in a thesis/dissertation your thesis may be submitted to your institution in either print or electronic form. Should your thesis be published commercially, please reapply for permission. These requirements include permission for the Library and Archives of Canada to supply single copies, on demand, of the complete thesis and include permission for Proquest/UMI to supply single copies, on

demand, of the complete thesis. Should your thesis be published commercially, please reapply for permission.

Elsevier Open Access Terms and Conditions

Elsevier publishes Open Access articles in both its Open Access journals and via its Open Access articles option in subscription journals.

Authors publishing in an Open Access journal or who choose to make their article Open Access in an Elsevier subscription journal select one of the following Creative Commons user licenses, which define how a reader may reuse their work: Creative Commons Attribution License (CC BY), Creative Commons Attribution – Non Commercial - ShareAlike (CC BY NC SA) and Creative Commons Attribution – Non Commercial – No Derivatives (CC BY NC ND)

Terms & Conditions applicable to all Elsevier Open Access articles:

Any reuse of the article must not represent the author as endorsing the adaptation of the article nor should the article be modified in such a way as to damage the author's honour or reputation.

The author(s) must be appropriately credited.

If any part of the material to be used (for example, figures) has appeared in our publication with credit or acknowledgement to another source it is the responsibility of the user to ensure their reuse complies with the terms and conditions determined by the rights holder.

Additional Terms & Conditions applicable to each Creative Commons user license:

CC BY: You may distribute and copy the article, create extracts, abstracts, and other revised versions, adaptations or derivative works of or from an article (such as a translation), to include in a collective work (such as an anthology), to text or data mine the article, including for commercial purposes without permission from Elsevier

CC BY NC SA: For non-commercial purposes you may distribute and copy the article, create extracts, abstracts and other revised versions, adaptations or derivative works of or from an article (such as a translation), to include in a collective work (such as an anthology), to text and data mine the article and license new adaptations or creations under identical terms without permission from Elsevier

CC BY NC ND: For non-commercial purposes you may distribute and copy the article and include it in a collective work (such as an anthology), provided you do not alter or modify the article, without permission from Elsevier

Any commercial reuse of Open Access articles published with a CC BY NC SA or CC BY NC ND license requires permission from Elsevier and will be subject to a fee.

Commercial reuse includes:

- Promotional purposes (advertising or marketing)
- Commercial exploitation (e.g. a product for sale or loan)
- Systematic distribution (for a fee or free of charge)

Please refer to [Elsevier's Open Access Policy](#) for further information.

21. Other Conditions:

v1.7

Questions? customercare@copyright.com or +1-855-239-3415 (toll free in the US) or +1-978-646-2777.

Gratis licenses (referencing \$0 in the Total field) are free. Please retain this printable license for your reference. No payment is required.

ELSEVIER LICENSE TERMS AND CONDITIONS

Feb 21, 2015

This is a License Agreement between Fidel Salas Vicente ("You") and Elsevier ("Elsevier") provided by Copyright Clearance Center ("CCC"). The license consists of your order details, the terms and conditions provided by Elsevier, and the payment terms and conditions.

All payments must be made in full to CCC. For payment instructions, please see information listed at the bottom of this form.

| | |
|--|---|
| Supplier | Elsevier Limited The Boulevard,Langford Lane Kidlington,Oxford,OX5 1GB,UK |
| Registered Company Number | 1982084 |
| Customer name | Fidel Salas Vicente |
| Customer address | Avda. Castellón, 5 Geldo, Castellón 12412 |
| License number | 3573670978277 |
| License date | Feb 21, 2015 |
| Licensed content publisher | Elsevier |
| Licensed content publication | Wear |
| Licensed content title | Prediction of wheel profile wear—comparisons with field measurements |
| Licensed content author | Tomas Jendel |
| Licensed content date | July 2002 |
| Licensed content volume number | 253 |
| Licensed content issue number | 1-2 |
| Number of pages | 11 |
| Start Page | 89 |
| End Page | 99 |
| Type of Use | reuse in a thesis/dissertation |
| Intended publisher of new work | other |
| Portion | figures/tables/illustrations |
| Number of figures/tables/illustrations | 1 |
| Format | both print and electronic |
| Are you the author of this Elsevier article? | No |
| Will you be translating? | No |
| Original figure numbers | Figure 8 |

| | |
|-----------------------------------|--|
| Title of your thesis/dissertation | Investigación y modelización de la adherencia, el desgaste y la fenomenología de daño asociada a la rodadura en contactos rueda-carril de aceros al carbono y bainíticos |
| Expected completion date | May 2015 |
| Estimated size (number of pages) | 440 |
| Elsevier VAT number | GB 494 6272 12 |
| Permissions price | 0.00 EUR |
| VAT/Local Sales Tax | 0.00 EUR / 0.00 GBP |
| Total | 0.00 EUR |

Terms and Conditions

INTRODUCTION

1. The publisher for this copyrighted material is Elsevier. By clicking "accept" in connection with completing this licensing transaction, you agree that the following terms and conditions apply to this transaction (along with the Billing and Payment terms and conditions established by Copyright Clearance Center, Inc. ("CCC"), at the time that you opened your Rightslink account and that are available at any time at <http://myaccount.copyright.com>).

GENERAL TERMS

2. Elsevier hereby grants you permission to reproduce the aforementioned material subject to the terms and conditions indicated.

3. Acknowledgement: If any part of the material to be used (for example, figures) has appeared in our publication with credit or acknowledgement to another source, permission must also be sought from that source. If such permission is not obtained then that material may not be included in your publication/copies. Suitable acknowledgement to the source must be made, either as a footnote or in a reference list at the end of your publication, as follows:

“Reprinted from Publication title, Vol /edition number, Author(s), Title of article / title of chapter, Pages No., Copyright (Year), with permission from Elsevier [OR APPLICABLE SOCIETY COPYRIGHT OWNER].” Also Lancet special credit - “Reprinted from The Lancet, Vol. number, Author(s), Title of article, Pages No., Copyright (Year), with permission from Elsevier.”

4. Reproduction of this material is confined to the purpose and/or media for which permission is hereby given.

5. Altering/Modifying Material: Not Permitted. However figures and illustrations may be altered/adapted minimally to serve your work. Any other abbreviations, additions, deletions and/or any other alterations shall be made only with prior written authorization of Elsevier Ltd. (Please contact Elsevier at permissions@elsevier.com)

6. If the permission fee for the requested use of our material is waived in this instance, please be advised that your future requests for Elsevier materials may attract a fee.

7. Reservation of Rights: Publisher reserves all rights not specifically granted in the combination of (i) the license details provided by you and accepted in the course of this licensing transaction, (ii) these terms and conditions and (iii) CCC's Billing and Payment terms and conditions.

8. **License Contingent Upon Payment:** While you may exercise the rights licensed immediately upon issuance of the license at the end of the licensing process for the transaction, provided that you have disclosed complete and accurate details of your proposed use, no license is finally effective unless and until full payment is received from you (either by publisher or by CCC) as provided in CCC's Billing and Payment terms and conditions. If full payment is not received on a timely basis, then any license preliminarily granted shall be deemed automatically revoked and shall be void as if never granted. Further, in the event that you breach any of these terms and conditions or any of CCC's Billing and Payment terms and conditions, the license is automatically revoked and shall be void as if never granted. Use of materials as described in a revoked license, as well as any use of the materials beyond the scope of an unrevoked license, may constitute copyright infringement and publisher reserves the right to take any and all action to protect its copyright in the materials.

9. **Warranties:** Publisher makes no representations or warranties with respect to the licensed material.

10. **Indemnity:** You hereby indemnify and agree to hold harmless publisher and CCC, and their respective officers, directors, employees and agents, from and against any and all claims arising out of your use of the licensed material other than as specifically authorized pursuant to this license.

11. **No Transfer of License:** This license is personal to you and may not be sublicensed, assigned, or transferred by you to any other person without publisher's written permission.

12. **No Amendment Except in Writing:** This license may not be amended except in a writing signed by both parties (or, in the case of publisher, by CCC on publisher's behalf).

13. **Objection to Contrary Terms:** Publisher hereby objects to any terms contained in any purchase order, acknowledgment, check endorsement or other writing prepared by you, which terms are inconsistent with these terms and conditions or CCC's Billing and Payment terms and conditions. These terms and conditions, together with CCC's Billing and Payment terms and conditions (which are incorporated herein), comprise the entire agreement between you and publisher (and CCC) concerning this licensing transaction. In the event of any conflict between your obligations established by these terms and conditions and those established by CCC's Billing and Payment terms and conditions, these terms and conditions shall control.

14. **Revocation:** Elsevier or Copyright Clearance Center may deny the permissions described in this License at their sole discretion, for any reason or no reason, with a full refund payable to you. Notice of such denial will be made using the contact information provided by you. Failure to receive such notice will not alter or invalidate the denial. In no event will Elsevier or Copyright Clearance Center be responsible or liable for any costs, expenses or damage incurred by you as a result of a denial of your permission request, other than a refund of the amount(s) paid by you to Elsevier and/or Copyright Clearance Center for denied permissions.

LIMITED LICENSE

The following terms and conditions apply only to specific license types:

15. **Translation:** This permission is granted for non-exclusive world **English** rights only unless your license was granted for translation rights. If you licensed translation rights you may only translate this content into the languages you requested. A professional translator must perform all translations and reproduce the content word for word preserving the

integrity of the article. If this license is to re-use 1 or 2 figures then permission is granted for non-exclusive world rights in all languages.

16. Posting licensed content on any Website: The following terms and conditions apply as follows: Licensing material from an Elsevier journal: All content posted to the web site must maintain the copyright information line on the bottom of each image; A hyper-text must be included to the Homepage of the journal from which you are licensing at <http://www.sciencedirect.com/science/journal/xxxxx> or the Elsevier homepage for books at <http://www.elsevier.com>; Central Storage: This license does not include permission for a scanned version of the material to be stored in a central repository such as that provided by Heron/XanEdu.

Licensing material from an Elsevier book: A hyper-text link must be included to the Elsevier homepage at <http://www.elsevier.com>. All content posted to the web site must maintain the copyright information line on the bottom of each image.

Posting licensed content on Electronic reserve: In addition to the above the following clauses are applicable: The web site must be password-protected and made available only to bona fide students registered on a relevant course. This permission is granted for 1 year only. You may obtain a new license for future website posting.

17. For journal authors: the following clauses are applicable in addition to the above: Permission granted is limited to the author accepted manuscript version* of your paper.

***Accepted Author Manuscript (AAM) Definition:** An accepted author manuscript (AAM) is the author's version of the manuscript of an article that has been accepted for publication and which may include any author-incorporated changes suggested through the processes of submission processing, peer review, and editor-author communications. AAMs do not include other publisher value-added contributions such as copy-editing, formatting, technical enhancements and (if relevant) pagination.

You are not allowed to download and post the published journal article (whether PDF or HTML, proof or final version), nor may you scan the printed edition to create an electronic version. A hyper-text must be included to the Homepage of the journal from which you are licensing at <http://www.sciencedirect.com/science/journal/xxxxx>. As part of our normal production process, you will receive an e-mail notice when your article appears on Elsevier's online service ScienceDirect (www.sciencedirect.com). That e-mail will include the article's Digital Object Identifier (DOI). This number provides the electronic link to the published article and should be included in the posting of your personal version. We ask that you wait until you receive this e-mail and have the DOI to do any posting.

18. Posting to a repository: Authors may post their AAM immediately to their employer's institutional repository for internal use only and may make their manuscript publically available after the journal-specific embargo period has ended.

Please also refer to [Elsevier's Article Posting Policy](#) for further information.

19. For book authors the following clauses are applicable in addition to the above: Authors are permitted to place a brief summary of their work online only.. You are not allowed to download and post the published electronic version of your chapter, nor may you scan the printed edition to create an electronic version. **Posting to a repository:** Authors are permitted to post a summary of their chapter only in their institution's repository.

20. Thesis/Dissertation: If your license is for use in a thesis/dissertation your thesis may be submitted to your institution in either print or electronic form. Should your thesis be

published commercially, please reapply for permission. These requirements include permission for the Library and Archives of Canada to supply single copies, on demand, of the complete thesis and include permission for Proquest/UMI to supply single copies, on demand, of the complete thesis. Should your thesis be published commercially, please reapply for permission.

Elsevier Open Access Terms and Conditions

Elsevier publishes Open Access articles in both its Open Access journals and via its Open Access articles option in subscription journals.

Authors publishing in an Open Access journal or who choose to make their article Open Access in an Elsevier subscription journal select one of the following Creative Commons user licenses, which define how a reader may reuse their work: Creative Commons Attribution License (CC BY), Creative Commons Attribution – Non Commercial - ShareAlike (CC BY NC SA) and Creative Commons Attribution – Non Commercial – No Derivatives (CC BY NC ND)

Terms & Conditions applicable to all Elsevier Open Access articles:

Any reuse of the article must not represent the author as endorsing the adaptation of the article nor should the article be modified in such a way as to damage the author's honour or reputation.

The author(s) must be appropriately credited.

If any part of the material to be used (for example, figures) has appeared in our publication with credit or acknowledgement to another source it is the responsibility of the user to ensure their reuse complies with the terms and conditions determined by the rights holder.

Additional Terms & Conditions applicable to each Creative Commons user license:

CC BY: You may distribute and copy the article, create extracts, abstracts, and other revised versions, adaptations or derivative works of or from an article (such as a translation), to include in a collective work (such as an anthology), to text or data mine the article, including for commercial purposes without permission from Elsevier

CC BY NC SA: For non-commercial purposes you may distribute and copy the article, create extracts, abstracts and other revised versions, adaptations or derivative works of or from an article (such as a translation), to include in a collective work (such as an anthology), to text and data mine the article and license new adaptations or creations under identical terms without permission from Elsevier

CC BY NC ND: For non-commercial purposes you may distribute and copy the article and include it in a collective work (such as an anthology), provided you do not alter or modify the article, without permission from Elsevier

Any commercial reuse of Open Access articles published with a CC BY NC SA or CC BY NC ND license requires permission from Elsevier and will be subject to a fee.

Commercial reuse includes:

- Promotional purposes (advertising or marketing)

- Commercial exploitation (e.g. a product for sale or loan)
- Systematic distribution (for a fee or free of charge)

Please refer to [Elsevier's Open Access Policy](#) for further information.

21. Other Conditions:

v1.7

Questions? customercare@copyright.com or +1-855-239-3415 (toll free in the US) or +1-978-646-2777.

Gratis licenses (referencing \$0 in the Total field) are free. Please retain this printable license for your reference. No payment is required.

ELSEVIER LICENSE TERMS AND CONDITIONS

Mar 08, 2015

This is a License Agreement between Fidel Salas Vicente ("You") and Elsevier ("Elsevier") provided by Copyright Clearance Center ("CCC"). The license consists of your order details, the terms and conditions provided by Elsevier, and the payment terms and conditions.

All payments must be made in full to CCC. For payment instructions, please see information listed at the bottom of this form.

| | |
|--|--|
| Supplier | Elsevier Limited The Boulevard, Langford Lane Kidlington, Oxford, OX5 1GB, UK |
| Registered Company Number | 1982084 |
| Customer name | Fidel Salas Vicente |
| Customer address | Avda. Castellón, 5 Geldo, Castellón 12412 |
| License number | 3584291023593 |
| License date | Mar 08, 2015 |
| Licensed content publisher | Elsevier |
| Licensed content publication | Wear |
| Licensed content title | Ratcheting short crack behavior in medium carbon bainitic back-up roll steel under mild tractive rolling contact |
| Licensed content author | Peng Dou, Shuangfu Suo, Zhigang Yang, Youguo Li, Darong Chen |
| Licensed content date | 4 January 2010 |
| Licensed content volume number | 268 |
| Licensed content issue number | 1-2 |
| Number of pages | 7 |
| Start Page | 302 |
| End Page | 308 |
| Type of Use | reuse in a thesis/dissertation |
| Intended publisher of new work | other |
| Portion | figures/tables/illustrations |
| Number of figures/tables/illustrations | 1 |
| Format | both print and electronic |
| Are you the author of this Elsevier article? | No |
| Will you be translating? | No |
| Original figure numbers | Figure 2 |

| | |
|-----------------------------------|--|
| Title of your thesis/dissertation | Investigación y modelización de la adherencia, el desgaste y la fenomenología de daño asociada a la rodadura en contactos rueda-carril de aceros al carbono y bainíticos |
| Expected completion date | May 2015 |
| Estimated size (number of pages) | 440 |
| Elsevier VAT number | GB 494 6272 12 |
| Permissions price | 0.00 EUR |
| VAT/Local Sales Tax | 0.00 USD / 0.00 GBP |
| Total | 0.00 EUR |

Terms and Conditions

INTRODUCTION

1. The publisher for this copyrighted material is Elsevier. By clicking "accept" in connection with completing this licensing transaction, you agree that the following terms and conditions apply to this transaction (along with the Billing and Payment terms and conditions established by Copyright Clearance Center, Inc. ("CCC"), at the time that you opened your Rightslink account and that are available at any time at <http://myaccount.copyright.com>).

GENERAL TERMS

2. Elsevier hereby grants you permission to reproduce the aforementioned material subject to the terms and conditions indicated.

3. Acknowledgement: If any part of the material to be used (for example, figures) has appeared in our publication with credit or acknowledgement to another source, permission must also be sought from that source. If such permission is not obtained then that material may not be included in your publication/copies. Suitable acknowledgement to the source must be made, either as a footnote or in a reference list at the end of your publication, as follows:

"Reprinted from Publication title, Vol /edition number, Author(s), Title of article / title of chapter, Pages No., Copyright (Year), with permission from Elsevier [OR APPLICABLE SOCIETY COPYRIGHT OWNER]." Also Lancet special credit - "Reprinted from The Lancet, Vol. number, Author(s), Title of article, Pages No., Copyright (Year), with permission from Elsevier."

4. Reproduction of this material is confined to the purpose and/or media for which permission is hereby given.

5. Altering/Modifying Material: Not Permitted. However figures and illustrations may be altered/adapted minimally to serve your work. Any other abbreviations, additions, deletions and/or any other alterations shall be made only with prior written authorization of Elsevier Ltd. (Please contact Elsevier at permissions@elsevier.com)

6. If the permission fee for the requested use of our material is waived in this instance, please be advised that your future requests for Elsevier materials may attract a fee.

7. Reservation of Rights: Publisher reserves all rights not specifically granted in the combination of (i) the license details provided by you and accepted in the course of this licensing transaction, (ii) these terms and conditions and (iii) CCC's Billing and Payment terms and conditions.

8. **License Contingent Upon Payment:** While you may exercise the rights licensed immediately upon issuance of the license at the end of the licensing process for the transaction, provided that you have disclosed complete and accurate details of your proposed use, no license is finally effective unless and until full payment is received from you (either by publisher or by CCC) as provided in CCC's Billing and Payment terms and conditions. If full payment is not received on a timely basis, then any license preliminarily granted shall be deemed automatically revoked and shall be void as if never granted. Further, in the event that you breach any of these terms and conditions or any of CCC's Billing and Payment terms and conditions, the license is automatically revoked and shall be void as if never granted. Use of materials as described in a revoked license, as well as any use of the materials beyond the scope of an unrevoked license, may constitute copyright infringement and publisher reserves the right to take any and all action to protect its copyright in the materials.

9. **Warranties:** Publisher makes no representations or warranties with respect to the licensed material.

10. **Indemnity:** You hereby indemnify and agree to hold harmless publisher and CCC, and their respective officers, directors, employees and agents, from and against any and all claims arising out of your use of the licensed material other than as specifically authorized pursuant to this license.

11. **No Transfer of License:** This license is personal to you and may not be sublicensed, assigned, or transferred by you to any other person without publisher's written permission.

12. **No Amendment Except in Writing:** This license may not be amended except in a writing signed by both parties (or, in the case of publisher, by CCC on publisher's behalf).

13. **Objection to Contrary Terms:** Publisher hereby objects to any terms contained in any purchase order, acknowledgment, check endorsement or other writing prepared by you, which terms are inconsistent with these terms and conditions or CCC's Billing and Payment terms and conditions. These terms and conditions, together with CCC's Billing and Payment terms and conditions (which are incorporated herein), comprise the entire agreement between you and publisher (and CCC) concerning this licensing transaction. In the event of any conflict between your obligations established by these terms and conditions and those established by CCC's Billing and Payment terms and conditions, these terms and conditions shall control.

14. **Revocation:** Elsevier or Copyright Clearance Center may deny the permissions described in this License at their sole discretion, for any reason or no reason, with a full refund payable to you. Notice of such denial will be made using the contact information provided by you. Failure to receive such notice will not alter or invalidate the denial. In no event will Elsevier or Copyright Clearance Center be responsible or liable for any costs, expenses or damage incurred by you as a result of a denial of your permission request, other than a refund of the amount(s) paid by you to Elsevier and/or Copyright Clearance Center for denied permissions.

LIMITED LICENSE

The following terms and conditions apply only to specific license types:

15. **Translation:** This permission is granted for non-exclusive world **English** rights only unless your license was granted for translation rights. If you licensed translation rights you may only translate this content into the languages you requested. A professional translator must perform all translations and reproduce the content word for word preserving the

integrity of the article. If this license is to re-use 1 or 2 figures then permission is granted for non-exclusive world rights in all languages.

16. Posting licensed content on any Website: The following terms and conditions apply as follows: Licensing material from an Elsevier journal: All content posted to the web site must maintain the copyright information line on the bottom of each image; A hyper-text must be included to the Homepage of the journal from which you are licensing at <http://www.sciencedirect.com/science/journal/xxxxx> or the Elsevier homepage for books at <http://www.elsevier.com>; Central Storage: This license does not include permission for a scanned version of the material to be stored in a central repository such as that provided by Heron/XanEdu.

Licensing material from an Elsevier book: A hyper-text link must be included to the Elsevier homepage at <http://www.elsevier.com> . All content posted to the web site must maintain the copyright information line on the bottom of each image.

Posting licensed content on Electronic reserve: In addition to the above the following clauses are applicable: The web site must be password-protected and made available only to bona fide students registered on a relevant course. This permission is granted for 1 year only. You may obtain a new license for future website posting.

17. For journal authors: the following clauses are applicable in addition to the above:

Preprints:

A preprint is an author's own write-up of research results and analysis, it has not been peer-reviewed, nor has it had any other value added to it by a publisher (such as formatting, copyright, technical enhancement etc.).

Authors can share their preprints anywhere at any time. Preprints should not be added to or enhanced in any way in order to appear more like, or to substitute for, the final versions of articles however authors can update their preprints on arXiv or RePEc with their Accepted Author Manuscript (see below).

If accepted for publication, we encourage authors to link from the preprint to their formal publication via its DOI. Millions of researchers have access to the formal publications on ScienceDirect, and so links will help users to find, access, cite and use the best available version. Please note that Cell Press, The Lancet and some society-owned have different preprint policies. Information on these policies is available on the journal homepage.

Accepted Author Manuscripts: An accepted author manuscript is the manuscript of an article that has been accepted for publication and which typically includes author-incorporated changes suggested during submission, peer review and editor-author communications.

Authors can share their accepted author manuscript:

- immediately
 - via their non-commercial person homepage or blog
 - by updating a preprint in arXiv or RePEc with the accepted manuscript
 - via their research institute or institutional repository for internal institutional

uses or as part of an invitation-only research collaboration work-group

- directly by providing copies to their students or to research collaborators for their personal use
 - for private scholarly sharing as part of an invitation-only work group on commercial sites with which Elsevier has an agreement
- after the embargo period
- via non-commercial hosting platforms such as their institutional repository
 - via commercial sites with which Elsevier has an agreement

In all cases accepted manuscripts should:

- link to the formal publication via its DOI
- bear a CC-BY-NC-ND license - this is easy to do
- if aggregated with other manuscripts, for example in a repository or other site, be shared in alignment with our hosting policy not be added to or enhanced in any way to appear more like, or to substitute for, the published journal article.

Published journal article (JPA): A published journal article (PJA) is the definitive final record of published research that appears or will appear in the journal and embodies all value-adding publishing activities including peer review co-ordination, copy-editing, formatting, (if relevant) pagination and online enrichment.

Policies for sharing publishing journal articles differ for subscription and gold open access articles:

Subscription Articles: If you are an author, please share a link to your article rather than the full-text. Millions of researchers have access to the formal publications on ScienceDirect, and so links will help your users to find, access, cite, and use the best available version.

Theses and dissertations which contain embedded PJAs as part of the formal submission can be posted publicly by the awarding institution with DOI links back to the formal publications on ScienceDirect.

If you are affiliated with a library that subscribes to ScienceDirect you have additional private sharing rights for others' research accessed under that agreement. This includes use for classroom teaching and internal training at the institution (including use in course packs and courseware programs), and inclusion of the article for grant funding purposes.

Gold Open Access Articles: May be shared according to the author-selected end-user license and should contain a [CrossMark logo](#), the end user license, and a DOI link to the formal publication on ScienceDirect.

Please refer to Elsevier's [posting policy](#) for further information.

18. **For book authors** the following clauses are applicable in addition to the above: Authors are permitted to place a brief summary of their work online only. You are not allowed to download and post the published electronic version of your chapter, nor may you scan the printed edition to create an electronic version. **Posting to a repository:** Authors are

permitted to post a summary of their chapter only in their institution's repository.

19. Thesis/Dissertation: If your license is for use in a thesis/dissertation your thesis may be submitted to your institution in either print or electronic form. Should your thesis be published commercially, please reapply for permission. These requirements include permission for the Library and Archives of Canada to supply single copies, on demand, of the complete thesis and include permission for Proquest/UMI to supply single copies, on demand, of the complete thesis. Should your thesis be published commercially, please reapply for permission. Theses and dissertations which contain embedded PJAs as part of the formal submission can be posted publicly by the awarding institution with DOI links back to the formal publications on ScienceDirect.

Elsevier Open Access Terms and Conditions

You can publish open access with Elsevier in hundreds of open access journals or in nearly 2000 established subscription journals that support open access publishing. Permitted third party re-use of these open access articles is defined by the author's choice of Creative Commons user license. See our [open access license policy](#) for more information.

Terms & Conditions applicable to all Open Access articles published with Elsevier:

Any reuse of the article must not represent the author as endorsing the adaptation of the article nor should the article be modified in such a way as to damage the author's honour or reputation. If any changes have been made, such changes must be clearly indicated.

The author(s) must be appropriately credited and we ask that you include the end user license and a DOI link to the formal publication on ScienceDirect.

If any part of the material to be used (for example, figures) has appeared in our publication with credit or acknowledgement to another source it is the responsibility of the user to ensure their reuse complies with the terms and conditions determined by the rights holder.

Additional Terms & Conditions applicable to each Creative Commons user license:

CC BY: The CC-BY license allows users to copy, to create extracts, abstracts and new works from the Article, to alter and revise the Article and to make commercial use of the Article (including reuse and/or resale of the Article by commercial entities), provided the user gives appropriate credit (with a link to the formal publication through the relevant DOI), provides a link to the license, indicates if changes were made and the licensor is not represented as endorsing the use made of the work. The full details of the license are available at <http://creativecommons.org/licenses/by/4.0>.

CC BY NC SA: The CC BY-NC-SA license allows users to copy, to create extracts, abstracts and new works from the Article, to alter and revise the Article, provided this is not done for commercial purposes, and that the user gives appropriate credit (with a link to the formal publication through the relevant DOI), provides a link to the license, indicates if changes were made and the licensor is not represented as endorsing the use made of the work. Further, any new works must be made available on the same conditions. The full details of the license are available at <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0>.

CC BY NC ND: The CC BY-NC-ND license allows users to copy and distribute the Article, provided this is not done for commercial purposes and further does not permit distribution of the Article if it is changed or edited in any way, and provided the user gives appropriate

credit (with a link to the formal publication through the relevant DOI), provides a link to the license, and that the licensor is not represented as endorsing the use made of the work. The full details of the license are available at <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0>. Any commercial reuse of Open Access articles published with a CC BY NC SA or CC BY NC ND license requires permission from Elsevier and will be subject to a fee.

Commercial reuse includes:

- Associating advertising with the full text of the Article
- Charging fees for document delivery or access
- Article aggregation
- Systematic distribution via e-mail lists or share buttons

Posting or linking by commercial companies for use by customers of those companies.

20. Other Conditions:

Questions? customercare@copyright.com or +1-855-239-3415 (toll free in the US) or +1-978-646-2777.

Gratis licenses (referencing \$0 in the Total field) are free. Please retain this printable license for your reference. No payment is required.

ELSEVIER LICENSE TERMS AND CONDITIONS

Mar 08, 2015

This is a License Agreement between Fidel Salas Vicente ("You") and Elsevier ("Elsevier") provided by Copyright Clearance Center ("CCC"). The license consists of your order details, the terms and conditions provided by Elsevier, and the payment terms and conditions.

All payments must be made in full to CCC. For payment instructions, please see information listed at the bottom of this form.

| | |
|--|--|
| Supplier | Elsevier Limited The Boulevard, Langford Lane Kidlington, Oxford, OX5 1GB, UK |
| Registered Company Number | 1982084 |
| Customer name | Fidel Salas Vicente |
| Customer address | Avda. Castellón, 5 Geldo, Castellón 12412 |
| License number | 3584270481700 |
| License date | Mar 08, 2015 |
| Licensed content publisher | Elsevier |
| Licensed content publication | Wear |
| Licensed content title | Ratcheting short crack behavior in medium carbon bainitic back-up roll steel under mild tractive rolling contact |
| Licensed content author | Peng Dou, Shuangfu Suo, Zhigang Yang, Youguo Li, Darong Chen |
| Licensed content date | 4 January 2010 |
| Licensed content volume number | 268 |
| Licensed content issue number | 1-2 |
| Number of pages | 7 |
| Start Page | 302 |
| End Page | 308 |
| Type of Use | reuse in a thesis/dissertation |
| Portion | figures/tables/illustrations |
| Number of figures/tables/illustrations | 1 |
| Format | both print and electronic |
| Are you the author of this Elsevier article? | No |
| Will you be translating? | No |
| Original figure numbers | Figure 4 |
| Title of your thesis/dissertation | Investigación y modelización de la adherencia, el desgaste y la fenomenología de daño asociada a la rodadura en contactos rueda-carril de aceros al carbono y bainíticos |

| | |
|----------------------------------|---------------------|
| Expected completion date | May 2015 |
| Estimated size (number of pages) | 440 |
| Elsevier VAT number | GB 494 6272 12 |
| Permissions price | 0.00 EUR |
| VAT/Local Sales Tax | 0.00 USD / 0.00 GBP |
| Total | 0.00 EUR |

[Terms and Conditions](#)

INTRODUCTION

1. The publisher for this copyrighted material is Elsevier. By clicking "accept" in connection with completing this licensing transaction, you agree that the following terms and conditions apply to this transaction (along with the Billing and Payment terms and conditions established by Copyright Clearance Center, Inc. ("CCC"), at the time that you opened your Rightslink account and that are available at any time at <http://myaccount.copyright.com>).

GENERAL TERMS

2. Elsevier hereby grants you permission to reproduce the aforementioned material subject to the terms and conditions indicated.

3. Acknowledgement: If any part of the material to be used (for example, figures) has appeared in our publication with credit or acknowledgement to another source, permission must also be sought from that source. If such permission is not obtained then that material may not be included in your publication/copies. Suitable acknowledgement to the source must be made, either as a footnote or in a reference list at the end of your publication, as follows:

"Reprinted from Publication title, Vol /edition number, Author(s), Title of article / title of chapter, Pages No., Copyright (Year), with permission from Elsevier [OR APPLICABLE SOCIETY COPYRIGHT OWNER]." Also Lancet special credit - "Reprinted from The Lancet, Vol. number, Author(s), Title of article, Pages No., Copyright (Year), with permission from Elsevier."

4. Reproduction of this material is confined to the purpose and/or media for which permission is hereby given.

5. Altering/Modifying Material: Not Permitted. However figures and illustrations may be altered/adapted minimally to serve your work. Any other abbreviations, additions, deletions and/or any other alterations shall be made only with prior written authorization of Elsevier Ltd. (Please contact Elsevier at permissions@elsevier.com)

6. If the permission fee for the requested use of our material is waived in this instance, please be advised that your future requests for Elsevier materials may attract a fee.

7. Reservation of Rights: Publisher reserves all rights not specifically granted in the combination of (i) the license details provided by you and accepted in the course of this licensing transaction, (ii) these terms and conditions and (iii) CCC's Billing and Payment terms and conditions.

8. License Contingent Upon Payment: While you may exercise the rights licensed immediately upon issuance of the license at the end of the licensing process for the

transaction, provided that you have disclosed complete and accurate details of your proposed use, no license is finally effective unless and until full payment is received from you (either by publisher or by CCC) as provided in CCC's Billing and Payment terms and conditions. If full payment is not received on a timely basis, then any license preliminarily granted shall be deemed automatically revoked and shall be void as if never granted. Further, in the event that you breach any of these terms and conditions or any of CCC's Billing and Payment terms and conditions, the license is automatically revoked and shall be void as if never granted. Use of materials as described in a revoked license, as well as any use of the materials beyond the scope of an unrevoked license, may constitute copyright infringement and publisher reserves the right to take any and all action to protect its copyright in the materials.

9. **Warranties:** Publisher makes no representations or warranties with respect to the licensed material.

10. **Indemnity:** You hereby indemnify and agree to hold harmless publisher and CCC, and their respective officers, directors, employees and agents, from and against any and all claims arising out of your use of the licensed material other than as specifically authorized pursuant to this license.

11. **No Transfer of License:** This license is personal to you and may not be sublicensed, assigned, or transferred by you to any other person without publisher's written permission.

12. **No Amendment Except in Writing:** This license may not be amended except in a writing signed by both parties (or, in the case of publisher, by CCC on publisher's behalf).

13. **Objection to Contrary Terms:** Publisher hereby objects to any terms contained in any purchase order, acknowledgment, check endorsement or other writing prepared by you, which terms are inconsistent with these terms and conditions or CCC's Billing and Payment terms and conditions. These terms and conditions, together with CCC's Billing and Payment terms and conditions (which are incorporated herein), comprise the entire agreement between you and publisher (and CCC) concerning this licensing transaction. In the event of any conflict between your obligations established by these terms and conditions and those established by CCC's Billing and Payment terms and conditions, these terms and conditions shall control.

14. **Revocation:** Elsevier or Copyright Clearance Center may deny the permissions described in this License at their sole discretion, for any reason or no reason, with a full refund payable to you. Notice of such denial will be made using the contact information provided by you. Failure to receive such notice will not alter or invalidate the denial. In no event will Elsevier or Copyright Clearance Center be responsible or liable for any costs, expenses or damage incurred by you as a result of a denial of your permission request, other than a refund of the amount(s) paid by you to Elsevier and/or Copyright Clearance Center for denied permissions.

LIMITED LICENSE

The following terms and conditions apply only to specific license types:

15. **Translation:** This permission is granted for non-exclusive world **English** rights only unless your license was granted for translation rights. If you licensed translation rights you may only translate this content into the languages you requested. A professional translator must perform all translations and reproduce the content word for word preserving the integrity of the article. If this license is to re-use 1 or 2 figures then permission is granted for non-exclusive world rights in all languages.

16. Posting licensed content on any Website: The following terms and conditions apply as follows: Licensing material from an Elsevier journal: All content posted to the web site must maintain the copyright information line on the bottom of each image; A hyper-text must be included to the Homepage of the journal from which you are licensing at <http://www.sciencedirect.com/science/journal/xxxxx> or the Elsevier homepage for books at <http://www.elsevier.com>; Central Storage: This license does not include permission for a scanned version of the material to be stored in a central repository such as that provided by Heron/XanEdu.

Licensing material from an Elsevier book: A hyper-text link must be included to the Elsevier homepage at <http://www.elsevier.com>. All content posted to the web site must maintain the copyright information line on the bottom of each image.

Posting licensed content on Electronic reserve: In addition to the above the following clauses are applicable: The web site must be password-protected and made available only to bona fide students registered on a relevant course. This permission is granted for 1 year only. You may obtain a new license for future website posting.

17. For journal authors: the following clauses are applicable in addition to the above:

Preprints:

A preprint is an author's own write-up of research results and analysis, it has not been peer-reviewed, nor has it had any other value added to it by a publisher (such as formatting, copyright, technical enhancement etc.).

Authors can share their preprints anywhere at any time. Preprints should not be added to or enhanced in any way in order to appear more like, or to substitute for, the final versions of articles however authors can update their preprints on arXiv or RePEc with their Accepted Author Manuscript (see below).

If accepted for publication, we encourage authors to link from the preprint to their formal publication via its DOI. Millions of researchers have access to the formal publications on ScienceDirect, and so links will help users to find, access, cite and use the best available version. Please note that Cell Press, The Lancet and some society-owned have different preprint policies. Information on these policies is available on the journal homepage.

Accepted Author Manuscripts: An accepted author manuscript is the manuscript of an article that has been accepted for publication and which typically includes author-incorporated changes suggested during submission, peer review and editor-author communications.

Authors can share their accepted author manuscript:

- immediately
 - via their non-commercial person homepage or blog
 - by updating a preprint in arXiv or RePEc with the accepted manuscript
 - via their research institute or institutional repository for internal institutional uses or as part of an invitation-only research collaboration work-group
 - directly by providing copies to their students or to research collaborators for

their personal use

- for private scholarly sharing as part of an invitation-only work group on commercial sites with which Elsevier has an agreement
- after the embargo period
 - via non-commercial hosting platforms such as their institutional repository
 - via commercial sites with which Elsevier has an agreement

In all cases accepted manuscripts should:

- link to the formal publication via its DOI
- bear a CC-BY-NC-ND license - this is easy to do
- if aggregated with other manuscripts, for example in a repository or other site, be shared in alignment with our hosting policy not be added to or enhanced in any way to appear more like, or to substitute for, the published journal article.

Published journal article (JPA): A published journal article (PJA) is the definitive final record of published research that appears or will appear in the journal and embodies all value-adding publishing activities including peer review co-ordination, copy-editing, formatting, (if relevant) pagination and online enrichment.

Policies for sharing publishing journal articles differ for subscription and gold open access articles:

Subscription Articles: If you are an author, please share a link to your article rather than the full-text. Millions of researchers have access to the formal publications on ScienceDirect, and so links will help your users to find, access, cite, and use the best available version.

Theses and dissertations which contain embedded PJAs as part of the formal submission can be posted publicly by the awarding institution with DOI links back to the formal publications on ScienceDirect.

If you are affiliated with a library that subscribes to ScienceDirect you have additional private sharing rights for others' research accessed under that agreement. This includes use for classroom teaching and internal training at the institution (including use in course packs and courseware programs), and inclusion of the article for grant funding purposes.

Gold Open Access Articles: May be shared according to the author-selected end-user license and should contain a [CrossMark logo](#), the end user license, and a DOI link to the formal publication on ScienceDirect.

Please refer to Elsevier's [posting policy](#) for further information.

18. **For book authors** the following clauses are applicable in addition to the above: Authors are permitted to place a brief summary of their work online only. You are not allowed to download and post the published electronic version of your chapter, nor may you scan the printed edition to create an electronic version. **Posting to a repository:** Authors are permitted to post a summary of their chapter only in their institution's repository.

19. **Thesis/Dissertation:** If your license is for use in a thesis/dissertation your thesis may be

submitted to your institution in either print or electronic form. Should your thesis be published commercially, please reapply for permission. These requirements include permission for the Library and Archives of Canada to supply single copies, on demand, of the complete thesis and include permission for Proquest/UMI to supply single copies, on demand, of the complete thesis. Should your thesis be published commercially, please reapply for permission. Theses and dissertations which contain embedded PJAs as part of the formal submission can be posted publicly by the awarding institution with DOI links back to the formal publications on ScienceDirect.

Elsevier Open Access Terms and Conditions

You can publish open access with Elsevier in hundreds of open access journals or in nearly 2000 established subscription journals that support open access publishing. Permitted third party re-use of these open access articles is defined by the author's choice of Creative Commons user license. See our [open access license policy](#) for more information.

Terms & Conditions applicable to all Open Access articles published with Elsevier:

Any reuse of the article must not represent the author as endorsing the adaptation of the article nor should the article be modified in such a way as to damage the author's honour or reputation. If any changes have been made, such changes must be clearly indicated.

The author(s) must be appropriately credited and we ask that you include the end user license and a DOI link to the formal publication on ScienceDirect.

If any part of the material to be used (for example, figures) has appeared in our publication with credit or acknowledgement to another source it is the responsibility of the user to ensure their reuse complies with the terms and conditions determined by the rights holder.

Additional Terms & Conditions applicable to each Creative Commons user license:

CC BY: The CC-BY license allows users to copy, to create extracts, abstracts and new works from the Article, to alter and revise the Article and to make commercial use of the Article (including reuse and/or resale of the Article by commercial entities), provided the user gives appropriate credit (with a link to the formal publication through the relevant DOI), provides a link to the license, indicates if changes were made and the licensor is not represented as endorsing the use made of the work. The full details of the license are available at <http://creativecommons.org/licenses/by/4.0>.

CC BY NC SA: The CC BY-NC-SA license allows users to copy, to create extracts, abstracts and new works from the Article, to alter and revise the Article, provided this is not done for commercial purposes, and that the user gives appropriate credit (with a link to the formal publication through the relevant DOI), provides a link to the license, indicates if changes were made and the licensor is not represented as endorsing the use made of the work. Further, any new works must be made available on the same conditions. The full details of the license are available at <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0>.

CC BY NC ND: The CC BY-NC-ND license allows users to copy and distribute the Article, provided this is not done for commercial purposes and further does not permit distribution of the Article if it is changed or edited in any way, and provided the user gives appropriate credit (with a link to the formal publication through the relevant DOI), provides a link to the license, and that the licensor is not represented as endorsing the use made of the work. The full details of the license are available at <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0>.

Any commercial reuse of Open Access articles published with a CC BY NC SA or CC BY NC ND license requires permission from Elsevier and will be subject to a fee.

Commercial reuse includes:

- Associating advertising with the full text of the Article
- Charging fees for document delivery or access
- Article aggregation
- Systematic distribution via e-mail lists or share buttons

Posting or linking by commercial companies for use by customers of those companies.

20. Other Conditions:

Questions? customer care@copyright.com or +1-855-239-3415 (toll free in the US) or +1-978-646-2777.

Gratis licenses (referencing \$0 in the Total field) are free. Please retain this printable license for your reference. No payment is required.

ELSEVIER LICENSE TERMS AND CONDITIONS

Feb 20, 2015

This is a License Agreement between Fidel Salas Vicente ("You") and Elsevier ("Elsevier") provided by Copyright Clearance Center ("CCC"). The license consists of your order details, the terms and conditions provided by Elsevier, and the payment terms and conditions.

All payments must be made in full to CCC. For payment instructions, please see information listed at the bottom of this form.

| | |
|--|--|
| Supplier | Elsevier Limited The Boulevard, Langford Lane Kidlington, Oxford, OX5 1GB, UK |
| Registered Company Number | 1982084 |
| Customer name | Fidel Salas Vicente |
| Customer address | Avda. Castellón, 5 Geldo, Castellón 12412 |
| License number | 3573181391221 |
| License date | Feb 20, 2015 |
| Licensed content publisher | Elsevier |
| Licensed content publication | Wear |
| Licensed content title | Ratcheting short crack behavior in medium carbon bainitic back-up roll steel under mild tractive rolling contact |
| Licensed content author | Peng Dou, Shuangfu Suo, Zhigang Yang, Youguo Li, Darong Chen |
| Licensed content date | 4 January 2010 |
| Licensed content volume number | 268 |
| Licensed content issue number | 1-2 |
| Number of pages | 7 |
| Start Page | 302 |
| End Page | 308 |
| Type of Use | reuse in a thesis/dissertation |
| Intended publisher of new work | other |
| Portion | figures/tables/illustrations |
| Number of figures/tables/illustrations | 1 |
| Format | both print and electronic |
| Are you the author of this Elsevier article? | No |
| Will you be translating? | No |
| Original figure numbers | Figure 4 |

| | |
|-----------------------------------|--|
| Title of your thesis/dissertation | Investigación y modelización de la adherencia, el desgaste y la fenomenología de daño asociada a la rodadura en contactos rueda-carril de aceros al carbono y bainíticos |
| Expected completion date | May 2015 |
| Estimated size (number of pages) | 440 |
| Elsevier VAT number | GB 494 6272 12 |
| Permissions price | 0.00 EUR |
| VAT/Local Sales Tax | 0.00 EUR / 0.00 GBP |
| Total | 0.00 EUR |

Terms and Conditions

INTRODUCTION

1. The publisher for this copyrighted material is Elsevier. By clicking "accept" in connection with completing this licensing transaction, you agree that the following terms and conditions apply to this transaction (along with the Billing and Payment terms and conditions established by Copyright Clearance Center, Inc. ("CCC"), at the time that you opened your Rightslink account and that are available at any time at <http://myaccount.copyright.com>).

GENERAL TERMS

2. Elsevier hereby grants you permission to reproduce the aforementioned material subject to the terms and conditions indicated.

3. Acknowledgement: If any part of the material to be used (for example, figures) has appeared in our publication with credit or acknowledgement to another source, permission must also be sought from that source. If such permission is not obtained then that material may not be included in your publication/copies. Suitable acknowledgement to the source must be made, either as a footnote or in a reference list at the end of your publication, as follows:

“Reprinted from Publication title, Vol /edition number, Author(s), Title of article / title of chapter, Pages No., Copyright (Year), with permission from Elsevier [OR APPLICABLE SOCIETY COPYRIGHT OWNER].” Also Lancet special credit - “Reprinted from The Lancet, Vol. number, Author(s), Title of article, Pages No., Copyright (Year), with permission from Elsevier.”

4. Reproduction of this material is confined to the purpose and/or media for which permission is hereby given.

5. Altering/Modifying Material: Not Permitted. However figures and illustrations may be altered/adapted minimally to serve your work. Any other abbreviations, additions, deletions and/or any other alterations shall be made only with prior written authorization of Elsevier Ltd. (Please contact Elsevier at permissions@elsevier.com)

6. If the permission fee for the requested use of our material is waived in this instance, please be advised that your future requests for Elsevier materials may attract a fee.

7. Reservation of Rights: Publisher reserves all rights not specifically granted in the combination of (i) the license details provided by you and accepted in the course of this licensing transaction, (ii) these terms and conditions and (iii) CCC's Billing and Payment terms and conditions.

8. **License Contingent Upon Payment:** While you may exercise the rights licensed immediately upon issuance of the license at the end of the licensing process for the transaction, provided that you have disclosed complete and accurate details of your proposed use, no license is finally effective unless and until full payment is received from you (either by publisher or by CCC) as provided in CCC's Billing and Payment terms and conditions. If full payment is not received on a timely basis, then any license preliminarily granted shall be deemed automatically revoked and shall be void as if never granted. Further, in the event that you breach any of these terms and conditions or any of CCC's Billing and Payment terms and conditions, the license is automatically revoked and shall be void as if never granted. Use of materials as described in a revoked license, as well as any use of the materials beyond the scope of an unrevoked license, may constitute copyright infringement and publisher reserves the right to take any and all action to protect its copyright in the materials.

9. **Warranties:** Publisher makes no representations or warranties with respect to the licensed material.

10. **Indemnity:** You hereby indemnify and agree to hold harmless publisher and CCC, and their respective officers, directors, employees and agents, from and against any and all claims arising out of your use of the licensed material other than as specifically authorized pursuant to this license.

11. **No Transfer of License:** This license is personal to you and may not be sublicensed, assigned, or transferred by you to any other person without publisher's written permission.

12. **No Amendment Except in Writing:** This license may not be amended except in a writing signed by both parties (or, in the case of publisher, by CCC on publisher's behalf).

13. **Objection to Contrary Terms:** Publisher hereby objects to any terms contained in any purchase order, acknowledgment, check endorsement or other writing prepared by you, which terms are inconsistent with these terms and conditions or CCC's Billing and Payment terms and conditions. These terms and conditions, together with CCC's Billing and Payment terms and conditions (which are incorporated herein), comprise the entire agreement between you and publisher (and CCC) concerning this licensing transaction. In the event of any conflict between your obligations established by these terms and conditions and those established by CCC's Billing and Payment terms and conditions, these terms and conditions shall control.

14. **Revocation:** Elsevier or Copyright Clearance Center may deny the permissions described in this License at their sole discretion, for any reason or no reason, with a full refund payable to you. Notice of such denial will be made using the contact information provided by you. Failure to receive such notice will not alter or invalidate the denial. In no event will Elsevier or Copyright Clearance Center be responsible or liable for any costs, expenses or damage incurred by you as a result of a denial of your permission request, other than a refund of the amount(s) paid by you to Elsevier and/or Copyright Clearance Center for denied permissions.

LIMITED LICENSE

The following terms and conditions apply only to specific license types:

15. **Translation:** This permission is granted for non-exclusive world **English** rights only unless your license was granted for translation rights. If you licensed translation rights you may only translate this content into the languages you requested. A professional translator must perform all translations and reproduce the content word for word preserving the

integrity of the article. If this license is to re-use 1 or 2 figures then permission is granted for non-exclusive world rights in all languages.

16. Posting licensed content on any Website: The following terms and conditions apply as follows: Licensing material from an Elsevier journal: All content posted to the web site must maintain the copyright information line on the bottom of each image; A hyper-text must be included to the Homepage of the journal from which you are licensing at <http://www.sciencedirect.com/science/journal/xxxxx> or the Elsevier homepage for books at <http://www.elsevier.com>; Central Storage: This license does not include permission for a scanned version of the material to be stored in a central repository such as that provided by Heron/XanEdu.

Licensing material from an Elsevier book: A hyper-text link must be included to the Elsevier homepage at <http://www.elsevier.com>. All content posted to the web site must maintain the copyright information line on the bottom of each image.

Posting licensed content on Electronic reserve: In addition to the above the following clauses are applicable: The web site must be password-protected and made available only to bona fide students registered on a relevant course. This permission is granted for 1 year only. You may obtain a new license for future website posting.

17. For journal authors: the following clauses are applicable in addition to the above: Permission granted is limited to the author accepted manuscript version* of your paper.

***Accepted Author Manuscript (AAM) Definition:** An accepted author manuscript (AAM) is the author's version of the manuscript of an article that has been accepted for publication and which may include any author-incorporated changes suggested through the processes of submission processing, peer review, and editor-author communications. AAMs do not include other publisher value-added contributions such as copy-editing, formatting, technical enhancements and (if relevant) pagination.

You are not allowed to download and post the published journal article (whether PDF or HTML, proof or final version), nor may you scan the printed edition to create an electronic version. A hyper-text must be included to the Homepage of the journal from which you are licensing at <http://www.sciencedirect.com/science/journal/xxxxx>. As part of our normal production process, you will receive an e-mail notice when your article appears on Elsevier's online service ScienceDirect (www.sciencedirect.com). That e-mail will include the article's Digital Object Identifier (DOI). This number provides the electronic link to the published article and should be included in the posting of your personal version. We ask that you wait until you receive this e-mail and have the DOI to do any posting.

18. Posting to a repository: Authors may post their AAM immediately to their employer's institutional repository for internal use only and may make their manuscript publically available after the journal-specific embargo period has ended.

Please also refer to [Elsevier's Article Posting Policy](#) for further information.

19. For book authors the following clauses are applicable in addition to the above: Authors are permitted to place a brief summary of their work online only.. You are not allowed to download and post the published electronic version of your chapter, nor may you scan the printed edition to create an electronic version. **Posting to a repository:** Authors are permitted to post a summary of their chapter only in their institution's repository.

20. Thesis/Dissertation: If your license is for use in a thesis/dissertation your thesis may be submitted to your institution in either print or electronic form. Should your thesis be

published commercially, please reapply for permission. These requirements include permission for the Library and Archives of Canada to supply single copies, on demand, of the complete thesis and include permission for Proquest/UMI to supply single copies, on demand, of the complete thesis. Should your thesis be published commercially, please reapply for permission.

Elsevier Open Access Terms and Conditions

Elsevier publishes Open Access articles in both its Open Access journals and via its Open Access articles option in subscription journals.

Authors publishing in an Open Access journal or who choose to make their article Open Access in an Elsevier subscription journal select one of the following Creative Commons user licenses, which define how a reader may reuse their work: Creative Commons Attribution License (CC BY), Creative Commons Attribution – Non Commercial - ShareAlike (CC BY NC SA) and Creative Commons Attribution – Non Commercial – No Derivatives (CC BY NC ND)

Terms & Conditions applicable to all Elsevier Open Access articles:

Any reuse of the article must not represent the author as endorsing the adaptation of the article nor should the article be modified in such a way as to damage the author's honour or reputation.

The author(s) must be appropriately credited.

If any part of the material to be used (for example, figures) has appeared in our publication with credit or acknowledgement to another source it is the responsibility of the user to ensure their reuse complies with the terms and conditions determined by the rights holder.

Additional Terms & Conditions applicable to each Creative Commons user license:

CC BY: You may distribute and copy the article, create extracts, abstracts, and other revised versions, adaptations or derivative works of or from an article (such as a translation), to include in a collective work (such as an anthology), to text or data mine the article, including for commercial purposes without permission from Elsevier

CC BY NC SA: For non-commercial purposes you may distribute and copy the article, create extracts, abstracts and other revised versions, adaptations or derivative works of or from an article (such as a translation), to include in a collective work (such as an anthology), to text and data mine the article and license new adaptations or creations under identical terms without permission from Elsevier

CC BY NC ND: For non-commercial purposes you may distribute and copy the article and include it in a collective work (such as an anthology), provided you do not alter or modify the article, without permission from Elsevier

Any commercial reuse of Open Access articles published with a CC BY NC SA or CC BY NC ND license requires permission from Elsevier and will be subject to a fee.

Commercial reuse includes:

- Promotional purposes (advertising or marketing)

- Commercial exploitation (e.g. a product for sale or loan)
- Systematic distribution (for a fee or free of charge)

Please refer to [Elsevier's Open Access Policy](#) for further information.

21. Other Conditions:

v1.7

Questions? customercare@copyright.com or +1-855-239-3415 (toll free in the US) or +1-978-646-2777.

Gratis licenses (referencing \$0 in the Total field) are free. Please retain this printable license for your reference. No payment is required.

ELSEVIER LICENSE TERMS AND CONDITIONS

Mar 04, 2015

This is a License Agreement between Fidel Salas Vicente ("You") and Elsevier ("Elsevier") provided by Copyright Clearance Center ("CCC"). The license consists of your order details, the terms and conditions provided by Elsevier, and the payment terms and conditions.

All payments must be made in full to CCC. For payment instructions, please see information listed at the bottom of this form.

| | |
|--|---|
| Supplier | Elsevier Limited The Boulevard,Langford Lane Kidlington,Oxford,OX5 1GB,UK |
| Registered Company Number | 1982084 |
| Customer name | Fidel Salas Vicente |
| Customer address | Avda. Castellón, 5 Geldo, Castellón 12412 |
| License number | 3582031053165 |
| License date | Mar 04, 2015 |
| Licensed content publisher | Elsevier |
| Licensed content publication | Wear |
| Licensed content title | Recent developments in coefficient of friction measurements at the rail/wheel interface |
| Licensed content author | H Harrison,T McCanney,J Cotter |
| Licensed content date | July 2002 |
| Licensed content volume number | 253 |
| Licensed content issue number | 1-2 |
| Number of pages | 10 |
| Start Page | 114 |
| End Page | 123 |
| Type of Use | reuse in a thesis/dissertation |
| Intended publisher of new work | other |
| Portion | figures/tables/illustrations |
| Number of figures/tables/illustrations | 1 |
| Format | both print and electronic |
| Are you the author of this Elsevier article? | No |
| Will you be translating? | No |
| Original figure numbers | Figure 1 |

| | |
|-----------------------------------|--|
| Title of your thesis/dissertation | Investigación y modelización de la adherencia, el desgaste y la fenomenología de daño asociada a la rodadura en contactos rueda-carril de aceros al carbono y bainíticos |
| Expected completion date | May 2015 |
| Estimated size (number of pages) | 440 |
| Elsevier VAT number | GB 494 6272 12 |
| Permissions price | 0.00 EUR |
| VAT/Local Sales Tax | 0.00 USD / 0.00 GBP |
| Total | 0.00 EUR |

Terms and Conditions

INTRODUCTION

1. The publisher for this copyrighted material is Elsevier. By clicking "accept" in connection with completing this licensing transaction, you agree that the following terms and conditions apply to this transaction (along with the Billing and Payment terms and conditions established by Copyright Clearance Center, Inc. ("CCC"), at the time that you opened your Rightslink account and that are available at any time at <http://myaccount.copyright.com>).

GENERAL TERMS

2. Elsevier hereby grants you permission to reproduce the aforementioned material subject to the terms and conditions indicated.

3. Acknowledgement: If any part of the material to be used (for example, figures) has appeared in our publication with credit or acknowledgement to another source, permission must also be sought from that source. If such permission is not obtained then that material may not be included in your publication/copies. Suitable acknowledgement to the source must be made, either as a footnote or in a reference list at the end of your publication, as follows:

"Reprinted from Publication title, Vol /edition number, Author(s), Title of article / title of chapter, Pages No., Copyright (Year), with permission from Elsevier [OR APPLICABLE SOCIETY COPYRIGHT OWNER]." Also Lancet special credit - "Reprinted from The Lancet, Vol. number, Author(s), Title of article, Pages No., Copyright (Year), with permission from Elsevier."

4. Reproduction of this material is confined to the purpose and/or media for which permission is hereby given.

5. Altering/Modifying Material: Not Permitted. However figures and illustrations may be altered/adapted minimally to serve your work. Any other abbreviations, additions, deletions and/or any other alterations shall be made only with prior written authorization of Elsevier Ltd. (Please contact Elsevier at permissions@elsevier.com)

6. If the permission fee for the requested use of our material is waived in this instance, please be advised that your future requests for Elsevier materials may attract a fee.

7. Reservation of Rights: Publisher reserves all rights not specifically granted in the combination of (i) the license details provided by you and accepted in the course of this licensing transaction, (ii) these terms and conditions and (iii) CCC's Billing and Payment terms and conditions.

8. **License Contingent Upon Payment:** While you may exercise the rights licensed immediately upon issuance of the license at the end of the licensing process for the transaction, provided that you have disclosed complete and accurate details of your proposed use, no license is finally effective unless and until full payment is received from you (either by publisher or by CCC) as provided in CCC's Billing and Payment terms and conditions. If full payment is not received on a timely basis, then any license preliminarily granted shall be deemed automatically revoked and shall be void as if never granted. Further, in the event that you breach any of these terms and conditions or any of CCC's Billing and Payment terms and conditions, the license is automatically revoked and shall be void as if never granted. Use of materials as described in a revoked license, as well as any use of the materials beyond the scope of an unrevoked license, may constitute copyright infringement and publisher reserves the right to take any and all action to protect its copyright in the materials.

9. **Warranties:** Publisher makes no representations or warranties with respect to the licensed material.

10. **Indemnity:** You hereby indemnify and agree to hold harmless publisher and CCC, and their respective officers, directors, employees and agents, from and against any and all claims arising out of your use of the licensed material other than as specifically authorized pursuant to this license.

11. **No Transfer of License:** This license is personal to you and may not be sublicensed, assigned, or transferred by you to any other person without publisher's written permission.

12. **No Amendment Except in Writing:** This license may not be amended except in a writing signed by both parties (or, in the case of publisher, by CCC on publisher's behalf).

13. **Objection to Contrary Terms:** Publisher hereby objects to any terms contained in any purchase order, acknowledgment, check endorsement or other writing prepared by you, which terms are inconsistent with these terms and conditions or CCC's Billing and Payment terms and conditions. These terms and conditions, together with CCC's Billing and Payment terms and conditions (which are incorporated herein), comprise the entire agreement between you and publisher (and CCC) concerning this licensing transaction. In the event of any conflict between your obligations established by these terms and conditions and those established by CCC's Billing and Payment terms and conditions, these terms and conditions shall control.

14. **Revocation:** Elsevier or Copyright Clearance Center may deny the permissions described in this License at their sole discretion, for any reason or no reason, with a full refund payable to you. Notice of such denial will be made using the contact information provided by you. Failure to receive such notice will not alter or invalidate the denial. In no event will Elsevier or Copyright Clearance Center be responsible or liable for any costs, expenses or damage incurred by you as a result of a denial of your permission request, other than a refund of the amount(s) paid by you to Elsevier and/or Copyright Clearance Center for denied permissions.

LIMITED LICENSE

The following terms and conditions apply only to specific license types:

15. **Translation:** This permission is granted for non-exclusive world **English** rights only unless your license was granted for translation rights. If you licensed translation rights you may only translate this content into the languages you requested. A professional translator must perform all translations and reproduce the content word for word preserving the

integrity of the article. If this license is to re-use 1 or 2 figures then permission is granted for non-exclusive world rights in all languages.

16. Posting licensed content on any Website: The following terms and conditions apply as follows: Licensing material from an Elsevier journal: All content posted to the web site must maintain the copyright information line on the bottom of each image; A hyper-text must be included to the Homepage of the journal from which you are licensing at <http://www.sciencedirect.com/science/journal/xxxxx> or the Elsevier homepage for books at <http://www.elsevier.com>; Central Storage: This license does not include permission for a scanned version of the material to be stored in a central repository such as that provided by Heron/XanEdu.

Licensing material from an Elsevier book: A hyper-text link must be included to the Elsevier homepage at <http://www.elsevier.com> . All content posted to the web site must maintain the copyright information line on the bottom of each image.

Posting licensed content on Electronic reserve: In addition to the above the following clauses are applicable: The web site must be password-protected and made available only to bona fide students registered on a relevant course. This permission is granted for 1 year only. You may obtain a new license for future website posting.

17. For journal authors: the following clauses are applicable in addition to the above:

Preprints:

A preprint is an author's own write-up of research results and analysis, it has not been peer-reviewed, nor has it had any other value added to it by a publisher (such as formatting, copyright, technical enhancement etc.).

Authors can share their preprints anywhere at any time. Preprints should not be added to or enhanced in any way in order to appear more like, or to substitute for, the final versions of articles however authors can update their preprints on arXiv or RePEc with their Accepted Author Manuscript (see below).

If accepted for publication, we encourage authors to link from the preprint to their formal publication via its DOI. Millions of researchers have access to the formal publications on ScienceDirect, and so links will help users to find, access, cite and use the best available version. Please note that Cell Press, The Lancet and some society-owned have different preprint policies. Information on these policies is available on the journal homepage.

Accepted Author Manuscripts: An accepted author manuscript is the manuscript of an article that has been accepted for publication and which typically includes author-incorporated changes suggested during submission, peer review and editor-author communications.

Authors can share their accepted author manuscript:

- immediately
 - via their non-commercial person homepage or blog
 - by updating a preprint in arXiv or RePEc with the accepted manuscript
 - via their research institute or institutional repository for internal institutional

uses or as part of an invitation-only research collaboration work-group

- directly by providing copies to their students or to research collaborators for their personal use
 - for private scholarly sharing as part of an invitation-only work group on commercial sites with which Elsevier has an agreement
- after the embargo period
- via non-commercial hosting platforms such as their institutional repository
 - via commercial sites with which Elsevier has an agreement

In all cases accepted manuscripts should:

- link to the formal publication via its DOI
- bear a CC-BY-NC-ND license - this is easy to do
- if aggregated with other manuscripts, for example in a repository or other site, be shared in alignment with our hosting policy not be added to or enhanced in any way to appear more like, or to substitute for, the published journal article.

Published journal article (JPA): A published journal article (PJA) is the definitive final record of published research that appears or will appear in the journal and embodies all value-adding publishing activities including peer review co-ordination, copy-editing, formatting, (if relevant) pagination and online enrichment.

Policies for sharing publishing journal articles differ for subscription and gold open access articles:

Subscription Articles: If you are an author, please share a link to your article rather than the full-text. Millions of researchers have access to the formal publications on ScienceDirect, and so links will help your users to find, access, cite, and use the best available version.

Theses and dissertations which contain embedded PJAs as part of the formal submission can be posted publicly by the awarding institution with DOI links back to the formal publications on ScienceDirect.

If you are affiliated with a library that subscribes to ScienceDirect you have additional private sharing rights for others' research accessed under that agreement. This includes use for classroom teaching and internal training at the institution (including use in course packs and courseware programs), and inclusion of the article for grant funding purposes.

Gold Open Access Articles: May be shared according to the author-selected end-user license and should contain a [CrossMark logo](#), the end user license, and a DOI link to the formal publication on ScienceDirect.

Please refer to Elsevier's [posting policy](#) for further information.

18. **For book authors** the following clauses are applicable in addition to the above: Authors are permitted to place a brief summary of their work online only. You are not allowed to download and post the published electronic version of your chapter, nor may you scan the printed edition to create an electronic version. **Posting to a repository:** Authors are

permitted to post a summary of their chapter only in their institution's repository.

19. Thesis/Dissertation: If your license is for use in a thesis/dissertation your thesis may be submitted to your institution in either print or electronic form. Should your thesis be published commercially, please reapply for permission. These requirements include permission for the Library and Archives of Canada to supply single copies, on demand, of the complete thesis and include permission for Proquest/UMI to supply single copies, on demand, of the complete thesis. Should your thesis be published commercially, please reapply for permission. Theses and dissertations which contain embedded PJAs as part of the formal submission can be posted publicly by the awarding institution with DOI links back to the formal publications on ScienceDirect.

Elsevier Open Access Terms and Conditions

You can publish open access with Elsevier in hundreds of open access journals or in nearly 2000 established subscription journals that support open access publishing. Permitted third party re-use of these open access articles is defined by the author's choice of Creative Commons user license. See our [open access license policy](#) for more information.

Terms & Conditions applicable to all Open Access articles published with Elsevier:

Any reuse of the article must not represent the author as endorsing the adaptation of the article nor should the article be modified in such a way as to damage the author's honour or reputation. If any changes have been made, such changes must be clearly indicated.

The author(s) must be appropriately credited and we ask that you include the end user license and a DOI link to the formal publication on ScienceDirect.

If any part of the material to be used (for example, figures) has appeared in our publication with credit or acknowledgement to another source it is the responsibility of the user to ensure their reuse complies with the terms and conditions determined by the rights holder.

Additional Terms & Conditions applicable to each Creative Commons user license:

CC BY: The CC-BY license allows users to copy, to create extracts, abstracts and new works from the Article, to alter and revise the Article and to make commercial use of the Article (including reuse and/or resale of the Article by commercial entities), provided the user gives appropriate credit (with a link to the formal publication through the relevant DOI), provides a link to the license, indicates if changes were made and the licensor is not represented as endorsing the use made of the work. The full details of the license are available at <http://creativecommons.org/licenses/by/4.0>.

CC BY NC SA: The CC BY-NC-SA license allows users to copy, to create extracts, abstracts and new works from the Article, to alter and revise the Article, provided this is not done for commercial purposes, and that the user gives appropriate credit (with a link to the formal publication through the relevant DOI), provides a link to the license, indicates if changes were made and the licensor is not represented as endorsing the use made of the work. Further, any new works must be made available on the same conditions. The full details of the license are available at <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0>.

CC BY NC ND: The CC BY-NC-ND license allows users to copy and distribute the Article, provided this is not done for commercial purposes and further does not permit distribution of the Article if it is changed or edited in any way, and provided the user gives appropriate

credit (with a link to the formal publication through the relevant DOI), provides a link to the license, and that the licensor is not represented as endorsing the use made of the work. The full details of the license are available at <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0>. Any commercial reuse of Open Access articles published with a CC BY NC SA or CC BY NC ND license requires permission from Elsevier and will be subject to a fee.

Commercial reuse includes:

- Associating advertising with the full text of the Article
- Charging fees for document delivery or access
- Article aggregation
- Systematic distribution via e-mail lists or share buttons

Posting or linking by commercial companies for use by customers of those companies.

20. Other Conditions:

Questions? customercare@copyright.com or +1-855-239-3415 (toll free in the US) or +1-978-646-2777.

Gratis licenses (referencing \$0 in the Total field) are free. Please retain this printable license for your reference. No payment is required.

ELSEVIER LICENSE TERMS AND CONDITIONS

Mar 04, 2015

This is a License Agreement between Fidel Salas Vicente ("You") and Elsevier ("Elsevier") provided by Copyright Clearance Center ("CCC"). The license consists of your order details, the terms and conditions provided by Elsevier, and the payment terms and conditions.

All payments must be made in full to CCC. For payment instructions, please see information listed at the bottom of this form.

| | |
|--|---|
| Supplier | Elsevier Limited The Boulevard,Langford Lane Kidlington,Oxford,OX5 1GB,UK |
| Registered Company Number | 1982084 |
| Customer name | Fidel Salas Vicente |
| Customer address | Avda. Castellón, 5 Geldo, Castellón 12412 |
| License number | 3582030797848 |
| License date | Mar 04, 2015 |
| Licensed content publisher | Elsevier |
| Licensed content publication | Wear |
| Licensed content title | Recent developments in coefficient of friction measurements at the rail/wheel interface |
| Licensed content author | H Harrison,T McCanney,J Cotter |
| Licensed content date | July 2002 |
| Licensed content volume number | 253 |
| Licensed content issue number | 1-2 |
| Number of pages | 10 |
| Start Page | 114 |
| End Page | 123 |
| Type of Use | reuse in a thesis/dissertation |
| Intended publisher of new work | other |
| Portion | figures/tables/illustrations |
| Number of figures/tables/illustrations | 1 |
| Format | both print and electronic |
| Are you the author of this Elsevier article? | No |
| Will you be translating? | No |
| Original figure numbers | Figure 6 |

| | |
|-----------------------------------|--|
| Title of your thesis/dissertation | Investigación y modelización de la adherencia, el desgaste y la fenomenología de daño asociada a la rodadura en contactos rueda-carril de aceros al carbono y bainíticos |
| Expected completion date | May 2015 |
| Estimated size (number of pages) | 440 |
| Elsevier VAT number | GB 494 6272 12 |
| Permissions price | 0.00 EUR |
| VAT/Local Sales Tax | 0.00 EUR / 0.00 GBP |
| Total | 0.00 EUR |

Terms and Conditions

INTRODUCTION

1. The publisher for this copyrighted material is Elsevier. By clicking "accept" in connection with completing this licensing transaction, you agree that the following terms and conditions apply to this transaction (along with the Billing and Payment terms and conditions established by Copyright Clearance Center, Inc. ("CCC"), at the time that you opened your Rightslink account and that are available at any time at <http://myaccount.copyright.com>).

GENERAL TERMS

2. Elsevier hereby grants you permission to reproduce the aforementioned material subject to the terms and conditions indicated.

3. Acknowledgement: If any part of the material to be used (for example, figures) has appeared in our publication with credit or acknowledgement to another source, permission must also be sought from that source. If such permission is not obtained then that material may not be included in your publication/copies. Suitable acknowledgement to the source must be made, either as a footnote or in a reference list at the end of your publication, as follows:

"Reprinted from Publication title, Vol /edition number, Author(s), Title of article / title of chapter, Pages No., Copyright (Year), with permission from Elsevier [OR APPLICABLE SOCIETY COPYRIGHT OWNER]." Also Lancet special credit - "Reprinted from The Lancet, Vol. number, Author(s), Title of article, Pages No., Copyright (Year), with permission from Elsevier."

4. Reproduction of this material is confined to the purpose and/or media for which permission is hereby given.

5. Altering/Modifying Material: Not Permitted. However figures and illustrations may be altered/adapted minimally to serve your work. Any other abbreviations, additions, deletions and/or any other alterations shall be made only with prior written authorization of Elsevier Ltd. (Please contact Elsevier at permissions@elsevier.com)

6. If the permission fee for the requested use of our material is waived in this instance, please be advised that your future requests for Elsevier materials may attract a fee.

7. Reservation of Rights: Publisher reserves all rights not specifically granted in the combination of (i) the license details provided by you and accepted in the course of this licensing transaction, (ii) these terms and conditions and (iii) CCC's Billing and Payment terms and conditions.

8. **License Contingent Upon Payment:** While you may exercise the rights licensed immediately upon issuance of the license at the end of the licensing process for the transaction, provided that you have disclosed complete and accurate details of your proposed use, no license is finally effective unless and until full payment is received from you (either by publisher or by CCC) as provided in CCC's Billing and Payment terms and conditions. If full payment is not received on a timely basis, then any license preliminarily granted shall be deemed automatically revoked and shall be void as if never granted. Further, in the event that you breach any of these terms and conditions or any of CCC's Billing and Payment terms and conditions, the license is automatically revoked and shall be void as if never granted. Use of materials as described in a revoked license, as well as any use of the materials beyond the scope of an unrevoked license, may constitute copyright infringement and publisher reserves the right to take any and all action to protect its copyright in the materials.

9. **Warranties:** Publisher makes no representations or warranties with respect to the licensed material.

10. **Indemnity:** You hereby indemnify and agree to hold harmless publisher and CCC, and their respective officers, directors, employees and agents, from and against any and all claims arising out of your use of the licensed material other than as specifically authorized pursuant to this license.

11. **No Transfer of License:** This license is personal to you and may not be sublicensed, assigned, or transferred by you to any other person without publisher's written permission.

12. **No Amendment Except in Writing:** This license may not be amended except in a writing signed by both parties (or, in the case of publisher, by CCC on publisher's behalf).

13. **Objection to Contrary Terms:** Publisher hereby objects to any terms contained in any purchase order, acknowledgment, check endorsement or other writing prepared by you, which terms are inconsistent with these terms and conditions or CCC's Billing and Payment terms and conditions. These terms and conditions, together with CCC's Billing and Payment terms and conditions (which are incorporated herein), comprise the entire agreement between you and publisher (and CCC) concerning this licensing transaction. In the event of any conflict between your obligations established by these terms and conditions and those established by CCC's Billing and Payment terms and conditions, these terms and conditions shall control.

14. **Revocation:** Elsevier or Copyright Clearance Center may deny the permissions described in this License at their sole discretion, for any reason or no reason, with a full refund payable to you. Notice of such denial will be made using the contact information provided by you. Failure to receive such notice will not alter or invalidate the denial. In no event will Elsevier or Copyright Clearance Center be responsible or liable for any costs, expenses or damage incurred by you as a result of a denial of your permission request, other than a refund of the amount(s) paid by you to Elsevier and/or Copyright Clearance Center for denied permissions.

LIMITED LICENSE

The following terms and conditions apply only to specific license types:

15. **Translation:** This permission is granted for non-exclusive world **English** rights only unless your license was granted for translation rights. If you licensed translation rights you may only translate this content into the languages you requested. A professional translator must perform all translations and reproduce the content word for word preserving the

integrity of the article. If this license is to re-use 1 or 2 figures then permission is granted for non-exclusive world rights in all languages.

16. Posting licensed content on any Website: The following terms and conditions apply as follows: Licensing material from an Elsevier journal: All content posted to the web site must maintain the copyright information line on the bottom of each image; A hyper-text must be included to the Homepage of the journal from which you are licensing at <http://www.sciencedirect.com/science/journal/xxxxx> or the Elsevier homepage for books at <http://www.elsevier.com>; Central Storage: This license does not include permission for a scanned version of the material to be stored in a central repository such as that provided by Heron/XanEdu.

Licensing material from an Elsevier book: A hyper-text link must be included to the Elsevier homepage at <http://www.elsevier.com> . All content posted to the web site must maintain the copyright information line on the bottom of each image.

Posting licensed content on Electronic reserve: In addition to the above the following clauses are applicable: The web site must be password-protected and made available only to bona fide students registered on a relevant course. This permission is granted for 1 year only. You may obtain a new license for future website posting.

17. For journal authors: the following clauses are applicable in addition to the above:

Preprints:

A preprint is an author's own write-up of research results and analysis, it has not been peer-reviewed, nor has it had any other value added to it by a publisher (such as formatting, copyright, technical enhancement etc.).

Authors can share their preprints anywhere at any time. Preprints should not be added to or enhanced in any way in order to appear more like, or to substitute for, the final versions of articles however authors can update their preprints on arXiv or RePEc with their Accepted Author Manuscript (see below).

If accepted for publication, we encourage authors to link from the preprint to their formal publication via its DOI. Millions of researchers have access to the formal publications on ScienceDirect, and so links will help users to find, access, cite and use the best available version. Please note that Cell Press, The Lancet and some society-owned have different preprint policies. Information on these policies is available on the journal homepage.

Accepted Author Manuscripts: An accepted author manuscript is the manuscript of an article that has been accepted for publication and which typically includes author-incorporated changes suggested during submission, peer review and editor-author communications.

Authors can share their accepted author manuscript:

- immediately
 - via their non-commercial person homepage or blog
 - by updating a preprint in arXiv or RePEc with the accepted manuscript
 - via their research institute or institutional repository for internal institutional

uses or as part of an invitation-only research collaboration work-group

- directly by providing copies to their students or to research collaborators for their personal use
 - for private scholarly sharing as part of an invitation-only work group on commercial sites with which Elsevier has an agreement
- after the embargo period
- via non-commercial hosting platforms such as their institutional repository
 - via commercial sites with which Elsevier has an agreement

In all cases accepted manuscripts should:

- link to the formal publication via its DOI
- bear a CC-BY-NC-ND license - this is easy to do
- if aggregated with other manuscripts, for example in a repository or other site, be shared in alignment with our hosting policy not be added to or enhanced in any way to appear more like, or to substitute for, the published journal article.

Published journal article (JPA): A published journal article (PJA) is the definitive final record of published research that appears or will appear in the journal and embodies all value-adding publishing activities including peer review co-ordination, copy-editing, formatting, (if relevant) pagination and online enrichment.

Policies for sharing publishing journal articles differ for subscription and gold open access articles:

Subscription Articles: If you are an author, please share a link to your article rather than the full-text. Millions of researchers have access to the formal publications on ScienceDirect, and so links will help your users to find, access, cite, and use the best available version.

Theses and dissertations which contain embedded PJAs as part of the formal submission can be posted publicly by the awarding institution with DOI links back to the formal publications on ScienceDirect.

If you are affiliated with a library that subscribes to ScienceDirect you have additional private sharing rights for others' research accessed under that agreement. This includes use for classroom teaching and internal training at the institution (including use in course packs and courseware programs), and inclusion of the article for grant funding purposes.

Gold Open Access Articles: May be shared according to the author-selected end-user license and should contain a [CrossMark logo](#), the end user license, and a DOI link to the formal publication on ScienceDirect.

Please refer to Elsevier's [posting policy](#) for further information.

18. **For book authors** the following clauses are applicable in addition to the above: Authors are permitted to place a brief summary of their work online only. You are not allowed to download and post the published electronic version of your chapter, nor may you scan the printed edition to create an electronic version. **Posting to a repository:** Authors are

permitted to post a summary of their chapter only in their institution's repository.

19. Thesis/Dissertation: If your license is for use in a thesis/dissertation your thesis may be submitted to your institution in either print or electronic form. Should your thesis be published commercially, please reapply for permission. These requirements include permission for the Library and Archives of Canada to supply single copies, on demand, of the complete thesis and include permission for Proquest/UMI to supply single copies, on demand, of the complete thesis. Should your thesis be published commercially, please reapply for permission. Theses and dissertations which contain embedded PJAs as part of the formal submission can be posted publicly by the awarding institution with DOI links back to the formal publications on ScienceDirect.

Elsevier Open Access Terms and Conditions

You can publish open access with Elsevier in hundreds of open access journals or in nearly 2000 established subscription journals that support open access publishing. Permitted third party re-use of these open access articles is defined by the author's choice of Creative Commons user license. See our [open access license policy](#) for more information.

Terms & Conditions applicable to all Open Access articles published with Elsevier:

Any reuse of the article must not represent the author as endorsing the adaptation of the article nor should the article be modified in such a way as to damage the author's honour or reputation. If any changes have been made, such changes must be clearly indicated.

The author(s) must be appropriately credited and we ask that you include the end user license and a DOI link to the formal publication on ScienceDirect.

If any part of the material to be used (for example, figures) has appeared in our publication with credit or acknowledgement to another source it is the responsibility of the user to ensure their reuse complies with the terms and conditions determined by the rights holder.

Additional Terms & Conditions applicable to each Creative Commons user license:

CC BY: The CC-BY license allows users to copy, to create extracts, abstracts and new works from the Article, to alter and revise the Article and to make commercial use of the Article (including reuse and/or resale of the Article by commercial entities), provided the user gives appropriate credit (with a link to the formal publication through the relevant DOI), provides a link to the license, indicates if changes were made and the licensor is not represented as endorsing the use made of the work. The full details of the license are available at <http://creativecommons.org/licenses/by/4.0>.

CC BY NC SA: The CC BY-NC-SA license allows users to copy, to create extracts, abstracts and new works from the Article, to alter and revise the Article, provided this is not done for commercial purposes, and that the user gives appropriate credit (with a link to the formal publication through the relevant DOI), provides a link to the license, indicates if changes were made and the licensor is not represented as endorsing the use made of the work. Further, any new works must be made available on the same conditions. The full details of the license are available at <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0>.

CC BY NC ND: The CC BY-NC-ND license allows users to copy and distribute the Article, provided this is not done for commercial purposes and further does not permit distribution of the Article if it is changed or edited in any way, and provided the user gives appropriate

credit (with a link to the formal publication through the relevant DOI), provides a link to the license, and that the licensor is not represented as endorsing the use made of the work. The full details of the license are available at <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0>. Any commercial reuse of Open Access articles published with a CC BY NC SA or CC BY NC ND license requires permission from Elsevier and will be subject to a fee.

Commercial reuse includes:

- Associating advertising with the full text of the Article
- Charging fees for document delivery or access
- Article aggregation
- Systematic distribution via e-mail lists or share buttons

Posting or linking by commercial companies for use by customers of those companies.

20. Other Conditions:

Questions? customercare@copyright.com or +1-855-239-3415 (toll free in the US) or +1-978-646-2777.

Gratis licenses (referencing \$0 in the Total field) are free. Please retain this printable license for your reference. No payment is required.

ELSEVIER LICENSE TERMS AND CONDITIONS

Feb 21, 2015

This is a License Agreement between Fidel Salas Vicente ("You") and Elsevier ("Elsevier") provided by Copyright Clearance Center ("CCC"). The license consists of your order details, the terms and conditions provided by Elsevier, and the payment terms and conditions.

All payments must be made in full to CCC. For payment instructions, please see information listed at the bottom of this form.

| | |
|--|--|
| Supplier | Elsevier Limited The Boulevard, Langford Lane Kidlington, Oxford, OX5 1GB, UK |
| Registered Company Number | 1982084 |
| Customer name | Fidel Salas Vicente |
| Customer address | Avda. Castellón, 5 Geldo, Castellón 12412 |
| License number | 3573580938426 |
| License date | Feb 21, 2015 |
| Licensed content publisher | Elsevier |
| Licensed content publication | International Journal of Fatigue |
| Licensed content title | Rolling contact fatigue of three pearlitic rail steels Beynon, J.H., Garnham, J.E. and Sawley, K.J. Wear (1996) 192 (1-2), 94-111 |
| Licensed content author | None |
| Licensed content date | September-October 1997 |
| Licensed content volume number | 19 |
| Licensed content issue number | 8-9 |
| Number of pages | 1 |
| Start Page | 662 |
| End Page | 0 |
| Type of Use | reuse in a thesis/dissertation |
| Portion | figures/tables/illustrations |
| Number of figures/tables/illustrations | 3 |
| Format | both print and electronic |
| Are you the author of this Elsevier article? | No |
| Will you be translating? | No |
| Original figure numbers | Figures 4, 5 and 6 |
| Title of your thesis/dissertation | Investigación y modelización de la adherencia, el desgaste y la fenomenología de daño asociada a la rodadura en contactos rueda-carril de aceros al carbono y bainíticos |

| | |
|----------------------------------|---------------------|
| Expected completion date | May 2015 |
| Estimated size (number of pages) | 440 |
| Elsevier VAT number | GB 494 6272 12 |
| Permissions price | 0.00 EUR |
| VAT/Local Sales Tax | 0.00 EUR / 0.00 GBP |
| Total | 0.00 EUR |

[Terms and Conditions](#)

INTRODUCTION

1. The publisher for this copyrighted material is Elsevier. By clicking "accept" in connection with completing this licensing transaction, you agree that the following terms and conditions apply to this transaction (along with the Billing and Payment terms and conditions established by Copyright Clearance Center, Inc. ("CCC"), at the time that you opened your Rightslink account and that are available at any time at <http://myaccount.copyright.com>).

GENERAL TERMS

2. Elsevier hereby grants you permission to reproduce the aforementioned material subject to the terms and conditions indicated.

3. Acknowledgement: If any part of the material to be used (for example, figures) has appeared in our publication with credit or acknowledgement to another source, permission must also be sought from that source. If such permission is not obtained then that material may not be included in your publication/copies. Suitable acknowledgement to the source must be made, either as a footnote or in a reference list at the end of your publication, as follows:

“Reprinted from Publication title, Vol /edition number, Author(s), Title of article / title of chapter, Pages No., Copyright (Year), with permission from Elsevier [OR APPLICABLE SOCIETY COPYRIGHT OWNER].” Also Lancet special credit - “Reprinted from The Lancet, Vol. number, Author(s), Title of article, Pages No., Copyright (Year), with permission from Elsevier.”

4. Reproduction of this material is confined to the purpose and/or media for which permission is hereby given.

5. Altering/Modifying Material: Not Permitted. However figures and illustrations may be altered/adapted minimally to serve your work. Any other abbreviations, additions, deletions and/or any other alterations shall be made only with prior written authorization of Elsevier Ltd. (Please contact Elsevier at permissions@elsevier.com)

6. If the permission fee for the requested use of our material is waived in this instance, please be advised that your future requests for Elsevier materials may attract a fee.

7. Reservation of Rights: Publisher reserves all rights not specifically granted in the combination of (i) the license details provided by you and accepted in the course of this licensing transaction, (ii) these terms and conditions and (iii) CCC's Billing and Payment terms and conditions.

8. License Contingent Upon Payment: While you may exercise the rights licensed immediately upon issuance of the license at the end of the licensing process for the

transaction, provided that you have disclosed complete and accurate details of your proposed use, no license is finally effective unless and until full payment is received from you (either by publisher or by CCC) as provided in CCC's Billing and Payment terms and conditions. If full payment is not received on a timely basis, then any license preliminarily granted shall be deemed automatically revoked and shall be void as if never granted. Further, in the event that you breach any of these terms and conditions or any of CCC's Billing and Payment terms and conditions, the license is automatically revoked and shall be void as if never granted. Use of materials as described in a revoked license, as well as any use of the materials beyond the scope of an unrevoked license, may constitute copyright infringement and publisher reserves the right to take any and all action to protect its copyright in the materials.

9. **Warranties:** Publisher makes no representations or warranties with respect to the licensed material.

10. **Indemnity:** You hereby indemnify and agree to hold harmless publisher and CCC, and their respective officers, directors, employees and agents, from and against any and all claims arising out of your use of the licensed material other than as specifically authorized pursuant to this license.

11. **No Transfer of License:** This license is personal to you and may not be sublicensed, assigned, or transferred by you to any other person without publisher's written permission.

12. **No Amendment Except in Writing:** This license may not be amended except in a writing signed by both parties (or, in the case of publisher, by CCC on publisher's behalf).

13. **Objection to Contrary Terms:** Publisher hereby objects to any terms contained in any purchase order, acknowledgment, check endorsement or other writing prepared by you, which terms are inconsistent with these terms and conditions or CCC's Billing and Payment terms and conditions. These terms and conditions, together with CCC's Billing and Payment terms and conditions (which are incorporated herein), comprise the entire agreement between you and publisher (and CCC) concerning this licensing transaction. In the event of any conflict between your obligations established by these terms and conditions and those established by CCC's Billing and Payment terms and conditions, these terms and conditions shall control.

14. **Revocation:** Elsevier or Copyright Clearance Center may deny the permissions described in this License at their sole discretion, for any reason or no reason, with a full refund payable to you. Notice of such denial will be made using the contact information provided by you. Failure to receive such notice will not alter or invalidate the denial. In no event will Elsevier or Copyright Clearance Center be responsible or liable for any costs, expenses or damage incurred by you as a result of a denial of your permission request, other than a refund of the amount(s) paid by you to Elsevier and/or Copyright Clearance Center for denied permissions.

LIMITED LICENSE

The following terms and conditions apply only to specific license types:

15. **Translation:** This permission is granted for non-exclusive world **English** rights only unless your license was granted for translation rights. If you licensed translation rights you may only translate this content into the languages you requested. A professional translator must perform all translations and reproduce the content word for word preserving the integrity of the article. If this license is to re-use 1 or 2 figures then permission is granted for non-exclusive world rights in all languages.

16. Posting licensed content on any Website: The following terms and conditions apply as follows: Licensing material from an Elsevier journal: All content posted to the web site must maintain the copyright information line on the bottom of each image; A hyper-text must be included to the Homepage of the journal from which you are licensing at <http://www.sciencedirect.com/science/journal/xxxxx> or the Elsevier homepage for books at <http://www.elsevier.com>; Central Storage: This license does not include permission for a scanned version of the material to be stored in a central repository such as that provided by Heron/XanEdu.

Licensing material from an Elsevier book: A hyper-text link must be included to the Elsevier homepage at <http://www.elsevier.com>. All content posted to the web site must maintain the copyright information line on the bottom of each image.

Posting licensed content on Electronic reserve: In addition to the above the following clauses are applicable: The web site must be password-protected and made available only to bona fide students registered on a relevant course. This permission is granted for 1 year only. You may obtain a new license for future website posting.

17. For journal authors: the following clauses are applicable in addition to the above: Permission granted is limited to the author accepted manuscript version* of your paper.

***Accepted Author Manuscript (AAM) Definition:** An accepted author manuscript (AAM) is the author's version of the manuscript of an article that has been accepted for publication and which may include any author-incorporated changes suggested through the processes of submission processing, peer review, and editor-author communications. AAMs do not include other publisher value-added contributions such as copy-editing, formatting, technical enhancements and (if relevant) pagination.

You are not allowed to download and post the published journal article (whether PDF or HTML, proof or final version), nor may you scan the printed edition to create an electronic version. A hyper-text must be included to the Homepage of the journal from which you are licensing at <http://www.sciencedirect.com/science/journal/xxxxx>. As part of our normal production process, you will receive an e-mail notice when your article appears on Elsevier's online service ScienceDirect (www.sciencedirect.com). That e-mail will include the article's Digital Object Identifier (DOI). This number provides the electronic link to the published article and should be included in the posting of your personal version. We ask that you wait until you receive this e-mail and have the DOI to do any posting.

18. Posting to a repository: Authors may post their AAM immediately to their employer's institutional repository for internal use only and may make their manuscript publically available after the journal-specific embargo period has ended.

Please also refer to [Elsevier's Article Posting Policy](#) for further information.

19. For book authors the following clauses are applicable in addition to the above: Authors are permitted to place a brief summary of their work online only.. You are not allowed to download and post the published electronic version of your chapter, nor may you scan the printed edition to create an electronic version. **Posting to a repository:** Authors are permitted to post a summary of their chapter only in their institution's repository.

20. Thesis/Dissertation: If your license is for use in a thesis/dissertation your thesis may be submitted to your institution in either print or electronic form. Should your thesis be published commercially, please reapply for permission. These requirements include permission for the Library and Archives of Canada to supply single copies, on demand, of the complete thesis and include permission for Proquest/UMI to supply single copies, on

demand, of the complete thesis. Should your thesis be published commercially, please reapply for permission.

Elsevier Open Access Terms and Conditions

Elsevier publishes Open Access articles in both its Open Access journals and via its Open Access articles option in subscription journals.

Authors publishing in an Open Access journal or who choose to make their article Open Access in an Elsevier subscription journal select one of the following Creative Commons user licenses, which define how a reader may reuse their work: Creative Commons Attribution License (CC BY), Creative Commons Attribution – Non Commercial - ShareAlike (CC BY NC SA) and Creative Commons Attribution – Non Commercial – No Derivatives (CC BY NC ND)

Terms & Conditions applicable to all Elsevier Open Access articles:

Any reuse of the article must not represent the author as endorsing the adaptation of the article nor should the article be modified in such a way as to damage the author's honour or reputation.

The author(s) must be appropriately credited.

If any part of the material to be used (for example, figures) has appeared in our publication with credit or acknowledgement to another source it is the responsibility of the user to ensure their reuse complies with the terms and conditions determined by the rights holder.

Additional Terms & Conditions applicable to each Creative Commons user license:

CC BY: You may distribute and copy the article, create extracts, abstracts, and other revised versions, adaptations or derivative works of or from an article (such as a translation), to include in a collective work (such as an anthology), to text or data mine the article, including for commercial purposes without permission from Elsevier

CC BY NC SA: For non-commercial purposes you may distribute and copy the article, create extracts, abstracts and other revised versions, adaptations or derivative works of or from an article (such as a translation), to include in a collective work (such as an anthology), to text and data mine the article and license new adaptations or creations under identical terms without permission from Elsevier

CC BY NC ND: For non-commercial purposes you may distribute and copy the article and include it in a collective work (such as an anthology), provided you do not alter or modify the article, without permission from Elsevier

Any commercial reuse of Open Access articles published with a CC BY NC SA or CC BY NC ND license requires permission from Elsevier and will be subject to a fee.

Commercial reuse includes:

- Promotional purposes (advertising or marketing)
- Commercial exploitation (e.g. a product for sale or loan)
- Systematic distribution (for a fee or free of charge)

Please refer to [Elsevier's Open Access Policy](#) for further information.

21. Other Conditions:

v1.7

Questions? customercare@copyright.com or +1-855-239-3415 (toll free in the US) or +1-978-646-2777.

Gratis licenses (referencing \$0 in the Total field) are free. Please retain this printable license for your reference. No payment is required.

ELSEVIER LICENSE TERMS AND CONDITIONS

Mar 07, 2015

This is a License Agreement between Fidel Salas Vicente ("You") and Elsevier ("Elsevier") provided by Copyright Clearance Center ("CCC"). The license consists of your order details, the terms and conditions provided by Elsevier, and the payment terms and conditions.

All payments must be made in full to CCC. For payment instructions, please see information listed at the bottom of this form.

| | |
|--|--|
| Supplier | Elsevier Limited The Boulevard, Langford Lane Kidlington, Oxford, OX5 1GB, UK |
| Registered Company Number | 1982084 |
| Customer name | Fidel Salas Vicente |
| Customer address | Avda. Castellón, 5 Geldo, Castellón 12412 |
| License number | 3583661166967 |
| License date | Mar 07, 2015 |
| Licensed content publisher | Elsevier |
| Licensed content publication | Wear |
| Licensed content title | Shear mode growth of short surface-breaking RCF cracks |
| Licensed content author | Jonas W. Ringsberg |
| Licensed content date | March 2005 |
| Licensed content volume number | 258 |
| Licensed content issue number | 7-8 |
| Number of pages | 9 |
| Start Page | 955 |
| End Page | 963 |
| Type of Use | reuse in a thesis/dissertation |
| Portion | figures/tables/illustrations |
| Number of figures/tables/illustrations | 2 |
| Format | both print and electronic |
| Are you the author of this Elsevier article? | No |
| Will you be translating? | No |
| Original figure numbers | Figures 1 and 2 |
| Title of your thesis/dissertation | Investigación y modelización de la adherencia, el desgaste y la fenomenología de daño asociada a la rodadura en contactos rueda-carril de aceros al carbono y bainíticos |

| | |
|----------------------------------|---------------------|
| Expected completion date | May 2015 |
| Estimated size (number of pages) | 440 |
| Elsevier VAT number | GB 494 6272 12 |
| Permissions price | 0.00 EUR |
| VAT/Local Sales Tax | 0.00 EUR / 0.00 GBP |
| Total | 0.00 EUR |

[Terms and Conditions](#)

INTRODUCTION

1. The publisher for this copyrighted material is Elsevier. By clicking "accept" in connection with completing this licensing transaction, you agree that the following terms and conditions apply to this transaction (along with the Billing and Payment terms and conditions established by Copyright Clearance Center, Inc. ("CCC"), at the time that you opened your Rightslink account and that are available at any time at <http://myaccount.copyright.com>).

GENERAL TERMS

2. Elsevier hereby grants you permission to reproduce the aforementioned material subject to the terms and conditions indicated.

3. Acknowledgement: If any part of the material to be used (for example, figures) has appeared in our publication with credit or acknowledgement to another source, permission must also be sought from that source. If such permission is not obtained then that material may not be included in your publication/copies. Suitable acknowledgement to the source must be made, either as a footnote or in a reference list at the end of your publication, as follows:

"Reprinted from Publication title, Vol /edition number, Author(s), Title of article / title of chapter, Pages No., Copyright (Year), with permission from Elsevier [OR APPLICABLE SOCIETY COPYRIGHT OWNER]." Also Lancet special credit - "Reprinted from The Lancet, Vol. number, Author(s), Title of article, Pages No., Copyright (Year), with permission from Elsevier."

4. Reproduction of this material is confined to the purpose and/or media for which permission is hereby given.

5. Altering/Modifying Material: Not Permitted. However figures and illustrations may be altered/adapted minimally to serve your work. Any other abbreviations, additions, deletions and/or any other alterations shall be made only with prior written authorization of Elsevier Ltd. (Please contact Elsevier at permissions@elsevier.com)

6. If the permission fee for the requested use of our material is waived in this instance, please be advised that your future requests for Elsevier materials may attract a fee.

7. Reservation of Rights: Publisher reserves all rights not specifically granted in the combination of (i) the license details provided by you and accepted in the course of this licensing transaction, (ii) these terms and conditions and (iii) CCC's Billing and Payment terms and conditions.

8. License Contingent Upon Payment: While you may exercise the rights licensed immediately upon issuance of the license at the end of the licensing process for the

transaction, provided that you have disclosed complete and accurate details of your proposed use, no license is finally effective unless and until full payment is received from you (either by publisher or by CCC) as provided in CCC's Billing and Payment terms and conditions. If full payment is not received on a timely basis, then any license preliminarily granted shall be deemed automatically revoked and shall be void as if never granted. Further, in the event that you breach any of these terms and conditions or any of CCC's Billing and Payment terms and conditions, the license is automatically revoked and shall be void as if never granted. Use of materials as described in a revoked license, as well as any use of the materials beyond the scope of an unrevoked license, may constitute copyright infringement and publisher reserves the right to take any and all action to protect its copyright in the materials.

9. **Warranties:** Publisher makes no representations or warranties with respect to the licensed material.

10. **Indemnity:** You hereby indemnify and agree to hold harmless publisher and CCC, and their respective officers, directors, employees and agents, from and against any and all claims arising out of your use of the licensed material other than as specifically authorized pursuant to this license.

11. **No Transfer of License:** This license is personal to you and may not be sublicensed, assigned, or transferred by you to any other person without publisher's written permission.

12. **No Amendment Except in Writing:** This license may not be amended except in a writing signed by both parties (or, in the case of publisher, by CCC on publisher's behalf).

13. **Objection to Contrary Terms:** Publisher hereby objects to any terms contained in any purchase order, acknowledgment, check endorsement or other writing prepared by you, which terms are inconsistent with these terms and conditions or CCC's Billing and Payment terms and conditions. These terms and conditions, together with CCC's Billing and Payment terms and conditions (which are incorporated herein), comprise the entire agreement between you and publisher (and CCC) concerning this licensing transaction. In the event of any conflict between your obligations established by these terms and conditions and those established by CCC's Billing and Payment terms and conditions, these terms and conditions shall control.

14. **Revocation:** Elsevier or Copyright Clearance Center may deny the permissions described in this License at their sole discretion, for any reason or no reason, with a full refund payable to you. Notice of such denial will be made using the contact information provided by you. Failure to receive such notice will not alter or invalidate the denial. In no event will Elsevier or Copyright Clearance Center be responsible or liable for any costs, expenses or damage incurred by you as a result of a denial of your permission request, other than a refund of the amount(s) paid by you to Elsevier and/or Copyright Clearance Center for denied permissions.

LIMITED LICENSE

The following terms and conditions apply only to specific license types:

15. **Translation:** This permission is granted for non-exclusive world **English** rights only unless your license was granted for translation rights. If you licensed translation rights you may only translate this content into the languages you requested. A professional translator must perform all translations and reproduce the content word for word preserving the integrity of the article. If this license is to re-use 1 or 2 figures then permission is granted for non-exclusive world rights in all languages.

16. Posting licensed content on any Website: The following terms and conditions apply as follows: Licensing material from an Elsevier journal: All content posted to the web site must maintain the copyright information line on the bottom of each image; A hyper-text must be included to the Homepage of the journal from which you are licensing at <http://www.sciencedirect.com/science/journal/xxxxx> or the Elsevier homepage for books at <http://www.elsevier.com>; Central Storage: This license does not include permission for a scanned version of the material to be stored in a central repository such as that provided by Heron/XanEdu.

Licensing material from an Elsevier book: A hyper-text link must be included to the Elsevier homepage at <http://www.elsevier.com>. All content posted to the web site must maintain the copyright information line on the bottom of each image.

Posting licensed content on Electronic reserve: In addition to the above the following clauses are applicable: The web site must be password-protected and made available only to bona fide students registered on a relevant course. This permission is granted for 1 year only. You may obtain a new license for future website posting.

17. For journal authors: the following clauses are applicable in addition to the above:

Preprints:

A preprint is an author's own write-up of research results and analysis, it has not been peer-reviewed, nor has it had any other value added to it by a publisher (such as formatting, copyright, technical enhancement etc.).

Authors can share their preprints anywhere at any time. Preprints should not be added to or enhanced in any way in order to appear more like, or to substitute for, the final versions of articles however authors can update their preprints on arXiv or RePEc with their Accepted Author Manuscript (see below).

If accepted for publication, we encourage authors to link from the preprint to their formal publication via its DOI. Millions of researchers have access to the formal publications on ScienceDirect, and so links will help users to find, access, cite and use the best available version. Please note that Cell Press, The Lancet and some society-owned have different preprint policies. Information on these policies is available on the journal homepage.

Accepted Author Manuscripts: An accepted author manuscript is the manuscript of an article that has been accepted for publication and which typically includes author-incorporated changes suggested during submission, peer review and editor-author communications.

Authors can share their accepted author manuscript:

- immediately
 - via their non-commercial person homepage or blog
 - by updating a preprint in arXiv or RePEc with the accepted manuscript
 - via their research institute or institutional repository for internal institutional uses or as part of an invitation-only research collaboration work-group
 - directly by providing copies to their students or to research collaborators for

their personal use

- for private scholarly sharing as part of an invitation-only work group on commercial sites with which Elsevier has an agreement
- after the embargo period
 - via non-commercial hosting platforms such as their institutional repository
 - via commercial sites with which Elsevier has an agreement

In all cases accepted manuscripts should:

- link to the formal publication via its DOI
- bear a CC-BY-NC-ND license - this is easy to do
- if aggregated with other manuscripts, for example in a repository or other site, be shared in alignment with our hosting policy not be added to or enhanced in any way to appear more like, or to substitute for, the published journal article.

Published journal article (JPA): A published journal article (PJA) is the definitive final record of published research that appears or will appear in the journal and embodies all value-adding publishing activities including peer review co-ordination, copy-editing, formatting, (if relevant) pagination and online enrichment.

Policies for sharing publishing journal articles differ for subscription and gold open access articles:

Subscription Articles: If you are an author, please share a link to your article rather than the full-text. Millions of researchers have access to the formal publications on ScienceDirect, and so links will help your users to find, access, cite, and use the best available version.

Theses and dissertations which contain embedded PJAs as part of the formal submission can be posted publicly by the awarding institution with DOI links back to the formal publications on ScienceDirect.

If you are affiliated with a library that subscribes to ScienceDirect you have additional private sharing rights for others' research accessed under that agreement. This includes use for classroom teaching and internal training at the institution (including use in course packs and courseware programs), and inclusion of the article for grant funding purposes.

Gold Open Access Articles: May be shared according to the author-selected end-user license and should contain a [CrossMark logo](#), the end user license, and a DOI link to the formal publication on ScienceDirect.

Please refer to Elsevier's [posting policy](#) for further information.

18. **For book authors** the following clauses are applicable in addition to the above: Authors are permitted to place a brief summary of their work online only. You are not allowed to download and post the published electronic version of your chapter, nor may you scan the printed edition to create an electronic version. **Posting to a repository:** Authors are permitted to post a summary of their chapter only in their institution's repository.

19. **Thesis/Dissertation:** If your license is for use in a thesis/dissertation your thesis may be

submitted to your institution in either print or electronic form. Should your thesis be published commercially, please reapply for permission. These requirements include permission for the Library and Archives of Canada to supply single copies, on demand, of the complete thesis and include permission for Proquest/UMI to supply single copies, on demand, of the complete thesis. Should your thesis be published commercially, please reapply for permission. Theses and dissertations which contain embedded PJAs as part of the formal submission can be posted publicly by the awarding institution with DOI links back to the formal publications on ScienceDirect.

Elsevier Open Access Terms and Conditions

You can publish open access with Elsevier in hundreds of open access journals or in nearly 2000 established subscription journals that support open access publishing. Permitted third party re-use of these open access articles is defined by the author's choice of Creative Commons user license. See our [open access license policy](#) for more information.

Terms & Conditions applicable to all Open Access articles published with Elsevier:

Any reuse of the article must not represent the author as endorsing the adaptation of the article nor should the article be modified in such a way as to damage the author's honour or reputation. If any changes have been made, such changes must be clearly indicated.

The author(s) must be appropriately credited and we ask that you include the end user license and a DOI link to the formal publication on ScienceDirect.

If any part of the material to be used (for example, figures) has appeared in our publication with credit or acknowledgement to another source it is the responsibility of the user to ensure their reuse complies with the terms and conditions determined by the rights holder.

Additional Terms & Conditions applicable to each Creative Commons user license:

CC BY: The CC-BY license allows users to copy, to create extracts, abstracts and new works from the Article, to alter and revise the Article and to make commercial use of the Article (including reuse and/or resale of the Article by commercial entities), provided the user gives appropriate credit (with a link to the formal publication through the relevant DOI), provides a link to the license, indicates if changes were made and the licensor is not represented as endorsing the use made of the work. The full details of the license are available at <http://creativecommons.org/licenses/by/4.0>.

CC BY NC SA: The CC BY-NC-SA license allows users to copy, to create extracts, abstracts and new works from the Article, to alter and revise the Article, provided this is not done for commercial purposes, and that the user gives appropriate credit (with a link to the formal publication through the relevant DOI), provides a link to the license, indicates if changes were made and the licensor is not represented as endorsing the use made of the work. Further, any new works must be made available on the same conditions. The full details of the license are available at <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0>.

CC BY NC ND: The CC BY-NC-ND license allows users to copy and distribute the Article, provided this is not done for commercial purposes and further does not permit distribution of the Article if it is changed or edited in any way, and provided the user gives appropriate credit (with a link to the formal publication through the relevant DOI), provides a link to the license, and that the licensor is not represented as endorsing the use made of the work. The full details of the license are available at <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0>.

Any commercial reuse of Open Access articles published with a CC BY NC SA or CC BY NC ND license requires permission from Elsevier and will be subject to a fee.

Commercial reuse includes:

- Associating advertising with the full text of the Article
- Charging fees for document delivery or access
- Article aggregation
- Systematic distribution via e-mail lists or share buttons

Posting or linking by commercial companies for use by customers of those companies.

20. Other Conditions:

Questions? customercare@copyright.com or +1-855-239-3415 (toll free in the US) or +1-978-646-2777.

Gratis licenses (referencing \$0 in the Total field) are free. Please retain this printable license for your reference. No payment is required.

ELSEVIER LICENSE TERMS AND CONDITIONS

Feb 21, 2015

This is a License Agreement between Fidel Salas Vicente ("You") and Elsevier ("Elsevier") provided by Copyright Clearance Center ("CCC"). The license consists of your order details, the terms and conditions provided by Elsevier, and the payment terms and conditions.

All payments must be made in full to CCC. For payment instructions, please see information listed at the bottom of this form.

| | |
|--|---|
| Supplier | Elsevier Limited The Boulevard,Langford Lane Kidlington,Oxford,OX5 1GB,UK |
| Registered Company Number | 1982084 |
| Customer name | Fidel Salas Vicente |
| Customer address | Avda. Castellón, 5 Geldo, Castellón 12412 |
| License number | 3573611129862 |
| License date | Feb 21, 2015 |
| Licensed content publisher | Elsevier |
| Licensed content publication | Wear |
| Licensed content title | Surface initiated fatigue of pearlitic and bainitic steels under water lubricated rolling/sliding contact |
| Licensed content author | P. Clayton,X. Su |
| Licensed content date | 1 December 1996 |
| Licensed content volume number | 200 |
| Licensed content issue number | 1-2 |
| Number of pages | 11 |
| Start Page | 63 |
| End Page | 73 |
| Type of Use | reuse in a thesis/dissertation |
| Intended publisher of new work | other |
| Portion | figures/tables/illustrations |
| Number of figures/tables/illustrations | 1 |
| Format | both print and electronic |
| Are you the author of this Elsevier article? | No |
| Will you be translating? | No |
| Original figure numbers | Figure 7 |

| | |
|-----------------------------------|--|
| Title of your thesis/dissertation | Investigación y modelización de la adherencia, el desgaste y la fenomenología de daño asociada a la rodadura en contactos rueda-carril de aceros al carbono y bainíticos |
| Expected completion date | May 2015 |
| Estimated size (number of pages) | 440 |
| Elsevier VAT number | GB 494 6272 12 |
| Permissions price | 0.00 EUR |
| VAT/Local Sales Tax | 0.00 EUR / 0.00 GBP |
| Total | 0.00 EUR |

Terms and Conditions

INTRODUCTION

1. The publisher for this copyrighted material is Elsevier. By clicking "accept" in connection with completing this licensing transaction, you agree that the following terms and conditions apply to this transaction (along with the Billing and Payment terms and conditions established by Copyright Clearance Center, Inc. ("CCC"), at the time that you opened your Rightslink account and that are available at any time at <http://myaccount.copyright.com>).

GENERAL TERMS

2. Elsevier hereby grants you permission to reproduce the aforementioned material subject to the terms and conditions indicated.

3. Acknowledgement: If any part of the material to be used (for example, figures) has appeared in our publication with credit or acknowledgement to another source, permission must also be sought from that source. If such permission is not obtained then that material may not be included in your publication/copies. Suitable acknowledgement to the source must be made, either as a footnote or in a reference list at the end of your publication, as follows:

“Reprinted from Publication title, Vol /edition number, Author(s), Title of article / title of chapter, Pages No., Copyright (Year), with permission from Elsevier [OR APPLICABLE SOCIETY COPYRIGHT OWNER].” Also Lancet special credit - “Reprinted from The Lancet, Vol. number, Author(s), Title of article, Pages No., Copyright (Year), with permission from Elsevier.”

4. Reproduction of this material is confined to the purpose and/or media for which permission is hereby given.

5. Altering/Modifying Material: Not Permitted. However figures and illustrations may be altered/adapted minimally to serve your work. Any other abbreviations, additions, deletions and/or any other alterations shall be made only with prior written authorization of Elsevier Ltd. (Please contact Elsevier at permissions@elsevier.com)

6. If the permission fee for the requested use of our material is waived in this instance, please be advised that your future requests for Elsevier materials may attract a fee.

7. Reservation of Rights: Publisher reserves all rights not specifically granted in the combination of (i) the license details provided by you and accepted in the course of this licensing transaction, (ii) these terms and conditions and (iii) CCC's Billing and Payment terms and conditions.

8. **License Contingent Upon Payment:** While you may exercise the rights licensed immediately upon issuance of the license at the end of the licensing process for the transaction, provided that you have disclosed complete and accurate details of your proposed use, no license is finally effective unless and until full payment is received from you (either by publisher or by CCC) as provided in CCC's Billing and Payment terms and conditions. If full payment is not received on a timely basis, then any license preliminarily granted shall be deemed automatically revoked and shall be void as if never granted. Further, in the event that you breach any of these terms and conditions or any of CCC's Billing and Payment terms and conditions, the license is automatically revoked and shall be void as if never granted. Use of materials as described in a revoked license, as well as any use of the materials beyond the scope of an unrevoked license, may constitute copyright infringement and publisher reserves the right to take any and all action to protect its copyright in the materials.

9. **Warranties:** Publisher makes no representations or warranties with respect to the licensed material.

10. **Indemnity:** You hereby indemnify and agree to hold harmless publisher and CCC, and their respective officers, directors, employees and agents, from and against any and all claims arising out of your use of the licensed material other than as specifically authorized pursuant to this license.

11. **No Transfer of License:** This license is personal to you and may not be sublicensed, assigned, or transferred by you to any other person without publisher's written permission.

12. **No Amendment Except in Writing:** This license may not be amended except in a writing signed by both parties (or, in the case of publisher, by CCC on publisher's behalf).

13. **Objection to Contrary Terms:** Publisher hereby objects to any terms contained in any purchase order, acknowledgment, check endorsement or other writing prepared by you, which terms are inconsistent with these terms and conditions or CCC's Billing and Payment terms and conditions. These terms and conditions, together with CCC's Billing and Payment terms and conditions (which are incorporated herein), comprise the entire agreement between you and publisher (and CCC) concerning this licensing transaction. In the event of any conflict between your obligations established by these terms and conditions and those established by CCC's Billing and Payment terms and conditions, these terms and conditions shall control.

14. **Revocation:** Elsevier or Copyright Clearance Center may deny the permissions described in this License at their sole discretion, for any reason or no reason, with a full refund payable to you. Notice of such denial will be made using the contact information provided by you. Failure to receive such notice will not alter or invalidate the denial. In no event will Elsevier or Copyright Clearance Center be responsible or liable for any costs, expenses or damage incurred by you as a result of a denial of your permission request, other than a refund of the amount(s) paid by you to Elsevier and/or Copyright Clearance Center for denied permissions.

LIMITED LICENSE

The following terms and conditions apply only to specific license types:

15. **Translation:** This permission is granted for non-exclusive world **English** rights only unless your license was granted for translation rights. If you licensed translation rights you may only translate this content into the languages you requested. A professional translator must perform all translations and reproduce the content word for word preserving the

integrity of the article. If this license is to re-use 1 or 2 figures then permission is granted for non-exclusive world rights in all languages.

16. Posting licensed content on any Website: The following terms and conditions apply as follows: Licensing material from an Elsevier journal: All content posted to the web site must maintain the copyright information line on the bottom of each image; A hyper-text must be included to the Homepage of the journal from which you are licensing at <http://www.sciencedirect.com/science/journal/xxxxx> or the Elsevier homepage for books at <http://www.elsevier.com>; Central Storage: This license does not include permission for a scanned version of the material to be stored in a central repository such as that provided by Heron/XanEdu.

Licensing material from an Elsevier book: A hyper-text link must be included to the Elsevier homepage at <http://www.elsevier.com>. All content posted to the web site must maintain the copyright information line on the bottom of each image.

Posting licensed content on Electronic reserve: In addition to the above the following clauses are applicable: The web site must be password-protected and made available only to bona fide students registered on a relevant course. This permission is granted for 1 year only. You may obtain a new license for future website posting.

17. For journal authors: the following clauses are applicable in addition to the above: Permission granted is limited to the author accepted manuscript version* of your paper.

***Accepted Author Manuscript (AAM) Definition:** An accepted author manuscript (AAM) is the author's version of the manuscript of an article that has been accepted for publication and which may include any author-incorporated changes suggested through the processes of submission processing, peer review, and editor-author communications. AAMs do not include other publisher value-added contributions such as copy-editing, formatting, technical enhancements and (if relevant) pagination.

You are not allowed to download and post the published journal article (whether PDF or HTML, proof or final version), nor may you scan the printed edition to create an electronic version. A hyper-text must be included to the Homepage of the journal from which you are licensing at <http://www.sciencedirect.com/science/journal/xxxxx>. As part of our normal production process, you will receive an e-mail notice when your article appears on Elsevier's online service ScienceDirect (www.sciencedirect.com). That e-mail will include the article's Digital Object Identifier (DOI). This number provides the electronic link to the published article and should be included in the posting of your personal version. We ask that you wait until you receive this e-mail and have the DOI to do any posting.

18. Posting to a repository: Authors may post their AAM immediately to their employer's institutional repository for internal use only and may make their manuscript publically available after the journal-specific embargo period has ended.

Please also refer to [Elsevier's Article Posting Policy](#) for further information.

19. For book authors the following clauses are applicable in addition to the above: Authors are permitted to place a brief summary of their work online only.. You are not allowed to download and post the published electronic version of your chapter, nor may you scan the printed edition to create an electronic version. **Posting to a repository:** Authors are permitted to post a summary of their chapter only in their institution's repository.

20. Thesis/Dissertation: If your license is for use in a thesis/dissertation your thesis may be submitted to your institution in either print or electronic form. Should your thesis be

published commercially, please reapply for permission. These requirements include permission for the Library and Archives of Canada to supply single copies, on demand, of the complete thesis and include permission for Proquest/UMI to supply single copies, on demand, of the complete thesis. Should your thesis be published commercially, please reapply for permission.

Elsevier Open Access Terms and Conditions

Elsevier publishes Open Access articles in both its Open Access journals and via its Open Access articles option in subscription journals.

Authors publishing in an Open Access journal or who choose to make their article Open Access in an Elsevier subscription journal select one of the following Creative Commons user licenses, which define how a reader may reuse their work: Creative Commons Attribution License (CC BY), Creative Commons Attribution – Non Commercial - ShareAlike (CC BY NC SA) and Creative Commons Attribution – Non Commercial – No Derivatives (CC BY NC ND)

Terms & Conditions applicable to all Elsevier Open Access articles:

Any reuse of the article must not represent the author as endorsing the adaptation of the article nor should the article be modified in such a way as to damage the author's honour or reputation.

The author(s) must be appropriately credited.

If any part of the material to be used (for example, figures) has appeared in our publication with credit or acknowledgement to another source it is the responsibility of the user to ensure their reuse complies with the terms and conditions determined by the rights holder.

Additional Terms & Conditions applicable to each Creative Commons user license:

CC BY: You may distribute and copy the article, create extracts, abstracts, and other revised versions, adaptations or derivative works of or from an article (such as a translation), to include in a collective work (such as an anthology), to text or data mine the article, including for commercial purposes without permission from Elsevier

CC BY NC SA: For non-commercial purposes you may distribute and copy the article, create extracts, abstracts and other revised versions, adaptations or derivative works of or from an article (such as a translation), to include in a collective work (such as an anthology), to text and data mine the article and license new adaptations or creations under identical terms without permission from Elsevier

CC BY NC ND: For non-commercial purposes you may distribute and copy the article and include it in a collective work (such as an anthology), provided you do not alter or modify the article, without permission from Elsevier

Any commercial reuse of Open Access articles published with a CC BY NC SA or CC BY NC ND license requires permission from Elsevier and will be subject to a fee.

Commercial reuse includes:

- Promotional purposes (advertising or marketing)

- Commercial exploitation (e.g. a product for sale or loan)
- Systematic distribution (for a fee or free of charge)

Please refer to [Elsevier's Open Access Policy](#) for further information.

21. Other Conditions:

v1.7

Questions? customercare@copyright.com or +1-855-239-3415 (toll free in the US) or +1-978-646-2777.

Gratis licenses (referencing \$0 in the Total field) are free. Please retain this printable license for your reference. No payment is required.

ELSEVIER LICENSE TERMS AND CONDITIONS

Mar 08, 2015

This is a License Agreement between Fidel Salas Vicente ("You") and Elsevier ("Elsevier") provided by Copyright Clearance Center ("CCC"). The license consists of your order details, the terms and conditions provided by Elsevier, and the payment terms and conditions.

All payments must be made in full to CCC. For payment instructions, please see information listed at the bottom of this form.

| | |
|--|---|
| Supplier | Elsevier Limited The Boulevard, Langford Lane Kidlington, Oxford, OX5 1GB, UK |
| Registered Company Number | 1982084 |
| Customer name | Fidel Salas Vicente |
| Customer address | Avda. Castellón, 5 Geldo, Castellón 12412 |
| License number | 3584300192204 |
| License date | Mar 08, 2015 |
| Licensed content publisher | Elsevier |
| Licensed content publication | Tribology International |
| Licensed content title | Temperature in a twin-disc wheel/rail contact simulation |
| Licensed content author | None |
| Licensed content date | December 2006 |
| Licensed content volume number | 39 |
| Licensed content issue number | 12 |
| Number of pages | 11 |
| Start Page | 1653 |
| End Page | 1663 |
| Type of Use | reuse in a thesis/dissertation |
| Intended publisher of new work | other |
| Portion | figures/tables/illustrations |
| Number of figures/tables/illustrations | 1 |
| Format | both print and electronic |
| Are you the author of this Elsevier article? | No |
| Will you be translating? | No |
| Original figure numbers | Figure 7 |
| Title of your | Investigación y modelización de la adherencia, el desgaste y la |

| | |
|----------------------------------|--|
| thesis/dissertation | fenomenología de daño asociada a la rodadura en contactos rueda-carril de aceros al carbono y bainíticos |
| Expected completion date | May 2015 |
| Estimated size (number of pages) | 440 |
| Elsevier VAT number | GB 494 6272 12 |
| Permissions price | 0.00 EUR |
| VAT/Local Sales Tax | 0.00 USD / 0.00 GBP |
| Total | 0.00 EUR |
| Terms and Conditions | |

INTRODUCTION

1. The publisher for this copyrighted material is Elsevier. By clicking "accept" in connection with completing this licensing transaction, you agree that the following terms and conditions apply to this transaction (along with the Billing and Payment terms and conditions established by Copyright Clearance Center, Inc. ("CCC"), at the time that you opened your Rightslink account and that are available at any time at <http://myaccount.copyright.com>).

GENERAL TERMS

2. Elsevier hereby grants you permission to reproduce the aforementioned material subject to the terms and conditions indicated.

3. Acknowledgement: If any part of the material to be used (for example, figures) has appeared in our publication with credit or acknowledgement to another source, permission must also be sought from that source. If such permission is not obtained then that material may not be included in your publication/copies. Suitable acknowledgement to the source must be made, either as a footnote or in a reference list at the end of your publication, as follows:

"Reprinted from Publication title, Vol /edition number, Author(s), Title of article / title of chapter, Pages No., Copyright (Year), with permission from Elsevier [OR APPLICABLE SOCIETY COPYRIGHT OWNER]." Also Lancet special credit - "Reprinted from The Lancet, Vol. number, Author(s), Title of article, Pages No., Copyright (Year), with permission from Elsevier."

4. Reproduction of this material is confined to the purpose and/or media for which permission is hereby given.

5. Altering/Modifying Material: Not Permitted. However figures and illustrations may be altered/adapted minimally to serve your work. Any other abbreviations, additions, deletions and/or any other alterations shall be made only with prior written authorization of Elsevier Ltd. (Please contact Elsevier at permissions@elsevier.com)

6. If the permission fee for the requested use of our material is waived in this instance, please be advised that your future requests for Elsevier materials may attract a fee.

7. Reservation of Rights: Publisher reserves all rights not specifically granted in the combination of (i) the license details provided by you and accepted in the course of this licensing transaction, (ii) these terms and conditions and (iii) CCC's Billing and Payment terms and conditions.

8. **License Contingent Upon Payment:** While you may exercise the rights licensed immediately upon issuance of the license at the end of the licensing process for the transaction, provided that you have disclosed complete and accurate details of your proposed use, no license is finally effective unless and until full payment is received from you (either by publisher or by CCC) as provided in CCC's Billing and Payment terms and conditions. If full payment is not received on a timely basis, then any license preliminarily granted shall be deemed automatically revoked and shall be void as if never granted. Further, in the event that you breach any of these terms and conditions or any of CCC's Billing and Payment terms and conditions, the license is automatically revoked and shall be void as if never granted. Use of materials as described in a revoked license, as well as any use of the materials beyond the scope of an unrevoked license, may constitute copyright infringement and publisher reserves the right to take any and all action to protect its copyright in the materials.

9. **Warranties:** Publisher makes no representations or warranties with respect to the licensed material.

10. **Indemnity:** You hereby indemnify and agree to hold harmless publisher and CCC, and their respective officers, directors, employees and agents, from and against any and all claims arising out of your use of the licensed material other than as specifically authorized pursuant to this license.

11. **No Transfer of License:** This license is personal to you and may not be sublicensed, assigned, or transferred by you to any other person without publisher's written permission.

12. **No Amendment Except in Writing:** This license may not be amended except in a writing signed by both parties (or, in the case of publisher, by CCC on publisher's behalf).

13. **Objection to Contrary Terms:** Publisher hereby objects to any terms contained in any purchase order, acknowledgment, check endorsement or other writing prepared by you, which terms are inconsistent with these terms and conditions or CCC's Billing and Payment terms and conditions. These terms and conditions, together with CCC's Billing and Payment terms and conditions (which are incorporated herein), comprise the entire agreement between you and publisher (and CCC) concerning this licensing transaction. In the event of any conflict between your obligations established by these terms and conditions and those established by CCC's Billing and Payment terms and conditions, these terms and conditions shall control.

14. **Revocation:** Elsevier or Copyright Clearance Center may deny the permissions described in this License at their sole discretion, for any reason or no reason, with a full refund payable to you. Notice of such denial will be made using the contact information provided by you. Failure to receive such notice will not alter or invalidate the denial. In no event will Elsevier or Copyright Clearance Center be responsible or liable for any costs, expenses or damage incurred by you as a result of a denial of your permission request, other than a refund of the amount(s) paid by you to Elsevier and/or Copyright Clearance Center for denied permissions.

LIMITED LICENSE

The following terms and conditions apply only to specific license types:

15. **Translation:** This permission is granted for non-exclusive world **English** rights only unless your license was granted for translation rights. If you licensed translation rights you may only translate this content into the languages you requested. A professional translator must perform all translations and reproduce the content word for word preserving the

integrity of the article. If this license is to re-use 1 or 2 figures then permission is granted for non-exclusive world rights in all languages.

16. Posting licensed content on any Website: The following terms and conditions apply as follows: Licensing material from an Elsevier journal: All content posted to the web site must maintain the copyright information line on the bottom of each image; A hyper-text must be included to the Homepage of the journal from which you are licensing at <http://www.sciencedirect.com/science/journal/xxxxx> or the Elsevier homepage for books at <http://www.elsevier.com>; Central Storage: This license does not include permission for a scanned version of the material to be stored in a central repository such as that provided by Heron/XanEdu.

Licensing material from an Elsevier book: A hyper-text link must be included to the Elsevier homepage at <http://www.elsevier.com> . All content posted to the web site must maintain the copyright information line on the bottom of each image.

Posting licensed content on Electronic reserve: In addition to the above the following clauses are applicable: The web site must be password-protected and made available only to bona fide students registered on a relevant course. This permission is granted for 1 year only. You may obtain a new license for future website posting.

17. For journal authors: the following clauses are applicable in addition to the above:

Preprints:

A preprint is an author's own write-up of research results and analysis, it has not been peer-reviewed, nor has it had any other value added to it by a publisher (such as formatting, copyright, technical enhancement etc.).

Authors can share their preprints anywhere at any time. Preprints should not be added to or enhanced in any way in order to appear more like, or to substitute for, the final versions of articles however authors can update their preprints on arXiv or RePEc with their Accepted Author Manuscript (see below).

If accepted for publication, we encourage authors to link from the preprint to their formal publication via its DOI. Millions of researchers have access to the formal publications on ScienceDirect, and so links will help users to find, access, cite and use the best available version. Please note that Cell Press, The Lancet and some society-owned have different preprint policies. Information on these policies is available on the journal homepage.

Accepted Author Manuscripts: An accepted author manuscript is the manuscript of an article that has been accepted for publication and which typically includes author-incorporated changes suggested during submission, peer review and editor-author communications.

Authors can share their accepted author manuscript:

- immediately
 - via their non-commercial person homepage or blog
 - by updating a preprint in arXiv or RePEc with the accepted manuscript
 - via their research institute or institutional repository for internal institutional

uses or as part of an invitation-only research collaboration work-group

- directly by providing copies to their students or to research collaborators for their personal use
 - for private scholarly sharing as part of an invitation-only work group on commercial sites with which Elsevier has an agreement
- after the embargo period
- via non-commercial hosting platforms such as their institutional repository
 - via commercial sites with which Elsevier has an agreement

In all cases accepted manuscripts should:

- link to the formal publication via its DOI
- bear a CC-BY-NC-ND license - this is easy to do
- if aggregated with other manuscripts, for example in a repository or other site, be shared in alignment with our hosting policy not be added to or enhanced in any way to appear more like, or to substitute for, the published journal article.

Published journal article (JPA): A published journal article (PJA) is the definitive final record of published research that appears or will appear in the journal and embodies all value-adding publishing activities including peer review co-ordination, copy-editing, formatting, (if relevant) pagination and online enrichment.

Policies for sharing publishing journal articles differ for subscription and gold open access articles:

Subscription Articles: If you are an author, please share a link to your article rather than the full-text. Millions of researchers have access to the formal publications on ScienceDirect, and so links will help your users to find, access, cite, and use the best available version.

Theses and dissertations which contain embedded PJAs as part of the formal submission can be posted publicly by the awarding institution with DOI links back to the formal publications on ScienceDirect.

If you are affiliated with a library that subscribes to ScienceDirect you have additional private sharing rights for others' research accessed under that agreement. This includes use for classroom teaching and internal training at the institution (including use in course packs and courseware programs), and inclusion of the article for grant funding purposes.

Gold Open Access Articles: May be shared according to the author-selected end-user license and should contain a [CrossMark logo](#), the end user license, and a DOI link to the formal publication on ScienceDirect.

Please refer to Elsevier's [posting policy](#) for further information.

18. **For book authors** the following clauses are applicable in addition to the above: Authors are permitted to place a brief summary of their work online only. You are not allowed to download and post the published electronic version of your chapter, nor may you scan the printed edition to create an electronic version. **Posting to a repository:** Authors are

permitted to post a summary of their chapter only in their institution's repository.

19. Thesis/Dissertation: If your license is for use in a thesis/dissertation your thesis may be submitted to your institution in either print or electronic form. Should your thesis be published commercially, please reapply for permission. These requirements include permission for the Library and Archives of Canada to supply single copies, on demand, of the complete thesis and include permission for Proquest/UMI to supply single copies, on demand, of the complete thesis. Should your thesis be published commercially, please reapply for permission. Theses and dissertations which contain embedded PJAs as part of the formal submission can be posted publicly by the awarding institution with DOI links back to the formal publications on ScienceDirect.

Elsevier Open Access Terms and Conditions

You can publish open access with Elsevier in hundreds of open access journals or in nearly 2000 established subscription journals that support open access publishing. Permitted third party re-use of these open access articles is defined by the author's choice of Creative Commons user license. See our [open access license policy](#) for more information.

Terms & Conditions applicable to all Open Access articles published with Elsevier:

Any reuse of the article must not represent the author as endorsing the adaptation of the article nor should the article be modified in such a way as to damage the author's honour or reputation. If any changes have been made, such changes must be clearly indicated.

The author(s) must be appropriately credited and we ask that you include the end user license and a DOI link to the formal publication on ScienceDirect.

If any part of the material to be used (for example, figures) has appeared in our publication with credit or acknowledgement to another source it is the responsibility of the user to ensure their reuse complies with the terms and conditions determined by the rights holder.

Additional Terms & Conditions applicable to each Creative Commons user license:

CC BY: The CC-BY license allows users to copy, to create extracts, abstracts and new works from the Article, to alter and revise the Article and to make commercial use of the Article (including reuse and/or resale of the Article by commercial entities), provided the user gives appropriate credit (with a link to the formal publication through the relevant DOI), provides a link to the license, indicates if changes were made and the licensor is not represented as endorsing the use made of the work. The full details of the license are available at <http://creativecommons.org/licenses/by/4.0>.

CC BY NC SA: The CC BY-NC-SA license allows users to copy, to create extracts, abstracts and new works from the Article, to alter and revise the Article, provided this is not done for commercial purposes, and that the user gives appropriate credit (with a link to the formal publication through the relevant DOI), provides a link to the license, indicates if changes were made and the licensor is not represented as endorsing the use made of the work. Further, any new works must be made available on the same conditions. The full details of the license are available at <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0>.

CC BY NC ND: The CC BY-NC-ND license allows users to copy and distribute the Article, provided this is not done for commercial purposes and further does not permit distribution of the Article if it is changed or edited in any way, and provided the user gives appropriate

credit (with a link to the formal publication through the relevant DOI), provides a link to the license, and that the licensor is not represented as endorsing the use made of the work. The full details of the license are available at <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0>. Any commercial reuse of Open Access articles published with a CC BY NC SA or CC BY NC ND license requires permission from Elsevier and will be subject to a fee.

Commercial reuse includes:

- Associating advertising with the full text of the Article
- Charging fees for document delivery or access
- Article aggregation
- Systematic distribution via e-mail lists or share buttons

Posting or linking by commercial companies for use by customers of those companies.

20. Other Conditions:

Questions? customercare@copyright.com or +1-855-239-3415 (toll free in the US) or +1-978-646-2777.

Gratis licenses (referencing \$0 in the Total field) are free. Please retain this printable license for your reference. No payment is required.

ELSEVIER LICENSE TERMS AND CONDITIONS

Feb 21, 2015

This is a License Agreement between Fidel Salas Vicente ("You") and Elsevier ("Elsevier") provided by Copyright Clearance Center ("CCC"). The license consists of your order details, the terms and conditions provided by Elsevier, and the payment terms and conditions.

All payments must be made in full to CCC. For payment instructions, please see information listed at the bottom of this form.

| | |
|--|---|
| Supplier | Elsevier Limited The Boulevard, Langford Lane Kidlington, Oxford, OX5 1GB, UK |
| Registered Company Number | 1982084 |
| Customer name | Fidel Salas Vicente |
| Customer address | Avda. Castellón, 5 Geldo, Castellón 12412 |
| License number | 3573651382393 |
| License date | Feb 21, 2015 |
| Licensed content publisher | Elsevier |
| Licensed content publication | Tribology International |
| Licensed content title | Temperature in a twin-disc wheel/rail contact simulation |
| Licensed content author | None |
| Licensed content date | December 2006 |
| Licensed content volume number | 39 |
| Licensed content issue number | 12 |
| Number of pages | 11 |
| Start Page | 1653 |
| End Page | 1663 |
| Type of Use | reuse in a thesis/dissertation |
| Intended publisher of new work | other |
| Portion | figures/tables/illustrations |
| Number of figures/tables/illustrations | 2 |
| Format | both print and electronic |
| Are you the author of this Elsevier article? | No |
| Will you be translating? | No |
| Original figure numbers | Figures 19 and 20 |
| Title of your | Investigación y modelización de la adherencia, el desgaste y la |

| | |
|----------------------------------|--|
| thesis/dissertation | fenomenología de daño asociada a la rodadura en contactos rueda-carril de aceros al carbono y bainíticos |
| Expected completion date | May 2015 |
| Estimated size (number of pages) | 440 |
| Elsevier VAT number | GB 494 6272 12 |
| Permissions price | 0.00 EUR |
| VAT/Local Sales Tax | 0.00 EUR / 0.00 GBP |
| Total | 0.00 EUR |
| Terms and Conditions | |

INTRODUCTION

1. The publisher for this copyrighted material is Elsevier. By clicking "accept" in connection with completing this licensing transaction, you agree that the following terms and conditions apply to this transaction (along with the Billing and Payment terms and conditions established by Copyright Clearance Center, Inc. ("CCC"), at the time that you opened your Rightslink account and that are available at any time at <http://myaccount.copyright.com>).

GENERAL TERMS

2. Elsevier hereby grants you permission to reproduce the aforementioned material subject to the terms and conditions indicated.

3. Acknowledgement: If any part of the material to be used (for example, figures) has appeared in our publication with credit or acknowledgement to another source, permission must also be sought from that source. If such permission is not obtained then that material may not be included in your publication/copies. Suitable acknowledgement to the source must be made, either as a footnote or in a reference list at the end of your publication, as follows:

“Reprinted from Publication title, Vol /edition number, Author(s), Title of article / title of chapter, Pages No., Copyright (Year), with permission from Elsevier [OR APPLICABLE SOCIETY COPYRIGHT OWNER].” Also Lancet special credit - “Reprinted from The Lancet, Vol. number, Author(s), Title of article, Pages No., Copyright (Year), with permission from Elsevier.”

4. Reproduction of this material is confined to the purpose and/or media for which permission is hereby given.

5. Altering/Modifying Material: Not Permitted. However figures and illustrations may be altered/adapted minimally to serve your work. Any other abbreviations, additions, deletions and/or any other alterations shall be made only with prior written authorization of Elsevier Ltd. (Please contact Elsevier at permissions@elsevier.com)

6. If the permission fee for the requested use of our material is waived in this instance, please be advised that your future requests for Elsevier materials may attract a fee.

7. Reservation of Rights: Publisher reserves all rights not specifically granted in the combination of (i) the license details provided by you and accepted in the course of this licensing transaction, (ii) these terms and conditions and (iii) CCC's Billing and Payment terms and conditions.

8. **License Contingent Upon Payment:** While you may exercise the rights licensed immediately upon issuance of the license at the end of the licensing process for the transaction, provided that you have disclosed complete and accurate details of your proposed use, no license is finally effective unless and until full payment is received from you (either by publisher or by CCC) as provided in CCC's Billing and Payment terms and conditions. If full payment is not received on a timely basis, then any license preliminarily granted shall be deemed automatically revoked and shall be void as if never granted. Further, in the event that you breach any of these terms and conditions or any of CCC's Billing and Payment terms and conditions, the license is automatically revoked and shall be void as if never granted. Use of materials as described in a revoked license, as well as any use of the materials beyond the scope of an unrevoked license, may constitute copyright infringement and publisher reserves the right to take any and all action to protect its copyright in the materials.

9. **Warranties:** Publisher makes no representations or warranties with respect to the licensed material.

10. **Indemnity:** You hereby indemnify and agree to hold harmless publisher and CCC, and their respective officers, directors, employees and agents, from and against any and all claims arising out of your use of the licensed material other than as specifically authorized pursuant to this license.

11. **No Transfer of License:** This license is personal to you and may not be sublicensed, assigned, or transferred by you to any other person without publisher's written permission.

12. **No Amendment Except in Writing:** This license may not be amended except in a writing signed by both parties (or, in the case of publisher, by CCC on publisher's behalf).

13. **Objection to Contrary Terms:** Publisher hereby objects to any terms contained in any purchase order, acknowledgment, check endorsement or other writing prepared by you, which terms are inconsistent with these terms and conditions or CCC's Billing and Payment terms and conditions. These terms and conditions, together with CCC's Billing and Payment terms and conditions (which are incorporated herein), comprise the entire agreement between you and publisher (and CCC) concerning this licensing transaction. In the event of any conflict between your obligations established by these terms and conditions and those established by CCC's Billing and Payment terms and conditions, these terms and conditions shall control.

14. **Revocation:** Elsevier or Copyright Clearance Center may deny the permissions described in this License at their sole discretion, for any reason or no reason, with a full refund payable to you. Notice of such denial will be made using the contact information provided by you. Failure to receive such notice will not alter or invalidate the denial. In no event will Elsevier or Copyright Clearance Center be responsible or liable for any costs, expenses or damage incurred by you as a result of a denial of your permission request, other than a refund of the amount(s) paid by you to Elsevier and/or Copyright Clearance Center for denied permissions.

LIMITED LICENSE

The following terms and conditions apply only to specific license types:

15. **Translation:** This permission is granted for non-exclusive world **English** rights only unless your license was granted for translation rights. If you licensed translation rights you may only translate this content into the languages you requested. A professional translator must perform all translations and reproduce the content word for word preserving the

integrity of the article. If this license is to re-use 1 or 2 figures then permission is granted for non-exclusive world rights in all languages.

16. Posting licensed content on any Website: The following terms and conditions apply as follows: Licensing material from an Elsevier journal: All content posted to the web site must maintain the copyright information line on the bottom of each image; A hyper-text must be included to the Homepage of the journal from which you are licensing at <http://www.sciencedirect.com/science/journal/xxxxx> or the Elsevier homepage for books at <http://www.elsevier.com>; Central Storage: This license does not include permission for a scanned version of the material to be stored in a central repository such as that provided by Heron/XanEdu.

Licensing material from an Elsevier book: A hyper-text link must be included to the Elsevier homepage at <http://www.elsevier.com>. All content posted to the web site must maintain the copyright information line on the bottom of each image.

Posting licensed content on Electronic reserve: In addition to the above the following clauses are applicable: The web site must be password-protected and made available only to bona fide students registered on a relevant course. This permission is granted for 1 year only. You may obtain a new license for future website posting.

17. For journal authors: the following clauses are applicable in addition to the above: Permission granted is limited to the author accepted manuscript version* of your paper.

***Accepted Author Manuscript (AAM) Definition:** An accepted author manuscript (AAM) is the author's version of the manuscript of an article that has been accepted for publication and which may include any author-incorporated changes suggested through the processes of submission processing, peer review, and editor-author communications. AAMs do not include other publisher value-added contributions such as copy-editing, formatting, technical enhancements and (if relevant) pagination.

You are not allowed to download and post the published journal article (whether PDF or HTML, proof or final version), nor may you scan the printed edition to create an electronic version. A hyper-text must be included to the Homepage of the journal from which you are licensing at <http://www.sciencedirect.com/science/journal/xxxxx>. As part of our normal production process, you will receive an e-mail notice when your article appears on Elsevier's online service ScienceDirect (www.sciencedirect.com). That e-mail will include the article's Digital Object Identifier (DOI). This number provides the electronic link to the published article and should be included in the posting of your personal version. We ask that you wait until you receive this e-mail and have the DOI to do any posting.

18. Posting to a repository: Authors may post their AAM immediately to their employer's institutional repository for internal use only and may make their manuscript publically available after the journal-specific embargo period has ended.

Please also refer to [Elsevier's Article Posting Policy](#) for further information.

19. For book authors the following clauses are applicable in addition to the above: Authors are permitted to place a brief summary of their work online only.. You are not allowed to download and post the published electronic version of your chapter, nor may you scan the printed edition to create an electronic version. **Posting to a repository:** Authors are permitted to post a summary of their chapter only in their institution's repository.

20. Thesis/Dissertation: If your license is for use in a thesis/dissertation your thesis may be submitted to your institution in either print or electronic form. Should your thesis be

published commercially, please reapply for permission. These requirements include permission for the Library and Archives of Canada to supply single copies, on demand, of the complete thesis and include permission for Proquest/UMI to supply single copies, on demand, of the complete thesis. Should your thesis be published commercially, please reapply for permission.

Elsevier Open Access Terms and Conditions

Elsevier publishes Open Access articles in both its Open Access journals and via its Open Access articles option in subscription journals.

Authors publishing in an Open Access journal or who choose to make their article Open Access in an Elsevier subscription journal select one of the following Creative Commons user licenses, which define how a reader may reuse their work: Creative Commons Attribution License (CC BY), Creative Commons Attribution – Non Commercial - ShareAlike (CC BY NC SA) and Creative Commons Attribution – Non Commercial – No Derivatives (CC BY NC ND)

Terms & Conditions applicable to all Elsevier Open Access articles:

Any reuse of the article must not represent the author as endorsing the adaptation of the article nor should the article be modified in such a way as to damage the author's honour or reputation.

The author(s) must be appropriately credited.

If any part of the material to be used (for example, figures) has appeared in our publication with credit or acknowledgement to another source it is the responsibility of the user to ensure their reuse complies with the terms and conditions determined by the rights holder.

Additional Terms & Conditions applicable to each Creative Commons user license:

CC BY: You may distribute and copy the article, create extracts, abstracts, and other revised versions, adaptations or derivative works of or from an article (such as a translation), to include in a collective work (such as an anthology), to text or data mine the article, including for commercial purposes without permission from Elsevier

CC BY NC SA: For non-commercial purposes you may distribute and copy the article, create extracts, abstracts and other revised versions, adaptations or derivative works of or from an article (such as a translation), to include in a collective work (such as an anthology), to text and data mine the article and license new adaptations or creations under identical terms without permission from Elsevier

CC BY NC ND: For non-commercial purposes you may distribute and copy the article and include it in a collective work (such as an anthology), provided you do not alter or modify the article, without permission from Elsevier

Any commercial reuse of Open Access articles published with a CC BY NC SA or CC BY NC ND license requires permission from Elsevier and will be subject to a fee.

Commercial reuse includes:

- Promotional purposes (advertising or marketing)

- Commercial exploitation (e.g. a product for sale or loan)
- Systematic distribution (for a fee or free of charge)

Please refer to [Elsevier's Open Access Policy](#) for further information.

21. Other Conditions:

v1.7

Questions? customercare@copyright.com or +1-855-239-3415 (toll free in the US) or +1-978-646-2777.

Gratis licenses (referencing \$0 in the Total field) are free. Please retain this printable license for your reference. No payment is required.

ELSEVIER LICENSE TERMS AND CONDITIONS

Feb 21, 2015

This is a License Agreement between Fidel Salas Vicente ("You") and Elsevier ("Elsevier") provided by Copyright Clearance Center ("CCC"). The license consists of your order details, the terms and conditions provided by Elsevier, and the payment terms and conditions.

All payments must be made in full to CCC. For payment instructions, please see information listed at the bottom of this form.

| | |
|--|---|
| Supplier | Elsevier Limited The Boulevard, Langford Lane Kidlington, Oxford, OX5 1GB, UK |
| Registered Company Number | 1982084 |
| Customer name | Fidel Salas Vicente |
| Customer address | Avda. Castellón, 5 Geldo, Castellón 12412 |
| License number | 3573620868334 |
| License date | Feb 21, 2015 |
| Licensed content publisher | Elsevier |
| Licensed content publication | Engineering Fracture Mechanics |
| Licensed content title | The competitive role of wear and RCF in a rail steel |
| Licensed content author | G. Donzella, M. Faccoli, A. Ghidini, A. Mazzù, R. Roberti |
| Licensed content date | January 2005 |
| Licensed content volume number | 72 |
| Licensed content issue number | 2 |
| Number of pages | 22 |
| Start Page | 287 |
| End Page | 308 |
| Type of Use | reuse in a thesis/dissertation |
| Intended publisher of new work | other |
| Portion | figures/tables/illustrations |
| Number of figures/tables/illustrations | 2 |
| Format | both print and electronic |
| Are you the author of this Elsevier article? | No |
| Will you be translating? | No |
| Original figure numbers | Figures 16 and 20 |
| Title of your | Investigación y modelización de la adherencia, el desgaste y la |

| | |
|----------------------------------|--|
| thesis/dissertation | fenomenología de daño asociada a la rodadura en contactos rueda-carril de aceros al carbono y bainíticos |
| Expected completion date | May 2015 |
| Estimated size (number of pages) | 440 |
| Elsevier VAT number | GB 494 6272 12 |
| Permissions price | 0.00 EUR |
| VAT/Local Sales Tax | 0.00 EUR / 0.00 GBP |
| Total | 0.00 EUR |
| Terms and Conditions | |

INTRODUCTION

1. The publisher for this copyrighted material is Elsevier. By clicking "accept" in connection with completing this licensing transaction, you agree that the following terms and conditions apply to this transaction (along with the Billing and Payment terms and conditions established by Copyright Clearance Center, Inc. ("CCC"), at the time that you opened your Rightslink account and that are available at any time at <http://myaccount.copyright.com>).

GENERAL TERMS

2. Elsevier hereby grants you permission to reproduce the aforementioned material subject to the terms and conditions indicated.

3. Acknowledgement: If any part of the material to be used (for example, figures) has appeared in our publication with credit or acknowledgement to another source, permission must also be sought from that source. If such permission is not obtained then that material may not be included in your publication/copies. Suitable acknowledgement to the source must be made, either as a footnote or in a reference list at the end of your publication, as follows:

“Reprinted from Publication title, Vol /edition number, Author(s), Title of article / title of chapter, Pages No., Copyright (Year), with permission from Elsevier [OR APPLICABLE SOCIETY COPYRIGHT OWNER].” Also Lancet special credit - “Reprinted from The Lancet, Vol. number, Author(s), Title of article, Pages No., Copyright (Year), with permission from Elsevier.”

4. Reproduction of this material is confined to the purpose and/or media for which permission is hereby given.

5. Altering/Modifying Material: Not Permitted. However figures and illustrations may be altered/adapted minimally to serve your work. Any other abbreviations, additions, deletions and/or any other alterations shall be made only with prior written authorization of Elsevier Ltd. (Please contact Elsevier at permissions@elsevier.com)

6. If the permission fee for the requested use of our material is waived in this instance, please be advised that your future requests for Elsevier materials may attract a fee.

7. Reservation of Rights: Publisher reserves all rights not specifically granted in the combination of (i) the license details provided by you and accepted in the course of this licensing transaction, (ii) these terms and conditions and (iii) CCC's Billing and Payment terms and conditions.

8. **License Contingent Upon Payment:** While you may exercise the rights licensed immediately upon issuance of the license at the end of the licensing process for the transaction, provided that you have disclosed complete and accurate details of your proposed use, no license is finally effective unless and until full payment is received from you (either by publisher or by CCC) as provided in CCC's Billing and Payment terms and conditions. If full payment is not received on a timely basis, then any license preliminarily granted shall be deemed automatically revoked and shall be void as if never granted. Further, in the event that you breach any of these terms and conditions or any of CCC's Billing and Payment terms and conditions, the license is automatically revoked and shall be void as if never granted. Use of materials as described in a revoked license, as well as any use of the materials beyond the scope of an unrevoked license, may constitute copyright infringement and publisher reserves the right to take any and all action to protect its copyright in the materials.

9. **Warranties:** Publisher makes no representations or warranties with respect to the licensed material.

10. **Indemnity:** You hereby indemnify and agree to hold harmless publisher and CCC, and their respective officers, directors, employees and agents, from and against any and all claims arising out of your use of the licensed material other than as specifically authorized pursuant to this license.

11. **No Transfer of License:** This license is personal to you and may not be sublicensed, assigned, or transferred by you to any other person without publisher's written permission.

12. **No Amendment Except in Writing:** This license may not be amended except in a writing signed by both parties (or, in the case of publisher, by CCC on publisher's behalf).

13. **Objection to Contrary Terms:** Publisher hereby objects to any terms contained in any purchase order, acknowledgment, check endorsement or other writing prepared by you, which terms are inconsistent with these terms and conditions or CCC's Billing and Payment terms and conditions. These terms and conditions, together with CCC's Billing and Payment terms and conditions (which are incorporated herein), comprise the entire agreement between you and publisher (and CCC) concerning this licensing transaction. In the event of any conflict between your obligations established by these terms and conditions and those established by CCC's Billing and Payment terms and conditions, these terms and conditions shall control.

14. **Revocation:** Elsevier or Copyright Clearance Center may deny the permissions described in this License at their sole discretion, for any reason or no reason, with a full refund payable to you. Notice of such denial will be made using the contact information provided by you. Failure to receive such notice will not alter or invalidate the denial. In no event will Elsevier or Copyright Clearance Center be responsible or liable for any costs, expenses or damage incurred by you as a result of a denial of your permission request, other than a refund of the amount(s) paid by you to Elsevier and/or Copyright Clearance Center for denied permissions.

LIMITED LICENSE

The following terms and conditions apply only to specific license types:

15. **Translation:** This permission is granted for non-exclusive world **English** rights only unless your license was granted for translation rights. If you licensed translation rights you may only translate this content into the languages you requested. A professional translator must perform all translations and reproduce the content word for word preserving the

integrity of the article. If this license is to re-use 1 or 2 figures then permission is granted for non-exclusive world rights in all languages.

16. Posting licensed content on any Website: The following terms and conditions apply as follows: Licensing material from an Elsevier journal: All content posted to the web site must maintain the copyright information line on the bottom of each image; A hyper-text must be included to the Homepage of the journal from which you are licensing at <http://www.sciencedirect.com/science/journal/xxxxx> or the Elsevier homepage for books at <http://www.elsevier.com>; Central Storage: This license does not include permission for a scanned version of the material to be stored in a central repository such as that provided by Heron/XanEdu.

Licensing material from an Elsevier book: A hyper-text link must be included to the Elsevier homepage at <http://www.elsevier.com>. All content posted to the web site must maintain the copyright information line on the bottom of each image.

Posting licensed content on Electronic reserve: In addition to the above the following clauses are applicable: The web site must be password-protected and made available only to bona fide students registered on a relevant course. This permission is granted for 1 year only. You may obtain a new license for future website posting.

17. For journal authors: the following clauses are applicable in addition to the above: Permission granted is limited to the author accepted manuscript version* of your paper.

***Accepted Author Manuscript (AAM) Definition:** An accepted author manuscript (AAM) is the author's version of the manuscript of an article that has been accepted for publication and which may include any author-incorporated changes suggested through the processes of submission processing, peer review, and editor-author communications. AAMs do not include other publisher value-added contributions such as copy-editing, formatting, technical enhancements and (if relevant) pagination.

You are not allowed to download and post the published journal article (whether PDF or HTML, proof or final version), nor may you scan the printed edition to create an electronic version. A hyper-text must be included to the Homepage of the journal from which you are licensing at <http://www.sciencedirect.com/science/journal/xxxxx>. As part of our normal production process, you will receive an e-mail notice when your article appears on Elsevier's online service ScienceDirect (www.sciencedirect.com). That e-mail will include the article's Digital Object Identifier (DOI). This number provides the electronic link to the published article and should be included in the posting of your personal version. We ask that you wait until you receive this e-mail and have the DOI to do any posting.

18. Posting to a repository: Authors may post their AAM immediately to their employer's institutional repository for internal use only and may make their manuscript publically available after the journal-specific embargo period has ended.

Please also refer to [Elsevier's Article Posting Policy](#) for further information.

19. For book authors the following clauses are applicable in addition to the above: Authors are permitted to place a brief summary of their work online only.. You are not allowed to download and post the published electronic version of your chapter, nor may you scan the printed edition to create an electronic version. **Posting to a repository:** Authors are permitted to post a summary of their chapter only in their institution's repository.

20. Thesis/Dissertation: If your license is for use in a thesis/dissertation your thesis may be submitted to your institution in either print or electronic form. Should your thesis be

published commercially, please reapply for permission. These requirements include permission for the Library and Archives of Canada to supply single copies, on demand, of the complete thesis and include permission for Proquest/UMI to supply single copies, on demand, of the complete thesis. Should your thesis be published commercially, please reapply for permission.

Elsevier Open Access Terms and Conditions

Elsevier publishes Open Access articles in both its Open Access journals and via its Open Access articles option in subscription journals.

Authors publishing in an Open Access journal or who choose to make their article Open Access in an Elsevier subscription journal select one of the following Creative Commons user licenses, which define how a reader may reuse their work: Creative Commons Attribution License (CC BY), Creative Commons Attribution – Non Commercial - ShareAlike (CC BY NC SA) and Creative Commons Attribution – Non Commercial – No Derivatives (CC BY NC ND)

Terms & Conditions applicable to all Elsevier Open Access articles:

Any reuse of the article must not represent the author as endorsing the adaptation of the article nor should the article be modified in such a way as to damage the author's honour or reputation.

The author(s) must be appropriately credited.

If any part of the material to be used (for example, figures) has appeared in our publication with credit or acknowledgement to another source it is the responsibility of the user to ensure their reuse complies with the terms and conditions determined by the rights holder.

Additional Terms & Conditions applicable to each Creative Commons user license:

CC BY: You may distribute and copy the article, create extracts, abstracts, and other revised versions, adaptations or derivative works of or from an article (such as a translation), to include in a collective work (such as an anthology), to text or data mine the article, including for commercial purposes without permission from Elsevier

CC BY NC SA: For non-commercial purposes you may distribute and copy the article, create extracts, abstracts and other revised versions, adaptations or derivative works of or from an article (such as a translation), to include in a collective work (such as an anthology), to text and data mine the article and license new adaptations or creations under identical terms without permission from Elsevier

CC BY NC ND: For non-commercial purposes you may distribute and copy the article and include it in a collective work (such as an anthology), provided you do not alter or modify the article, without permission from Elsevier

Any commercial reuse of Open Access articles published with a CC BY NC SA or CC BY NC ND license requires permission from Elsevier and will be subject to a fee.

Commercial reuse includes:

- Promotional purposes (advertising or marketing)

- Commercial exploitation (e.g. a product for sale or loan)
- Systematic distribution (for a fee or free of charge)

Please refer to [Elsevier's Open Access Policy](#) for further information.

21. Other Conditions:

v1.7

Questions? customercare@copyright.com or +1-855-239-3415 (toll free in the US) or +1-978-646-2777.

Gratis licenses (referencing \$0 in the Total field) are free. Please retain this printable license for your reference. No payment is required.

The Development of a Wheel Wear and Rolling Contact Fatigue Model

RSSB Report for Task T549

John Tunna, TTCI(UK), Ltd.
John Sinclair, Interfleet Technology Ltd.
Javier Perez, Rail Technology Unit of
Manchester Metropolitan University

23 May 2007
(Revised September 25, 2007)

© Rail Safety and Standards Board Limited 2007.

This publication may be reproduced free of charge for research, private study or for internal circulation within an organisation. This is subject to it being reproduced and referenced accurately and not being used in a misleading context. The material must be acknowledged as the copyright of Rail Safety and Standards Board and the title of the publication specified accordingly. For any other use of the material please apply to RSSB's Head of Research and Development for permission. Any additional queries can be directed to research@rssb.co.uk. This publication can be accessed via the RSSB website www.rssb.co.uk



JOHN WILEY AND SONS LICENSE TERMS AND CONDITIONS

Mar 05, 2015

This Agreement between Fidel Salas Vicente ("You") and John Wiley and Sons ("John Wiley and Sons") consists of your license details and the terms and conditions provided by John Wiley and Sons and Copyright Clearance Center.

| | |
|---------------------------------------|--|
| License Number | 3582630842478 |
| License date | Mar 05, 2015 |
| Licensed Content Publisher | John Wiley and Sons |
| Licensed Content Publication | Fatigue & Fracture of Engineering Materials & Structures |
| Licensed Content Title | The role and effects of the third body in the wheel-rail interaction |
| Licensed Content Author | Y. BERTHIER,S. DESCARTES,M. BUSQUET,E. NICCOLINI,C. DESRAYAUD,L. BAILLET,M. C. BAIETTO-DUBOURG |
| Licensed Content Date | Apr 1, 2004 |
| Pages | 14 |
| Type of use | Dissertation/Thesis |
| Requestor type | University/Academic |
| Format | Print and electronic |
| Portion | Figure/table |
| Number of figures/tables | 2 |
| Original Wiley figure/table number(s) | Figures 4 and 7 |
| Will you be translating? | No |
| Title of your thesis / dissertation | Investigación y modelización de la adherencia, el desgaste y la fenomenología de daño asociada a la rodadura en contactos rueda-carril de aceros al carbono y bainíticos |
| Expected completion date | May 2015 |
| Expected size (number of pages) | 440 |
| Requestor Location | Fidel Salas Vicente Avda. Castellón, 5 Geldo, Spain 12412 Attn: Fidel Salas Vicente |
| Billing Type | Invoice |
| Billing Address | Fidel Salas Vicente Avda. Castellón, 5 Geldo, Spain 12412 Attn: Fidel Salas Vicente |
| Total | 0.00 EUR |
| Terms and Conditions | |

TERMS AND CONDITIONS

This copyrighted material is owned by or exclusively licensed to John Wiley & Sons, Inc. or one of its group companies (each a "Wiley Company") or handled on behalf of a society with which a Wiley Company has exclusive publishing rights in relation to a particular work (collectively "WILEY"). By clicking  accept  in connection with completing this licensing transaction, you agree that the following terms and conditions apply to this transaction (along with the billing and payment terms and conditions established by the Copyright Clearance Center Inc., ("CCC's Billing and Payment terms and conditions"), at the time that you opened your Rightslink account (these are available at any time at <http://myaccount.copyright.com>).

Terms and Conditions

- The materials you have requested permission to reproduce or reuse (the "Wiley Materials") are protected by copyright.
- You are hereby granted a personal, non-exclusive, non-sub licensable (on a stand-alone basis), non-transferable, worldwide, limited license to reproduce the Wiley Materials for the purpose specified in the licensing process. This license is for a one-time use only and limited to any maximum distribution number specified in the license. The first instance of republication or reuse granted by this licence must be completed within two years of the date of the grant of this licence (although copies prepared before the end date may be distributed thereafter). The Wiley Materials shall not be used in any other manner or for any other purpose, beyond what is granted in the license. Permission is granted subject to an appropriate acknowledgement given to the author, title of the material/book/journal and the publisher. You shall also duplicate the copyright notice that appears in the Wiley publication in your use of the Wiley Material. Permission is also granted on the understanding that nowhere in the text is a previously published source acknowledged for all or part of this Wiley Material. Any third party content is expressly excluded from this permission.
- With respect to the Wiley Materials, all rights are reserved. Except as expressly granted by the terms of the license, no part of the Wiley Materials may be copied, modified, adapted (except for minor reformatting required by the new Publication), translated, reproduced, transferred or distributed, in any form or by any means, and no derivative works may be made based on the Wiley Materials without the prior permission of the respective copyright owner. You may not alter, remove or suppress in any manner any copyright, trademark or other notices displayed by the Wiley Materials. You may not license, rent, sell, loan, lease, pledge, offer as security, transfer or assign the Wiley Materials on a stand-alone basis, or any of the rights granted to you hereunder to any other person.
- The Wiley Materials and all of the intellectual property rights therein shall at all times remain the exclusive property of John Wiley & Sons Inc, the Wiley Companies, or their respective licensors, and your interest therein is only that of having possession of and the right to reproduce the Wiley Materials pursuant to Section 2 herein during the continuance of this Agreement. You agree that you own no right, title or interest in or to the Wiley Materials or any of the intellectual property rights therein. You shall have no rights hereunder other than the license as provided for above in Section 2. No right, license or interest to any trademark, trade name, service mark or other branding ("Marks") of WILEY or its licensors is granted hereunder, and you agree that you shall not assert any such right, license or interest with respect thereto.

- NEITHER WILEY NOR ITS LICENSORS MAKES ANY WARRANTY OR REPRESENTATION OF ANY KIND TO YOU OR ANY THIRD PARTY, EXPRESS, IMPLIED OR STATUTORY, WITH RESPECT TO THE MATERIALS OR THE ACCURACY OF ANY INFORMATION CONTAINED IN THE MATERIALS, INCLUDING, WITHOUT LIMITATION, ANY IMPLIED WARRANTY OF MERCHANTABILITY, ACCURACY, SATISFACTORY QUALITY, FITNESS FOR A PARTICULAR PURPOSE, USABILITY, INTEGRATION OR NON-INFRINGEMENT AND ALL SUCH WARRANTIES ARE HEREBY EXCLUDED BY WILEY AND ITS LICENSORS AND WAIVED BY YOU
- WILEY shall have the right to terminate this Agreement immediately upon breach of this Agreement by you.
- You shall indemnify, defend and hold harmless WILEY, its Licensors and their respective directors, officers, agents and employees, from and against any actual or threatened claims, demands, causes of action or proceedings arising from any breach of this Agreement by you.
- IN NO EVENT SHALL WILEY OR ITS LICENSORS BE LIABLE TO YOU OR ANY OTHER PARTY OR ANY OTHER PERSON OR ENTITY FOR ANY SPECIAL, CONSEQUENTIAL, INCIDENTAL, INDIRECT, EXEMPLARY OR PUNITIVE DAMAGES, HOWEVER CAUSED, ARISING OUT OF OR IN CONNECTION WITH THE DOWNLOADING, PROVISIONING, VIEWING OR USE OF THE MATERIALS REGARDLESS OF THE FORM OF ACTION, WHETHER FOR BREACH OF CONTRACT, BREACH OF WARRANTY, TORT, NEGLIGENCE, INFRINGEMENT OR OTHERWISE (INCLUDING, WITHOUT LIMITATION, DAMAGES BASED ON LOSS OF PROFITS, DATA, FILES, USE, BUSINESS OPPORTUNITY OR CLAIMS OF THIRD PARTIES), AND WHETHER OR NOT THE PARTY HAS BEEN ADVISED OF THE POSSIBILITY OF SUCH DAMAGES. THIS LIMITATION SHALL APPLY NOTWITHSTANDING ANY FAILURE OF ESSENTIAL PURPOSE OF ANY LIMITED REMEDY PROVIDED HEREIN.
- Should any provision of this Agreement be held by a court of competent jurisdiction to be illegal, invalid, or unenforceable, that provision shall be deemed amended to achieve as nearly as possible the same economic effect as the original provision, and the legality, validity and enforceability of the remaining provisions of this Agreement shall not be affected or impaired thereby.
- The failure of either party to enforce any term or condition of this Agreement shall not constitute a waiver of either party's right to enforce each and every term and condition of this Agreement. No breach under this agreement shall be deemed waived or excused by either party unless such waiver or consent is in writing signed by the party granting such waiver or consent. The waiver by or consent of a party to a breach of any provision of this Agreement shall not operate or be construed as a waiver of or consent to any other or subsequent breach by such other party.
- This Agreement may not be assigned (including by operation of law or otherwise) by you without WILEY's prior written consent.
- Any fee required for this permission shall be non-refundable after thirty (30) days from receipt by the CCC.

- These terms and conditions together with CCC's Billing and Payment terms and conditions (which are incorporated herein) form the entire agreement between you and WILEY concerning this licensing transaction and (in the absence of fraud) supersedes all prior agreements and representations of the parties, oral or written. This Agreement may not be amended except in writing signed by both parties. This Agreement shall be binding upon and inure to the benefit of the parties' successors, legal representatives, and authorized assigns.
- In the event of any conflict between your obligations established by these terms and conditions and those established by CCC's Billing and Payment terms and conditions, these terms and conditions shall prevail.
- WILEY expressly reserves all rights not specifically granted in the combination of (i) the license details provided by you and accepted in the course of this licensing transaction, (ii) these terms and conditions and (iii) CCC's Billing and Payment terms and conditions.
- This Agreement will be void if the Type of Use, Format, Circulation, or Requestor Type was misrepresented during the licensing process.
- This Agreement shall be governed by and construed in accordance with the laws of the State of New York, USA, without regards to such state's conflict of law rules. Any legal action, suit or proceeding arising out of or relating to these Terms and Conditions or the breach thereof shall be instituted in a court of competent jurisdiction in New York County in the State of New York in the United States of America and each party hereby consents and submits to the personal jurisdiction of such court, waives any objection to venue in such court and consents to service of process by registered or certified mail, return receipt requested, at the last known address of such party.

WILEY OPEN ACCESS TERMS AND CONDITIONS

Wiley Publishes Open Access Articles in fully Open Access Journals and in Subscription journals offering Online Open. Although most of the fully Open Access journals publish open access articles under the terms of the Creative Commons Attribution (CC BY) License only, the subscription journals and a few of the Open Access Journals offer a choice of Creative Commons Licenses:: Creative Commons Attribution (CC-BY) license [Creative Commons Attribution Non-Commercial \(CC-BY-NC\) license](#) and [Creative Commons Attribution Non-Commercial-NoDerivs \(CC-BY-NC-ND\) License](#). The license type is clearly identified on the article.

Copyright in any research article in a journal published as Open Access under a Creative Commons License is retained by the author(s). Authors grant Wiley a license to publish the article and identify itself as the original publisher. Authors also grant any third party the right to use the article freely as long as its integrity is maintained and its original authors, citation details and publisher are identified as follows: [Title of Article/Author/Journal Title and Volume/Issue. Copyright (c) [year] [copyright owner as specified in the Journal]. Links to the final article on Wiley's website are encouraged where applicable.

The Creative Commons Attribution License

The [Creative Commons Attribution License \(CC-BY\)](#) allows users to copy, distribute and

transmit an article, adapt the article and make commercial use of the article. The CC-BY license permits commercial and non-commercial re-use of an open access article, as long as the author is properly attributed.

The Creative Commons Attribution License does not affect the moral rights of authors, including without limitation the right not to have their work subjected to derogatory treatment. It also does not affect any other rights held by authors or third parties in the article, including without limitation the rights of privacy and publicity. Use of the article must not assert or imply, whether implicitly or explicitly, any connection with, endorsement or sponsorship of such use by the author, publisher or any other party associated with the article.

For any reuse or distribution, users must include the copyright notice and make clear to others that the article is made available under a Creative Commons Attribution license, linking to the relevant Creative Commons web page.

To the fullest extent permitted by applicable law, the article is made available as is and without representation or warranties of any kind whether express, implied, statutory or otherwise and including, without limitation, warranties of title, merchantability, fitness for a particular purpose, non-infringement, absence of defects, accuracy, or the presence or absence of errors.

Creative Commons Attribution Non-Commercial License

The [Creative Commons Attribution Non-Commercial \(CC-BY-NC\) License](#) permits use, distribution and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited and is not used for commercial purposes.(see below)

Creative Commons Attribution-Non-Commercial-NoDerivs License

The [Creative Commons Attribution Non-Commercial-NoDerivs License](#) (CC-BY-NC-ND) permits use, distribution and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited, is not used for commercial purposes and no modifications or adaptations are made. (see below)

Use by non-commercial users

For non-commercial and non-promotional purposes, individual users may access, download, copy, display and redistribute to colleagues Wiley Open Access articles, as well as adapt, translate, text- and data-mine the content subject to the following conditions:

- The authors' moral rights are not compromised. These rights include the right of "paternity" (also known as "attribution" - the right for the author to be identified as such) and "integrity" (the right for the author not to have the work altered in such a way that the author's reputation or integrity may be impugned).
- Where content in the article is identified as belonging to a third party, it is the obligation of the user to ensure that any reuse complies with the copyright policies of the owner of that content.
- If article content is copied, downloaded or otherwise reused for non-commercial research and education purposes, a link to the appropriate bibliographic citation (authors, journal, article title, volume, issue, page numbers, DOI and the link to the definitive published version on **Wiley Online Library**) should be maintained. Copyright notices and disclaimers must not be deleted.

- Any translations, for which a prior translation agreement with Wiley has not been agreed, must prominently display the statement: "This is an unofficial translation of an article that appeared in a Wiley publication. The publisher has not endorsed this translation."

Use by commercial "for-profit" organisations

Use of Wiley Open Access articles for commercial, promotional, or marketing purposes requires further explicit permission from Wiley and will be subject to a fee. Commercial purposes include:

- Copying or downloading of articles, or linking to such articles for further redistribution, sale or licensing;
- Copying, downloading or posting by a site or service that incorporates advertising with such content;
- The inclusion or incorporation of article content in other works or services (other than normal quotations with an appropriate citation) that is then available for sale or licensing, for a fee (for example, a compilation produced for marketing purposes, inclusion in a sales pack)
- Use of article content (other than normal quotations with appropriate citation) by for-profit organisations for promotional purposes
- Linking to article content in e-mails redistributed for promotional, marketing or educational purposes;
- Use for the purposes of monetary reward by means of sale, resale, licence, loan, transfer or other form of commercial exploitation such as marketing products
- Print reprints of Wiley Open Access articles can be purchased from:
corporatesales@wiley.com

Further details can be found on Wiley Online Library

<http://olabout.wiley.com/WileyCDA/Section/id-410895.html>

Other Terms and Conditions:

v1.9

Questions? customercare@copyright.com or +1-855-239-3415 (toll free in the US) or +1-978-646-2777.

Gratis licenses (referencing \$0 in the Total field) are free. Please retain this printable license for your reference. No payment is required.

JOHN WILEY AND SONS LICENSE TERMS AND CONDITIONS

Mar 07, 2015

This Agreement between Fidel Salas Vicente ("You") and John Wiley and Sons ("John Wiley and Sons") consists of your license details and the terms and conditions provided by John Wiley and Sons and Copyright Clearance Center.

| | |
|---------------------------------------|--|
| License Number | 3583661422753 |
| License date | Mar 07, 2015 |
| Licensed Content Publisher | John Wiley and Sons |
| Licensed Content Publication | Fatigue & Fracture of Engineering Materials & Structures |
| Licensed Content Title | THE SHORT CRACK PROBLEM |
| Licensed Content Author | K. J. MILLER |
| Licensed Content Date | Apr 2, 2007 |
| Pages | 10 |
| Type of use | Dissertation/Thesis |
| Requestor type | University/Academic |
| Format | Print and electronic |
| Portion | Figure/table |
| Number of figures/tables | 1 |
| Original Wiley figure/table number(s) | Kitagawa-takahashi schematic plot figure |
| Will you be translating? | No |
| Title of your thesis / dissertation | Investigación y modelización de la adherencia, el desgaste y la fenomenología de daño asociada a la rodadura en contactos rueda-carril de aceros al carbono y bainíticos |
| Expected completion date | May 2015 |
| Expected size (number of pages) | 440 |
| Requestor Location | Fidel Salas Vicente Avda. Castellón, 5 Geldo, Spain 12412 Attn: Fidel Salas Vicente |
| Billing Type | Invoice |
| Billing Address | Fidel Salas Vicente Avda. Castellón, 5 Geldo, Spain 12412 Attn: Fidel Salas Vicente |
| Total | 0.00 EUR |

Terms and Conditions

TERMS AND CONDITIONS

This copyrighted material is owned by or exclusively licensed to John Wiley & Sons, Inc. or one of its group companies (each a "Wiley Company") or handled on behalf of a society with which a Wiley Company has exclusive publishing rights in relation to a particular work (collectively "WILEY"). By clicking accept in connection with completing this licensing transaction, you agree that the following terms and conditions apply to this transaction (along with the billing and payment terms and conditions established by the Copyright Clearance Center Inc., ("CCC's Billing and Payment terms and conditions"), at the time that you opened your Rightslink account (these are available at any time at <http://myaccount.copyright.com>).

Terms and Conditions

- The materials you have requested permission to reproduce or reuse (the "Wiley Materials") are protected by copyright.
- You are hereby granted a personal, non-exclusive, non-sub licensable (on a stand-alone basis), non-transferable, worldwide, limited license to reproduce the Wiley Materials for the purpose specified in the licensing process. This license is for a one-time use only and limited to any maximum distribution number specified in the license. The first instance of republication or reuse granted by this licence must be completed within two years of the date of the grant of this licence (although copies prepared before the end date may be distributed thereafter). The Wiley Materials shall not be used in any other manner or for any other purpose, beyond what is granted in the license. Permission is granted subject to an appropriate acknowledgement given to the author, title of the material/book/journal and the publisher. You shall also duplicate the copyright notice that appears in the Wiley publication in your use of the Wiley Material. Permission is also granted on the understanding that nowhere in the text is a previously published source acknowledged for all or part of this Wiley Material. Any third party content is expressly excluded from this permission.
- With respect to the Wiley Materials, all rights are reserved. Except as expressly granted by the terms of the license, no part of the Wiley Materials may be copied, modified, adapted (except for minor reformatting required by the new Publication), translated, reproduced, transferred or distributed, in any form or by any means, and no derivative works may be made based on the Wiley Materials without the prior permission of the respective copyright owner. You may not alter, remove or suppress in any manner any copyright, trademark or other notices displayed by the Wiley Materials. You may not license, rent, sell, loan, lease, pledge, offer as security, transfer or assign the Wiley Materials on a stand-alone basis, or any of the rights granted to you hereunder to any other person.
- The Wiley Materials and all of the intellectual property rights therein shall at all times remain the exclusive property of John Wiley & Sons Inc, the Wiley Companies, or their respective licensors, and your interest therein is only that of having possession of and the right to reproduce the Wiley Materials pursuant to Section 2 herein during the continuance of this Agreement. You agree that you own no right, title or interest in or to the Wiley Materials or any of the intellectual property rights therein. You shall have no rights hereunder other than the license as provided for above in Section 2. No right, license or interest to any trademark, trade name, service mark or other branding ("Marks") of WILEY or its licensors is granted hereunder, and you agree that you shall not assert any such right, license or interest with respect thereto.

- NEITHER WILEY NOR ITS LICENSORS MAKES ANY WARRANTY OR REPRESENTATION OF ANY KIND TO YOU OR ANY THIRD PARTY, EXPRESS, IMPLIED OR STATUTORY, WITH RESPECT TO THE MATERIALS OR THE ACCURACY OF ANY INFORMATION CONTAINED IN THE MATERIALS, INCLUDING, WITHOUT LIMITATION, ANY IMPLIED WARRANTY OF MERCHANTABILITY, ACCURACY, SATISFACTORY QUALITY, FITNESS FOR A PARTICULAR PURPOSE, USABILITY, INTEGRATION OR NON-INFRINGEMENT AND ALL SUCH WARRANTIES ARE HEREBY EXCLUDED BY WILEY AND ITS LICENSORS AND WAIVED BY YOU
- WILEY shall have the right to terminate this Agreement immediately upon breach of this Agreement by you.
- You shall indemnify, defend and hold harmless WILEY, its Licensors and their respective directors, officers, agents and employees, from and against any actual or threatened claims, demands, causes of action or proceedings arising from any breach of this Agreement by you.
- IN NO EVENT SHALL WILEY OR ITS LICENSORS BE LIABLE TO YOU OR ANY OTHER PARTY OR ANY OTHER PERSON OR ENTITY FOR ANY SPECIAL, CONSEQUENTIAL, INCIDENTAL, INDIRECT, EXEMPLARY OR PUNITIVE DAMAGES, HOWEVER CAUSED, ARISING OUT OF OR IN CONNECTION WITH THE DOWNLOADING, PROVISIONING, VIEWING OR USE OF THE MATERIALS REGARDLESS OF THE FORM OF ACTION, WHETHER FOR BREACH OF CONTRACT, BREACH OF WARRANTY, TORT, NEGLIGENCE, INFRINGEMENT OR OTHERWISE (INCLUDING, WITHOUT LIMITATION, DAMAGES BASED ON LOSS OF PROFITS, DATA, FILES, USE, BUSINESS OPPORTUNITY OR CLAIMS OF THIRD PARTIES), AND WHETHER OR NOT THE PARTY HAS BEEN ADVISED OF THE POSSIBILITY OF SUCH DAMAGES. THIS LIMITATION SHALL APPLY NOTWITHSTANDING ANY FAILURE OF ESSENTIAL PURPOSE OF ANY LIMITED REMEDY PROVIDED HEREIN.
- Should any provision of this Agreement be held by a court of competent jurisdiction to be illegal, invalid, or unenforceable, that provision shall be deemed amended to achieve as nearly as possible the same economic effect as the original provision, and the legality, validity and enforceability of the remaining provisions of this Agreement shall not be affected or impaired thereby.
- The failure of either party to enforce any term or condition of this Agreement shall not constitute a waiver of either party's right to enforce each and every term and condition of this Agreement. No breach under this agreement shall be deemed waived or excused by either party unless such waiver or consent is in writing signed by the party granting such waiver or consent. The waiver by or consent of a party to a breach of any provision of this Agreement shall not operate or be construed as a waiver of or consent to any other or subsequent breach by such other party.
- This Agreement may not be assigned (including by operation of law or otherwise) by you without WILEY's prior written consent.
- Any fee required for this permission shall be non-refundable after thirty (30) days from receipt by the CCC.

- These terms and conditions together with CCC's Billing and Payment terms and conditions (which are incorporated herein) form the entire agreement between you and WILEY concerning this licensing transaction and (in the absence of fraud) supersedes all prior agreements and representations of the parties, oral or written. This Agreement may not be amended except in writing signed by both parties. This Agreement shall be binding upon and inure to the benefit of the parties' successors, legal representatives, and authorized assigns.
- In the event of any conflict between your obligations established by these terms and conditions and those established by CCC's Billing and Payment terms and conditions, these terms and conditions shall prevail.
- WILEY expressly reserves all rights not specifically granted in the combination of (i) the license details provided by you and accepted in the course of this licensing transaction, (ii) these terms and conditions and (iii) CCC's Billing and Payment terms and conditions.
- This Agreement will be void if the Type of Use, Format, Circulation, or Requestor Type was misrepresented during the licensing process.
- This Agreement shall be governed by and construed in accordance with the laws of the State of New York, USA, without regards to such state's conflict of law rules. Any legal action, suit or proceeding arising out of or relating to these Terms and Conditions or the breach thereof shall be instituted in a court of competent jurisdiction in New York County in the State of New York in the United States of America and each party hereby consents and submits to the personal jurisdiction of such court, waives any objection to venue in such court and consents to service of process by registered or certified mail, return receipt requested, at the last known address of such party.

WILEY OPEN ACCESS TERMS AND CONDITIONS

Wiley Publishes Open Access Articles in fully Open Access Journals and in Subscription journals offering Online Open. Although most of the fully Open Access journals publish open access articles under the terms of the Creative Commons Attribution (CC BY) License only, the subscription journals and a few of the Open Access Journals offer a choice of Creative Commons Licenses:: Creative Commons Attribution (CC-BY) license [Creative Commons Attribution Non-Commercial \(CC-BY-NC\) license](#) and [Creative Commons Attribution Non-Commercial-NoDerivs \(CC-BY-NC-ND\) License](#). The license type is clearly identified on the article.

Copyright in any research article in a journal published as Open Access under a Creative Commons License is retained by the author(s). Authors grant Wiley a license to publish the article and identify itself as the original publisher. Authors also grant any third party the right to use the article freely as long as its integrity is maintained and its original authors, citation details and publisher are identified as follows: [Title of Article/Author/Journal Title and Volume/Issue. Copyright (c) [year] [copyright owner as specified in the Journal]. Links to the final article on Wiley's website are encouraged where applicable.

The Creative Commons Attribution License

The [Creative Commons Attribution License \(CC-BY\)](#) allows users to copy, distribute and

transmit an article, adapt the article and make commercial use of the article. The CC-BY license permits commercial and non-commercial re-use of an open access article, as long as the author is properly attributed.

The Creative Commons Attribution License does not affect the moral rights of authors, including without limitation the right not to have their work subjected to derogatory treatment. It also does not affect any other rights held by authors or third parties in the article, including without limitation the rights of privacy and publicity. Use of the article must not assert or imply, whether implicitly or explicitly, any connection with, endorsement or sponsorship of such use by the author, publisher or any other party associated with the article.

For any reuse or distribution, users must include the copyright notice and make clear to others that the article is made available under a Creative Commons Attribution license, linking to the relevant Creative Commons web page.

To the fullest extent permitted by applicable law, the article is made available as is and without representation or warranties of any kind whether express, implied, statutory or otherwise and including, without limitation, warranties of title, merchantability, fitness for a particular purpose, non-infringement, absence of defects, accuracy, or the presence or absence of errors.

Creative Commons Attribution Non-Commercial License

The [Creative Commons Attribution Non-Commercial \(CC-BY-NC\) License](#) permits use, distribution and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited and is not used for commercial purposes.(see below)

Creative Commons Attribution-Non-Commercial-NoDerivs License

The [Creative Commons Attribution Non-Commercial-NoDerivs License](#) (CC-BY-NC-ND) permits use, distribution and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited, is not used for commercial purposes and no modifications or adaptations are made. (see below)

Use by non-commercial users

For non-commercial and non-promotional purposes, individual users may access, download, copy, display and redistribute to colleagues Wiley Open Access articles, as well as adapt, translate, text- and data-mine the content subject to the following conditions:

- The authors' moral rights are not compromised. These rights include the right of "paternity" (also known as "attribution" - the right for the author to be identified as such) and "integrity" (the right for the author not to have the work altered in such a way that the author's reputation or integrity may be impugned).
- Where content in the article is identified as belonging to a third party, it is the obligation of the user to ensure that any reuse complies with the copyright policies of the owner of that content.
- If article content is copied, downloaded or otherwise reused for non-commercial research and education purposes, a link to the appropriate bibliographic citation (authors, journal, article title, volume, issue, page numbers, DOI and the link to the definitive published version on **Wiley Online Library**) should be maintained. Copyright notices and disclaimers must not be deleted.

- Any translations, for which a prior translation agreement with Wiley has not been agreed, must prominently display the statement: "This is an unofficial translation of an article that appeared in a Wiley publication. The publisher has not endorsed this translation."

Use by commercial "for-profit" organisations

Use of Wiley Open Access articles for commercial, promotional, or marketing purposes requires further explicit permission from Wiley and will be subject to a fee. Commercial purposes include:

- Copying or downloading of articles, or linking to such articles for further redistribution, sale or licensing;
- Copying, downloading or posting by a site or service that incorporates advertising with such content;
- The inclusion or incorporation of article content in other works or services (other than normal quotations with an appropriate citation) that is then available for sale or licensing, for a fee (for example, a compilation produced for marketing purposes, inclusion in a sales pack)
- Use of article content (other than normal quotations with appropriate citation) by for-profit organisations for promotional purposes
- Linking to article content in e-mails redistributed for promotional, marketing or educational purposes;
- Use for the purposes of monetary reward by means of sale, resale, licence, loan, transfer or other form of commercial exploitation such as marketing products
- Print reprints of Wiley Open Access articles can be purchased from:
corporatesales@wiley.com

Further details can be found on Wiley Online Library

<http://olabout.wiley.com/WileyCDA/Section/id-410895.html>

Other Terms and Conditions:

v1.9

Questions? customercare@copyright.com or +1-855-239-3415 (toll free in the US) or +1-978-646-2777.

Gratis licenses (referencing \$0 in the Total field) are free. Please retain this printable license for your reference. No payment is required.

ELSEVIER LICENSE TERMS AND CONDITIONS

Feb 21, 2015

This is a License Agreement between Fidel Salas Vicente ("You") and Elsevier ("Elsevier") provided by Copyright Clearance Center ("CCC"). The license consists of your order details, the terms and conditions provided by Elsevier, and the payment terms and conditions.

All payments must be made in full to CCC. For payment instructions, please see information listed at the bottom of this form.

| | |
|--|--|
| Supplier | Elsevier Limited The Boulevard, Langford Lane Kidlington, Oxford, OX5 1GB, UK |
| Registered Company Number | 1982084 |
| Customer name | Fidel Salas Vicente |
| Customer address | Avda. Castellón, 5 Geldo, Castellón 12412 |
| License number | 3573651113411 |
| License date | Feb 21, 2015 |
| Licensed content publisher | Elsevier |
| Licensed content publication | Wear |
| Licensed content title | The steady state wear behaviour of pearlitic rail steel under dry rolling-sliding contact conditions |
| Licensed content author | W.R. Tyfour, J.H. Beynon, A. Kapoor |
| Licensed content date | January 1995 |
| Licensed content volume number | 180 |
| Licensed content issue number | 1-2 |
| Number of pages | 11 |
| Start Page | 79 |
| End Page | 89 |
| Type of Use | reuse in a thesis/dissertation |
| Portion | figures/tables/illustrations |
| Number of figures/tables/illustrations | 2 |
| Format | both print and electronic |
| Are you the author of this Elsevier article? | No |
| Will you be translating? | No |
| Original figure numbers | Figures 10, 13 |
| Title of your thesis/dissertation | Investigación y modelización de la adherencia, el desgaste y la fenomenología de daño asociada a la rodadura en contactos rueda-carril de aceros al carbono y bainíticos |

| | |
|----------------------------------|---------------------|
| Expected completion date | May 2015 |
| Estimated size (number of pages) | 440 |
| Elsevier VAT number | GB 494 6272 12 |
| Permissions price | 0.00 EUR |
| VAT/Local Sales Tax | 0.00 EUR / 0.00 GBP |
| Total | 0.00 EUR |

[Terms and Conditions](#)

INTRODUCTION

1. The publisher for this copyrighted material is Elsevier. By clicking "accept" in connection with completing this licensing transaction, you agree that the following terms and conditions apply to this transaction (along with the Billing and Payment terms and conditions established by Copyright Clearance Center, Inc. ("CCC"), at the time that you opened your Rightslink account and that are available at any time at <http://myaccount.copyright.com>).

GENERAL TERMS

2. Elsevier hereby grants you permission to reproduce the aforementioned material subject to the terms and conditions indicated.

3. Acknowledgement: If any part of the material to be used (for example, figures) has appeared in our publication with credit or acknowledgement to another source, permission must also be sought from that source. If such permission is not obtained then that material may not be included in your publication/copies. Suitable acknowledgement to the source must be made, either as a footnote or in a reference list at the end of your publication, as follows:

“Reprinted from Publication title, Vol /edition number, Author(s), Title of article / title of chapter, Pages No., Copyright (Year), with permission from Elsevier [OR APPLICABLE SOCIETY COPYRIGHT OWNER].” Also Lancet special credit - “Reprinted from The Lancet, Vol. number, Author(s), Title of article, Pages No., Copyright (Year), with permission from Elsevier.”

4. Reproduction of this material is confined to the purpose and/or media for which permission is hereby given.

5. Altering/Modifying Material: Not Permitted. However figures and illustrations may be altered/adapted minimally to serve your work. Any other abbreviations, additions, deletions and/or any other alterations shall be made only with prior written authorization of Elsevier Ltd. (Please contact Elsevier at permissions@elsevier.com)

6. If the permission fee for the requested use of our material is waived in this instance, please be advised that your future requests for Elsevier materials may attract a fee.

7. Reservation of Rights: Publisher reserves all rights not specifically granted in the combination of (i) the license details provided by you and accepted in the course of this licensing transaction, (ii) these terms and conditions and (iii) CCC's Billing and Payment terms and conditions.

8. License Contingent Upon Payment: While you may exercise the rights licensed immediately upon issuance of the license at the end of the licensing process for the

transaction, provided that you have disclosed complete and accurate details of your proposed use, no license is finally effective unless and until full payment is received from you (either by publisher or by CCC) as provided in CCC's Billing and Payment terms and conditions. If full payment is not received on a timely basis, then any license preliminarily granted shall be deemed automatically revoked and shall be void as if never granted. Further, in the event that you breach any of these terms and conditions or any of CCC's Billing and Payment terms and conditions, the license is automatically revoked and shall be void as if never granted. Use of materials as described in a revoked license, as well as any use of the materials beyond the scope of an unrevoked license, may constitute copyright infringement and publisher reserves the right to take any and all action to protect its copyright in the materials.

9. Warranties: Publisher makes no representations or warranties with respect to the licensed material.

10. Indemnity: You hereby indemnify and agree to hold harmless publisher and CCC, and their respective officers, directors, employees and agents, from and against any and all claims arising out of your use of the licensed material other than as specifically authorized pursuant to this license.

11. No Transfer of License: This license is personal to you and may not be sublicensed, assigned, or transferred by you to any other person without publisher's written permission.

12. No Amendment Except in Writing: This license may not be amended except in a writing signed by both parties (or, in the case of publisher, by CCC on publisher's behalf).

13. Objection to Contrary Terms: Publisher hereby objects to any terms contained in any purchase order, acknowledgment, check endorsement or other writing prepared by you, which terms are inconsistent with these terms and conditions or CCC's Billing and Payment terms and conditions. These terms and conditions, together with CCC's Billing and Payment terms and conditions (which are incorporated herein), comprise the entire agreement between you and publisher (and CCC) concerning this licensing transaction. In the event of any conflict between your obligations established by these terms and conditions and those established by CCC's Billing and Payment terms and conditions, these terms and conditions shall control.

14. Revocation: Elsevier or Copyright Clearance Center may deny the permissions described in this License at their sole discretion, for any reason or no reason, with a full refund payable to you. Notice of such denial will be made using the contact information provided by you. Failure to receive such notice will not alter or invalidate the denial. In no event will Elsevier or Copyright Clearance Center be responsible or liable for any costs, expenses or damage incurred by you as a result of a denial of your permission request, other than a refund of the amount(s) paid by you to Elsevier and/or Copyright Clearance Center for denied permissions.

LIMITED LICENSE

The following terms and conditions apply only to specific license types:

15. **Translation:** This permission is granted for non-exclusive world **English** rights only unless your license was granted for translation rights. If you licensed translation rights you may only translate this content into the languages you requested. A professional translator must perform all translations and reproduce the content word for word preserving the integrity of the article. If this license is to re-use 1 or 2 figures then permission is granted for non-exclusive world rights in all languages.

16. Posting licensed content on any Website: The following terms and conditions apply as follows: Licensing material from an Elsevier journal: All content posted to the web site must maintain the copyright information line on the bottom of each image; A hyper-text must be included to the Homepage of the journal from which you are licensing at <http://www.sciencedirect.com/science/journal/xxxxx> or the Elsevier homepage for books at <http://www.elsevier.com>; Central Storage: This license does not include permission for a scanned version of the material to be stored in a central repository such as that provided by Heron/XanEdu.

Licensing material from an Elsevier book: A hyper-text link must be included to the Elsevier homepage at <http://www.elsevier.com>. All content posted to the web site must maintain the copyright information line on the bottom of each image.

Posting licensed content on Electronic reserve: In addition to the above the following clauses are applicable: The web site must be password-protected and made available only to bona fide students registered on a relevant course. This permission is granted for 1 year only. You may obtain a new license for future website posting.

17. For journal authors: the following clauses are applicable in addition to the above: Permission granted is limited to the author accepted manuscript version* of your paper.

***Accepted Author Manuscript (AAM) Definition:** An accepted author manuscript (AAM) is the author's version of the manuscript of an article that has been accepted for publication and which may include any author-incorporated changes suggested through the processes of submission processing, peer review, and editor-author communications. AAMs do not include other publisher value-added contributions such as copy-editing, formatting, technical enhancements and (if relevant) pagination.

You are not allowed to download and post the published journal article (whether PDF or HTML, proof or final version), nor may you scan the printed edition to create an electronic version. A hyper-text must be included to the Homepage of the journal from which you are licensing at <http://www.sciencedirect.com/science/journal/xxxxx>. As part of our normal production process, you will receive an e-mail notice when your article appears on Elsevier's online service ScienceDirect (www.sciencedirect.com). That e-mail will include the article's Digital Object Identifier (DOI). This number provides the electronic link to the published article and should be included in the posting of your personal version. We ask that you wait until you receive this e-mail and have the DOI to do any posting.

18. Posting to a repository: Authors may post their AAM immediately to their employer's institutional repository for internal use only and may make their manuscript publically available after the journal-specific embargo period has ended.

Please also refer to [Elsevier's Article Posting Policy](#) for further information.

19. For book authors the following clauses are applicable in addition to the above: Authors are permitted to place a brief summary of their work online only.. You are not allowed to download and post the published electronic version of your chapter, nor may you scan the printed edition to create an electronic version. **Posting to a repository:** Authors are permitted to post a summary of their chapter only in their institution's repository.

20. Thesis/Dissertation: If your license is for use in a thesis/dissertation your thesis may be submitted to your institution in either print or electronic form. Should your thesis be published commercially, please reapply for permission. These requirements include permission for the Library and Archives of Canada to supply single copies, on demand, of the complete thesis and include permission for Proquest/UMI to supply single copies, on

demand, of the complete thesis. Should your thesis be published commercially, please reapply for permission.

Elsevier Open Access Terms and Conditions

Elsevier publishes Open Access articles in both its Open Access journals and via its Open Access articles option in subscription journals.

Authors publishing in an Open Access journal or who choose to make their article Open Access in an Elsevier subscription journal select one of the following Creative Commons user licenses, which define how a reader may reuse their work: Creative Commons Attribution License (CC BY), Creative Commons Attribution – Non Commercial - ShareAlike (CC BY NC SA) and Creative Commons Attribution – Non Commercial – No Derivatives (CC BY NC ND)

Terms & Conditions applicable to all Elsevier Open Access articles:

Any reuse of the article must not represent the author as endorsing the adaptation of the article nor should the article be modified in such a way as to damage the author's honour or reputation.

The author(s) must be appropriately credited.

If any part of the material to be used (for example, figures) has appeared in our publication with credit or acknowledgement to another source it is the responsibility of the user to ensure their reuse complies with the terms and conditions determined by the rights holder.

Additional Terms & Conditions applicable to each Creative Commons user license:

CC BY: You may distribute and copy the article, create extracts, abstracts, and other revised versions, adaptations or derivative works of or from an article (such as a translation), to include in a collective work (such as an anthology), to text or data mine the article, including for commercial purposes without permission from Elsevier

CC BY NC SA: For non-commercial purposes you may distribute and copy the article, create extracts, abstracts and other revised versions, adaptations or derivative works of or from an article (such as a translation), to include in a collective work (such as an anthology), to text and data mine the article and license new adaptations or creations under identical terms without permission from Elsevier

CC BY NC ND: For non-commercial purposes you may distribute and copy the article and include it in a collective work (such as an anthology), provided you do not alter or modify the article, without permission from Elsevier

Any commercial reuse of Open Access articles published with a CC BY NC SA or CC BY NC ND license requires permission from Elsevier and will be subject to a fee.

Commercial reuse includes:

- Promotional purposes (advertising or marketing)
- Commercial exploitation (e.g. a product for sale or loan)
- Systematic distribution (for a fee or free of charge)

Please refer to [Elsevier's Open Access Policy](#) for further information.

21. Other Conditions:

v1.7

Questions? customercare@copyright.com or +1-855-239-3415 (toll free in the US) or +1-978-646-2777.

Gratis licenses (referencing \$0 in the Total field) are free. Please retain this printable license for your reference. No payment is required.

SPRINGER LICENSE TERMS AND CONDITIONS

Feb 21, 2015

This is a License Agreement between Fidel Salas Vicente ("You") and Springer ("Springer") provided by Copyright Clearance Center ("CCC"). The license consists of your order details, the terms and conditions provided by Springer, and the payment terms and conditions.

All payments must be made in full to CCC. For payment instructions, please see information listed at the bottom of this form.

| | |
|-------------------------------------|--|
| License Number | 3573620443756 |
| License date | Feb 21, 2015 |
| Licensed content publisher | Springer |
| Licensed content publication | Archive of Applied Mechanics |
| Licensed content title | Thermal stresses and shakedown in wheel/rail contact |
| Licensed content author | M. Ertz |
| Licensed content date | Jan 1, 2003 |
| Volume number | 72 |
| Issue number | 10 |
| Type of Use | Thesis/Dissertation |
| Portion | Figures |
| Author of this Springer article | No |
| Order reference number | None |
| Original figure numbers | Figure 4 |
| Title of your thesis / dissertation | Investigación y modelización de la adherencia, el desgaste y la fenomenología de daño asociada a la rodadura en contactos rueda-carril de aceros al carbono y bainíticos |
| Expected completion date | May 2015 |
| Estimated size(pages) | 440 |
| Total | 0.00 EUR |

Terms and Conditions

Introduction

The publisher for this copyrighted material is Springer Science + Business Media. By clicking "accept" in connection with completing this licensing transaction, you agree that the following terms and conditions apply to this transaction (along with the Billing and Payment terms and conditions established by Copyright Clearance Center, Inc. ("CCC"), at the time that you opened your Rightslink account and that are available at any time at <http://myaccount.copyright.com>).

Limited License

With reference to your request to reprint in your thesis material on which Springer Science and Business Media control the copyright, permission is granted, free of charge, for the use indicated in your enquiry.

Licenses are for one-time use only with a maximum distribution equal to the number that you identified in the licensing process.

This License includes use in an electronic form, provided its password protected or on the university's intranet or repository, including UMI (according to the definition at the Sherpa website: <http://www.sherpa.ac.uk/romeo/>). For any other electronic use, please contact Springer at (permissions.dordrecht@springer.com or permissions.heidelberg@springer.com).

The material can only be used for the purpose of defending your thesis limited to university-use only. If the thesis is going to be published, permission needs to be re-obtained (selecting "book/textbook" as the type of use).

Although Springer holds copyright to the material and is entitled to negotiate on rights, this license is only valid, subject to a courtesy information to the author (address is given with the article/chapter) and provided it concerns original material which does not carry references to other sources (if material in question appears with credit to another source, authorization from that source is required as well).

Permission free of charge on this occasion does not prejudice any rights we might have to charge for reproduction of our copyrighted material in the future.

Altering/Modifying Material: Not Permitted

You may not alter or modify the material in any manner. Abbreviations, additions, deletions and/or any other alterations shall be made only with prior written authorization of the author(s) and/or Springer Science + Business Media. (Please contact Springer at (permissions.dordrecht@springer.com or permissions.heidelberg@springer.com))

Reservation of Rights

Springer Science + Business Media reserves all rights not specifically granted in the combination of (i) the license details provided by you and accepted in the course of this licensing transaction, (ii) these terms and conditions and (iii) CCC's Billing and Payment terms and conditions.

Copyright Notice:Disclaimer

You must include the following copyright and permission notice in connection with any reproduction of the licensed material: "Springer and the original publisher /journal title, volume, year of publication, page, chapter/article title, name(s) of author(s), figure number(s), original copyright notice) is given to the publication in which the material was originally published, by adding; with kind permission from Springer Science and Business Media"

Warranties: None

Example 1: Springer Science + Business Media makes no representations or warranties with respect to the licensed material.

Example 2: Springer Science + Business Media makes no representations or warranties with respect to the licensed material and adopts on its own behalf the limitations and disclaimers established by CCC on its behalf in its Billing and Payment terms and conditions for this licensing transaction.

Indemnity

You hereby indemnify and agree to hold harmless Springer Science + Business Media and CCC, and their respective officers, directors, employees and agents, from and against any

and all claims arising out of your use of the licensed material other than as specifically authorized pursuant to this license.

No Transfer of License

This license is personal to you and may not be sublicensed, assigned, or transferred by you to any other person without Springer Science + Business Media's written permission.

No Amendment Except in Writing

This license may not be amended except in a writing signed by both parties (or, in the case of Springer Science + Business Media, by CCC on Springer Science + Business Media's behalf).

Objection to Contrary Terms

Springer Science + Business Media hereby objects to any terms contained in any purchase order, acknowledgment, check endorsement or other writing prepared by you, which terms are inconsistent with these terms and conditions or CCC's Billing and Payment terms and conditions. These terms and conditions, together with CCC's Billing and Payment terms and conditions (which are incorporated herein), comprise the entire agreement between you and Springer Science + Business Media (and CCC) concerning this licensing transaction. In the event of any conflict between your obligations established by these terms and conditions and those established by CCC's Billing and Payment terms and conditions, these terms and conditions shall control.

Jurisdiction

All disputes that may arise in connection with this present License, or the breach thereof, shall be settled exclusively by arbitration, to be held in The Netherlands, in accordance with Dutch law, and to be conducted under the Rules of the 'Netherlands Arbitrage Instituut' (Netherlands Institute of Arbitration). **OR:**

All disputes that may arise in connection with this present License, or the breach thereof, shall be settled exclusively by arbitration, to be held in the Federal Republic of Germany, in accordance with German law.

Other terms and conditions:

v1.3

Questions? customercare@copyright.com or +1-855-239-3415 (toll free in the US) or +1-978-646-2777.

Gratis licenses (referencing \$0 in the Total field) are free. Please retain this printable license for your reference. No payment is required.

ELSEVIER LICENSE TERMS AND CONDITIONS

Mar 06, 2015

This is a License Agreement between Fidel Salas Vicente ("You") and Elsevier ("Elsevier") provided by Copyright Clearance Center ("CCC"). The license consists of your order details, the terms and conditions provided by Elsevier, and the payment terms and conditions.

All payments must be made in full to CCC. For payment instructions, please see information listed at the bottom of this form.

| | |
|--|--|
| Supplier | Elsevier Limited The Boulevard,Langford Lane Kidlington,Oxford,OX5 1GB,UK |
| Registered Company Number | 1982084 |
| Customer name | Fidel Salas Vicente |
| Customer address | Avda. Castellón, 5 Geldo, Castellón 12412 |
| License number | 3583190727661 |
| License date | Mar 06, 2015 |
| Licensed content publisher | Elsevier |
| Licensed content publication | Wear |
| Licensed content title | Traction, forces, wheel climb and damage in high-speed railway operations |
| Licensed content author | Eric Magel,Ali Tajaddini,Michael Trosino,Joe Kalousek |
| Licensed content date | 30 October 2008 |
| Licensed content volume number | 265 |
| Licensed content issue number | 9-10 |
| Number of pages | 6 |
| Start Page | 1446 |
| End Page | 1451 |
| Type of Use | reuse in a thesis/dissertation |
| Portion | figures/tables/illustrations |
| Number of figures/tables/illustrations | 1 |
| Format | both print and electronic |
| Are you the author of this Elsevier article? | No |
| Will you be translating? | No |
| Original figure numbers | Figure 4 |
| Title of your thesis/dissertation | Investigación y modelización de la adherencia, el desgaste y la fenomenología de daño asociada a la rodadura en contactos rueda-carril de aceros al carbono y bainíticos |

| | |
|----------------------------------|---------------------|
| Expected completion date | May 2015 |
| Estimated size (number of pages) | 440 |
| Elsevier VAT number | GB 494 6272 12 |
| Permissions price | 0.00 EUR |
| VAT/Local Sales Tax | 0.00 EUR / 0.00 GBP |
| Total | 0.00 EUR |

[Terms and Conditions](#)

INTRODUCTION

1. The publisher for this copyrighted material is Elsevier. By clicking "accept" in connection with completing this licensing transaction, you agree that the following terms and conditions apply to this transaction (along with the Billing and Payment terms and conditions established by Copyright Clearance Center, Inc. ("CCC"), at the time that you opened your Rightslink account and that are available at any time at <http://myaccount.copyright.com>).

GENERAL TERMS

2. Elsevier hereby grants you permission to reproduce the aforementioned material subject to the terms and conditions indicated.

3. Acknowledgement: If any part of the material to be used (for example, figures) has appeared in our publication with credit or acknowledgement to another source, permission must also be sought from that source. If such permission is not obtained then that material may not be included in your publication/copies. Suitable acknowledgement to the source must be made, either as a footnote or in a reference list at the end of your publication, as follows:

"Reprinted from Publication title, Vol /edition number, Author(s), Title of article / title of chapter, Pages No., Copyright (Year), with permission from Elsevier [OR APPLICABLE SOCIETY COPYRIGHT OWNER]." Also Lancet special credit - "Reprinted from The Lancet, Vol. number, Author(s), Title of article, Pages No., Copyright (Year), with permission from Elsevier."

4. Reproduction of this material is confined to the purpose and/or media for which permission is hereby given.

5. Altering/Modifying Material: Not Permitted. However figures and illustrations may be altered/adapted minimally to serve your work. Any other abbreviations, additions, deletions and/or any other alterations shall be made only with prior written authorization of Elsevier Ltd. (Please contact Elsevier at permissions@elsevier.com)

6. If the permission fee for the requested use of our material is waived in this instance, please be advised that your future requests for Elsevier materials may attract a fee.

7. Reservation of Rights: Publisher reserves all rights not specifically granted in the combination of (i) the license details provided by you and accepted in the course of this licensing transaction, (ii) these terms and conditions and (iii) CCC's Billing and Payment terms and conditions.

8. License Contingent Upon Payment: While you may exercise the rights licensed immediately upon issuance of the license at the end of the licensing process for the

transaction, provided that you have disclosed complete and accurate details of your proposed use, no license is finally effective unless and until full payment is received from you (either by publisher or by CCC) as provided in CCC's Billing and Payment terms and conditions. If full payment is not received on a timely basis, then any license preliminarily granted shall be deemed automatically revoked and shall be void as if never granted. Further, in the event that you breach any of these terms and conditions or any of CCC's Billing and Payment terms and conditions, the license is automatically revoked and shall be void as if never granted. Use of materials as described in a revoked license, as well as any use of the materials beyond the scope of an unrevoked license, may constitute copyright infringement and publisher reserves the right to take any and all action to protect its copyright in the materials.

9. **Warranties:** Publisher makes no representations or warranties with respect to the licensed material.

10. **Indemnity:** You hereby indemnify and agree to hold harmless publisher and CCC, and their respective officers, directors, employees and agents, from and against any and all claims arising out of your use of the licensed material other than as specifically authorized pursuant to this license.

11. **No Transfer of License:** This license is personal to you and may not be sublicensed, assigned, or transferred by you to any other person without publisher's written permission.

12. **No Amendment Except in Writing:** This license may not be amended except in a writing signed by both parties (or, in the case of publisher, by CCC on publisher's behalf).

13. **Objection to Contrary Terms:** Publisher hereby objects to any terms contained in any purchase order, acknowledgment, check endorsement or other writing prepared by you, which terms are inconsistent with these terms and conditions or CCC's Billing and Payment terms and conditions. These terms and conditions, together with CCC's Billing and Payment terms and conditions (which are incorporated herein), comprise the entire agreement between you and publisher (and CCC) concerning this licensing transaction. In the event of any conflict between your obligations established by these terms and conditions and those established by CCC's Billing and Payment terms and conditions, these terms and conditions shall control.

14. **Revocation:** Elsevier or Copyright Clearance Center may deny the permissions described in this License at their sole discretion, for any reason or no reason, with a full refund payable to you. Notice of such denial will be made using the contact information provided by you. Failure to receive such notice will not alter or invalidate the denial. In no event will Elsevier or Copyright Clearance Center be responsible or liable for any costs, expenses or damage incurred by you as a result of a denial of your permission request, other than a refund of the amount(s) paid by you to Elsevier and/or Copyright Clearance Center for denied permissions.

LIMITED LICENSE

The following terms and conditions apply only to specific license types:

15. **Translation:** This permission is granted for non-exclusive world **English** rights only unless your license was granted for translation rights. If you licensed translation rights you may only translate this content into the languages you requested. A professional translator must perform all translations and reproduce the content word for word preserving the integrity of the article. If this license is to re-use 1 or 2 figures then permission is granted for non-exclusive world rights in all languages.

16. Posting licensed content on any Website: The following terms and conditions apply as follows: Licensing material from an Elsevier journal: All content posted to the web site must maintain the copyright information line on the bottom of each image; A hyper-text must be included to the Homepage of the journal from which you are licensing at <http://www.sciencedirect.com/science/journal/xxxxx> or the Elsevier homepage for books at <http://www.elsevier.com>; Central Storage: This license does not include permission for a scanned version of the material to be stored in a central repository such as that provided by Heron/XanEdu.

Licensing material from an Elsevier book: A hyper-text link must be included to the Elsevier homepage at <http://www.elsevier.com> . All content posted to the web site must maintain the copyright information line on the bottom of each image.

Posting licensed content on Electronic reserve: In addition to the above the following clauses are applicable: The web site must be password-protected and made available only to bona fide students registered on a relevant course. This permission is granted for 1 year only. You may obtain a new license for future website posting.

17. For journal authors: the following clauses are applicable in addition to the above:

Preprints:

A preprint is an author's own write-up of research results and analysis, it has not been peer-reviewed, nor has it had any other value added to it by a publisher (such as formatting, copyright, technical enhancement etc.).

Authors can share their preprints anywhere at any time. Preprints should not be added to or enhanced in any way in order to appear more like, or to substitute for, the final versions of articles however authors can update their preprints on arXiv or RePEc with their Accepted Author Manuscript (see below).

If accepted for publication, we encourage authors to link from the preprint to their formal publication via its DOI. Millions of researchers have access to the formal publications on ScienceDirect, and so links will help users to find, access, cite and use the best available version. Please note that Cell Press, The Lancet and some society-owned have different preprint policies. Information on these policies is available on the journal homepage.

Accepted Author Manuscripts: An accepted author manuscript is the manuscript of an article that has been accepted for publication and which typically includes author-incorporated changes suggested during submission, peer review and editor-author communications.

Authors can share their accepted author manuscript:

- immediately
 - via their non-commercial person homepage or blog
 - by updating a preprint in arXiv or RePEc with the accepted manuscript
 - via their research institute or institutional repository for internal institutional uses or as part of an invitation-only research collaboration work-group
 - directly by providing copies to their students or to research collaborators for

their personal use

- for private scholarly sharing as part of an invitation-only work group on commercial sites with which Elsevier has an agreement
- after the embargo period
 - via non-commercial hosting platforms such as their institutional repository
 - via commercial sites with which Elsevier has an agreement

In all cases accepted manuscripts should:

- link to the formal publication via its DOI
- bear a CC-BY-NC-ND license - this is easy to do
- if aggregated with other manuscripts, for example in a repository or other site, be shared in alignment with our hosting policy not be added to or enhanced in any way to appear more like, or to substitute for, the published journal article.

Published journal article (JPA): A published journal article (PJA) is the definitive final record of published research that appears or will appear in the journal and embodies all value-adding publishing activities including peer review co-ordination, copy-editing, formatting, (if relevant) pagination and online enrichment.

Policies for sharing publishing journal articles differ for subscription and gold open access articles:

Subscription Articles: If you are an author, please share a link to your article rather than the full-text. Millions of researchers have access to the formal publications on ScienceDirect, and so links will help your users to find, access, cite, and use the best available version.

Theses and dissertations which contain embedded PJAs as part of the formal submission can be posted publicly by the awarding institution with DOI links back to the formal publications on ScienceDirect.

If you are affiliated with a library that subscribes to ScienceDirect you have additional private sharing rights for others' research accessed under that agreement. This includes use for classroom teaching and internal training at the institution (including use in course packs and courseware programs), and inclusion of the article for grant funding purposes.

Gold Open Access Articles: May be shared according to the author-selected end-user license and should contain a [CrossMark logo](#), the end user license, and a DOI link to the formal publication on ScienceDirect.

Please refer to Elsevier's [posting policy](#) for further information.

18. **For book authors** the following clauses are applicable in addition to the above: Authors are permitted to place a brief summary of their work online only. You are not allowed to download and post the published electronic version of your chapter, nor may you scan the printed edition to create an electronic version. **Posting to a repository:** Authors are permitted to post a summary of their chapter only in their institution's repository.

19. **Thesis/Dissertation:** If your license is for use in a thesis/dissertation your thesis may be

submitted to your institution in either print or electronic form. Should your thesis be published commercially, please reapply for permission. These requirements include permission for the Library and Archives of Canada to supply single copies, on demand, of the complete thesis and include permission for Proquest/UMI to supply single copies, on demand, of the complete thesis. Should your thesis be published commercially, please reapply for permission. Theses and dissertations which contain embedded PJAs as part of the formal submission can be posted publicly by the awarding institution with DOI links back to the formal publications on ScienceDirect.

Elsevier Open Access Terms and Conditions

You can publish open access with Elsevier in hundreds of open access journals or in nearly 2000 established subscription journals that support open access publishing. Permitted third party re-use of these open access articles is defined by the author's choice of Creative Commons user license. See our [open access license policy](#) for more information.

Terms & Conditions applicable to all Open Access articles published with Elsevier:

Any reuse of the article must not represent the author as endorsing the adaptation of the article nor should the article be modified in such a way as to damage the author's honour or reputation. If any changes have been made, such changes must be clearly indicated.

The author(s) must be appropriately credited and we ask that you include the end user license and a DOI link to the formal publication on ScienceDirect.

If any part of the material to be used (for example, figures) has appeared in our publication with credit or acknowledgement to another source it is the responsibility of the user to ensure their reuse complies with the terms and conditions determined by the rights holder.

Additional Terms & Conditions applicable to each Creative Commons user license:

CC BY: The CC-BY license allows users to copy, to create extracts, abstracts and new works from the Article, to alter and revise the Article and to make commercial use of the Article (including reuse and/or resale of the Article by commercial entities), provided the user gives appropriate credit (with a link to the formal publication through the relevant DOI), provides a link to the license, indicates if changes were made and the licensor is not represented as endorsing the use made of the work. The full details of the license are available at <http://creativecommons.org/licenses/by/4.0>.

CC BY NC SA: The CC BY-NC-SA license allows users to copy, to create extracts, abstracts and new works from the Article, to alter and revise the Article, provided this is not done for commercial purposes, and that the user gives appropriate credit (with a link to the formal publication through the relevant DOI), provides a link to the license, indicates if changes were made and the licensor is not represented as endorsing the use made of the work. Further, any new works must be made available on the same conditions. The full details of the license are available at <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0>.

CC BY NC ND: The CC BY-NC-ND license allows users to copy and distribute the Article, provided this is not done for commercial purposes and further does not permit distribution of the Article if it is changed or edited in any way, and provided the user gives appropriate credit (with a link to the formal publication through the relevant DOI), provides a link to the license, and that the licensor is not represented as endorsing the use made of the work. The full details of the license are available at <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0>.

Any commercial reuse of Open Access articles published with a CC BY NC SA or CC BY NC ND license requires permission from Elsevier and will be subject to a fee.

Commercial reuse includes:

- Associating advertising with the full text of the Article
- Charging fees for document delivery or access
- Article aggregation
- Systematic distribution via e-mail lists or share buttons

Posting or linking by commercial companies for use by customers of those companies.

20. Other Conditions:

Questions? customercare@copyright.com or +1-855-239-3415 (toll free in the US) or +1-978-646-2777.

Gratis licenses (referencing \$0 in the Total field) are free. Please retain this printable license for your reference. No payment is required.

ELSEVIER LICENSE TERMS AND CONDITIONS

Mar 05, 2015

This is a License Agreement between Fidel Salas Vicente ("You") and Elsevier ("Elsevier") provided by Copyright Clearance Center ("CCC"). The license consists of your order details, the terms and conditions provided by Elsevier, and the payment terms and conditions.

All payments must be made in full to CCC. For payment instructions, please see information listed at the bottom of this form.

| | |
|--|--|
| Supplier | Elsevier Limited The Boulevard,Langford Lane Kidlington,Oxford,OX5 1GB,UK |
| Registered Company Number | 1982084 |
| Customer name | Fidel Salas Vicente |
| Customer address | Avda. Castellón, 5 Geldo, Castellón 12412 |
| License number | 3582351146606 |
| License date | Mar 05, 2015 |
| Licensed content publisher | Elsevier |
| Licensed content publication | Wear |
| Licensed content title | Tribological transitions due to heat dissipation during braking on contaminated rails |
| Licensed content author | None |
| Licensed content date | February 1995 |
| Licensed content volume number | 181 |
| Licensed content issue number | n/a |
| Number of pages | 6 |
| Start Page | 391 |
| End Page | 396 |
| Type of Use | reuse in a thesis/dissertation |
| Portion | figures/tables/illustrations |
| Number of figures/tables/illustrations | 1 |
| Format | both print and electronic |
| Are you the author of this Elsevier article? | No |
| Will you be translating? | No |
| Original figure numbers | Figure 1 |
| Title of your thesis/dissertation | Investigación y modelización de la adherencia, el desgaste y la fenomenología de daño asociada a la rodadura en contactos rueda-carril de aceros al carbono y bainíticos |

| | |
|----------------------------------|---------------------|
| Expected completion date | May 2015 |
| Estimated size (number of pages) | 440 |
| Elsevier VAT number | GB 494 6272 12 |
| Permissions price | 0.00 EUR |
| VAT/Local Sales Tax | 0.00 USD / 0.00 GBP |
| Total | 0.00 EUR |

[Terms and Conditions](#)

INTRODUCTION

1. The publisher for this copyrighted material is Elsevier. By clicking "accept" in connection with completing this licensing transaction, you agree that the following terms and conditions apply to this transaction (along with the Billing and Payment terms and conditions established by Copyright Clearance Center, Inc. ("CCC"), at the time that you opened your Rightslink account and that are available at any time at <http://myaccount.copyright.com>).

GENERAL TERMS

2. Elsevier hereby grants you permission to reproduce the aforementioned material subject to the terms and conditions indicated.

3. Acknowledgement: If any part of the material to be used (for example, figures) has appeared in our publication with credit or acknowledgement to another source, permission must also be sought from that source. If such permission is not obtained then that material may not be included in your publication/copies. Suitable acknowledgement to the source must be made, either as a footnote or in a reference list at the end of your publication, as follows:

"Reprinted from Publication title, Vol /edition number, Author(s), Title of article / title of chapter, Pages No., Copyright (Year), with permission from Elsevier [OR APPLICABLE SOCIETY COPYRIGHT OWNER]." Also Lancet special credit - "Reprinted from The Lancet, Vol. number, Author(s), Title of article, Pages No., Copyright (Year), with permission from Elsevier."

4. Reproduction of this material is confined to the purpose and/or media for which permission is hereby given.

5. Altering/Modifying Material: Not Permitted. However figures and illustrations may be altered/adapted minimally to serve your work. Any other abbreviations, additions, deletions and/or any other alterations shall be made only with prior written authorization of Elsevier Ltd. (Please contact Elsevier at permissions@elsevier.com)

6. If the permission fee for the requested use of our material is waived in this instance, please be advised that your future requests for Elsevier materials may attract a fee.

7. Reservation of Rights: Publisher reserves all rights not specifically granted in the combination of (i) the license details provided by you and accepted in the course of this licensing transaction, (ii) these terms and conditions and (iii) CCC's Billing and Payment terms and conditions.

8. License Contingent Upon Payment: While you may exercise the rights licensed immediately upon issuance of the license at the end of the licensing process for the

transaction, provided that you have disclosed complete and accurate details of your proposed use, no license is finally effective unless and until full payment is received from you (either by publisher or by CCC) as provided in CCC's Billing and Payment terms and conditions. If full payment is not received on a timely basis, then any license preliminarily granted shall be deemed automatically revoked and shall be void as if never granted. Further, in the event that you breach any of these terms and conditions or any of CCC's Billing and Payment terms and conditions, the license is automatically revoked and shall be void as if never granted. Use of materials as described in a revoked license, as well as any use of the materials beyond the scope of an unrevoked license, may constitute copyright infringement and publisher reserves the right to take any and all action to protect its copyright in the materials.

9. **Warranties:** Publisher makes no representations or warranties with respect to the licensed material.

10. **Indemnity:** You hereby indemnify and agree to hold harmless publisher and CCC, and their respective officers, directors, employees and agents, from and against any and all claims arising out of your use of the licensed material other than as specifically authorized pursuant to this license.

11. **No Transfer of License:** This license is personal to you and may not be sublicensed, assigned, or transferred by you to any other person without publisher's written permission.

12. **No Amendment Except in Writing:** This license may not be amended except in a writing signed by both parties (or, in the case of publisher, by CCC on publisher's behalf).

13. **Objection to Contrary Terms:** Publisher hereby objects to any terms contained in any purchase order, acknowledgment, check endorsement or other writing prepared by you, which terms are inconsistent with these terms and conditions or CCC's Billing and Payment terms and conditions. These terms and conditions, together with CCC's Billing and Payment terms and conditions (which are incorporated herein), comprise the entire agreement between you and publisher (and CCC) concerning this licensing transaction. In the event of any conflict between your obligations established by these terms and conditions and those established by CCC's Billing and Payment terms and conditions, these terms and conditions shall control.

14. **Revocation:** Elsevier or Copyright Clearance Center may deny the permissions described in this License at their sole discretion, for any reason or no reason, with a full refund payable to you. Notice of such denial will be made using the contact information provided by you. Failure to receive such notice will not alter or invalidate the denial. In no event will Elsevier or Copyright Clearance Center be responsible or liable for any costs, expenses or damage incurred by you as a result of a denial of your permission request, other than a refund of the amount(s) paid by you to Elsevier and/or Copyright Clearance Center for denied permissions.

LIMITED LICENSE

The following terms and conditions apply only to specific license types:

15. **Translation:** This permission is granted for non-exclusive world **English** rights only unless your license was granted for translation rights. If you licensed translation rights you may only translate this content into the languages you requested. A professional translator must perform all translations and reproduce the content word for word preserving the integrity of the article. If this license is to re-use 1 or 2 figures then permission is granted for non-exclusive world rights in all languages.

16. Posting licensed content on any Website: The following terms and conditions apply as follows: Licensing material from an Elsevier journal: All content posted to the web site must maintain the copyright information line on the bottom of each image; A hyper-text must be included to the Homepage of the journal from which you are licensing at <http://www.sciencedirect.com/science/journal/xxxxx> or the Elsevier homepage for books at <http://www.elsevier.com>; Central Storage: This license does not include permission for a scanned version of the material to be stored in a central repository such as that provided by Heron/XanEdu.

Licensing material from an Elsevier book: A hyper-text link must be included to the Elsevier homepage at <http://www.elsevier.com> . All content posted to the web site must maintain the copyright information line on the bottom of each image.

Posting licensed content on Electronic reserve: In addition to the above the following clauses are applicable: The web site must be password-protected and made available only to bona fide students registered on a relevant course. This permission is granted for 1 year only. You may obtain a new license for future website posting.

17. For journal authors: the following clauses are applicable in addition to the above:

Preprints:

A preprint is an author's own write-up of research results and analysis, it has not been peer-reviewed, nor has it had any other value added to it by a publisher (such as formatting, copyright, technical enhancement etc.).

Authors can share their preprints anywhere at any time. Preprints should not be added to or enhanced in any way in order to appear more like, or to substitute for, the final versions of articles however authors can update their preprints on arXiv or RePEc with their Accepted Author Manuscript (see below).

If accepted for publication, we encourage authors to link from the preprint to their formal publication via its DOI. Millions of researchers have access to the formal publications on ScienceDirect, and so links will help users to find, access, cite and use the best available version. Please note that Cell Press, The Lancet and some society-owned have different preprint policies. Information on these policies is available on the journal homepage.

Accepted Author Manuscripts: An accepted author manuscript is the manuscript of an article that has been accepted for publication and which typically includes author-incorporated changes suggested during submission, peer review and editor-author communications.

Authors can share their accepted author manuscript:

- immediately
 - via their non-commercial person homepage or blog
 - by updating a preprint in arXiv or RePEc with the accepted manuscript
 - via their research institute or institutional repository for internal institutional uses or as part of an invitation-only research collaboration work-group
 - directly by providing copies to their students or to research collaborators for

their personal use

- for private scholarly sharing as part of an invitation-only work group on commercial sites with which Elsevier has an agreement
- after the embargo period
 - via non-commercial hosting platforms such as their institutional repository
 - via commercial sites with which Elsevier has an agreement

In all cases accepted manuscripts should:

- link to the formal publication via its DOI
- bear a CC-BY-NC-ND license - this is easy to do
- if aggregated with other manuscripts, for example in a repository or other site, be shared in alignment with our hosting policy not be added to or enhanced in any way to appear more like, or to substitute for, the published journal article.

Published journal article (JPA): A published journal article (PJA) is the definitive final record of published research that appears or will appear in the journal and embodies all value-adding publishing activities including peer review co-ordination, copy-editing, formatting, (if relevant) pagination and online enrichment.

Policies for sharing publishing journal articles differ for subscription and gold open access articles:

Subscription Articles: If you are an author, please share a link to your article rather than the full-text. Millions of researchers have access to the formal publications on ScienceDirect, and so links will help your users to find, access, cite, and use the best available version.

Theses and dissertations which contain embedded PJAs as part of the formal submission can be posted publicly by the awarding institution with DOI links back to the formal publications on ScienceDirect.

If you are affiliated with a library that subscribes to ScienceDirect you have additional private sharing rights for others' research accessed under that agreement. This includes use for classroom teaching and internal training at the institution (including use in course packs and courseware programs), and inclusion of the article for grant funding purposes.

Gold Open Access Articles: May be shared according to the author-selected end-user license and should contain a [CrossMark logo](#), the end user license, and a DOI link to the formal publication on ScienceDirect.

Please refer to Elsevier's [posting policy](#) for further information.

18. **For book authors** the following clauses are applicable in addition to the above: Authors are permitted to place a brief summary of their work online only. You are not allowed to download and post the published electronic version of your chapter, nor may you scan the printed edition to create an electronic version. **Posting to a repository:** Authors are permitted to post a summary of their chapter only in their institution's repository.

19. **Thesis/Dissertation:** If your license is for use in a thesis/dissertation your thesis may be

submitted to your institution in either print or electronic form. Should your thesis be published commercially, please reapply for permission. These requirements include permission for the Library and Archives of Canada to supply single copies, on demand, of the complete thesis and include permission for Proquest/UMI to supply single copies, on demand, of the complete thesis. Should your thesis be published commercially, please reapply for permission. Theses and dissertations which contain embedded PJAs as part of the formal submission can be posted publicly by the awarding institution with DOI links back to the formal publications on ScienceDirect.

Elsevier Open Access Terms and Conditions

You can publish open access with Elsevier in hundreds of open access journals or in nearly 2000 established subscription journals that support open access publishing. Permitted third party re-use of these open access articles is defined by the author's choice of Creative Commons user license. See our [open access license policy](#) for more information.

Terms & Conditions applicable to all Open Access articles published with Elsevier:

Any reuse of the article must not represent the author as endorsing the adaptation of the article nor should the article be modified in such a way as to damage the author's honour or reputation. If any changes have been made, such changes must be clearly indicated.

The author(s) must be appropriately credited and we ask that you include the end user license and a DOI link to the formal publication on ScienceDirect.

If any part of the material to be used (for example, figures) has appeared in our publication with credit or acknowledgement to another source it is the responsibility of the user to ensure their reuse complies with the terms and conditions determined by the rights holder.

Additional Terms & Conditions applicable to each Creative Commons user license:

CC BY: The CC-BY license allows users to copy, to create extracts, abstracts and new works from the Article, to alter and revise the Article and to make commercial use of the Article (including reuse and/or resale of the Article by commercial entities), provided the user gives appropriate credit (with a link to the formal publication through the relevant DOI), provides a link to the license, indicates if changes were made and the licensor is not represented as endorsing the use made of the work. The full details of the license are available at <http://creativecommons.org/licenses/by/4.0>.

CC BY NC SA: The CC BY-NC-SA license allows users to copy, to create extracts, abstracts and new works from the Article, to alter and revise the Article, provided this is not done for commercial purposes, and that the user gives appropriate credit (with a link to the formal publication through the relevant DOI), provides a link to the license, indicates if changes were made and the licensor is not represented as endorsing the use made of the work. Further, any new works must be made available on the same conditions. The full details of the license are available at <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0>.

CC BY NC ND: The CC BY-NC-ND license allows users to copy and distribute the Article, provided this is not done for commercial purposes and further does not permit distribution of the Article if it is changed or edited in any way, and provided the user gives appropriate credit (with a link to the formal publication through the relevant DOI), provides a link to the license, and that the licensor is not represented as endorsing the use made of the work. The full details of the license are available at <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0>.

Any commercial reuse of Open Access articles published with a CC BY NC SA or CC BY NC ND license requires permission from Elsevier and will be subject to a fee.

Commercial reuse includes:

- Associating advertising with the full text of the Article
- Charging fees for document delivery or access
- Article aggregation
- Systematic distribution via e-mail lists or share buttons

Posting or linking by commercial companies for use by customers of those companies.

20. Other Conditions:

Questions? customercare@copyright.com or +1-855-239-3415 (toll free in the US) or +1-978-646-2777.

Gratis licenses (referencing \$0 in the Total field) are free. Please retain this printable license for your reference. No payment is required.

ELSEVIER LICENSE TERMS AND CONDITIONS

Mar 07, 2015

This is a License Agreement between Fidel Salas Vicente ("You") and Elsevier ("Elsevier") provided by Copyright Clearance Center ("CCC"). The license consists of your order details, the terms and conditions provided by Elsevier, and the payment terms and conditions.

All payments must be made in full to CCC. For payment instructions, please see information listed at the bottom of this form.

| | |
|--|---|
| Supplier | Elsevier Limited The Boulevard, Langford Lane Kidlington, Oxford, OX5 1GB, UK |
| Registered Company Number | 1982084 |
| Customer name | Fidel Salas Vicente |
| Customer address | Avda. Castellón, 5 Geldo, Castellón 12412 |
| License number | 3583670906572 |
| License date | Mar 07, 2015 |
| Licensed content publisher | Elsevier |
| Licensed content publication | Wear |
| Licensed content title | Twin disc assessment of wheel/rail adhesion |
| Licensed content author | E.A. Gallardo-Hernandez, R. Lewis |
| Licensed content date | 30 October 2008 |
| Licensed content volume number | 265 |
| Licensed content issue number | 9-10 |
| Number of pages | 8 |
| Start Page | 1309 |
| End Page | 1316 |
| Type of Use | reuse in a thesis/dissertation |
| Intended publisher of new work | other |
| Portion | figures/tables/illustrations |
| Number of figures/tables/illustrations | 1 |
| Format | both print and electronic |
| Are you the author of this Elsevier article? | No |
| Will you be translating? | No |
| Original figure numbers | Figure 6 |
| Title of your | Investigación y modelización de la adherencia, el desgaste y la |

| | |
|----------------------------------|--|
| thesis/dissertation | fenomenología de daño asociada a la rodadura en contactos rueda-carril de aceros al carbono y bainíticos |
| Expected completion date | May 2015 |
| Estimated size (number of pages) | 440 |
| Elsevier VAT number | GB 494 6272 12 |
| Permissions price | 0.00 EUR |
| VAT/Local Sales Tax | 0.00 EUR / 0.00 GBP |
| Total | 0.00 EUR |
| Terms and Conditions | |

INTRODUCTION

1. The publisher for this copyrighted material is Elsevier. By clicking "accept" in connection with completing this licensing transaction, you agree that the following terms and conditions apply to this transaction (along with the Billing and Payment terms and conditions established by Copyright Clearance Center, Inc. ("CCC"), at the time that you opened your Rightslink account and that are available at any time at <http://myaccount.copyright.com>).

GENERAL TERMS

2. Elsevier hereby grants you permission to reproduce the aforementioned material subject to the terms and conditions indicated.

3. Acknowledgement: If any part of the material to be used (for example, figures) has appeared in our publication with credit or acknowledgement to another source, permission must also be sought from that source. If such permission is not obtained then that material may not be included in your publication/copies. Suitable acknowledgement to the source must be made, either as a footnote or in a reference list at the end of your publication, as follows:

"Reprinted from Publication title, Vol /edition number, Author(s), Title of article / title of chapter, Pages No., Copyright (Year), with permission from Elsevier [OR APPLICABLE SOCIETY COPYRIGHT OWNER]." Also Lancet special credit - "Reprinted from The Lancet, Vol. number, Author(s), Title of article, Pages No., Copyright (Year), with permission from Elsevier."

4. Reproduction of this material is confined to the purpose and/or media for which permission is hereby given.

5. Altering/Modifying Material: Not Permitted. However figures and illustrations may be altered/adapted minimally to serve your work. Any other abbreviations, additions, deletions and/or any other alterations shall be made only with prior written authorization of Elsevier Ltd. (Please contact Elsevier at permissions@elsevier.com)

6. If the permission fee for the requested use of our material is waived in this instance, please be advised that your future requests for Elsevier materials may attract a fee.

7. Reservation of Rights: Publisher reserves all rights not specifically granted in the combination of (i) the license details provided by you and accepted in the course of this licensing transaction, (ii) these terms and conditions and (iii) CCC's Billing and Payment terms and conditions.

8. **License Contingent Upon Payment:** While you may exercise the rights licensed immediately upon issuance of the license at the end of the licensing process for the transaction, provided that you have disclosed complete and accurate details of your proposed use, no license is finally effective unless and until full payment is received from you (either by publisher or by CCC) as provided in CCC's Billing and Payment terms and conditions. If full payment is not received on a timely basis, then any license preliminarily granted shall be deemed automatically revoked and shall be void as if never granted. Further, in the event that you breach any of these terms and conditions or any of CCC's Billing and Payment terms and conditions, the license is automatically revoked and shall be void as if never granted. Use of materials as described in a revoked license, as well as any use of the materials beyond the scope of an unrevoked license, may constitute copyright infringement and publisher reserves the right to take any and all action to protect its copyright in the materials.

9. **Warranties:** Publisher makes no representations or warranties with respect to the licensed material.

10. **Indemnity:** You hereby indemnify and agree to hold harmless publisher and CCC, and their respective officers, directors, employees and agents, from and against any and all claims arising out of your use of the licensed material other than as specifically authorized pursuant to this license.

11. **No Transfer of License:** This license is personal to you and may not be sublicensed, assigned, or transferred by you to any other person without publisher's written permission.

12. **No Amendment Except in Writing:** This license may not be amended except in a writing signed by both parties (or, in the case of publisher, by CCC on publisher's behalf).

13. **Objection to Contrary Terms:** Publisher hereby objects to any terms contained in any purchase order, acknowledgment, check endorsement or other writing prepared by you, which terms are inconsistent with these terms and conditions or CCC's Billing and Payment terms and conditions. These terms and conditions, together with CCC's Billing and Payment terms and conditions (which are incorporated herein), comprise the entire agreement between you and publisher (and CCC) concerning this licensing transaction. In the event of any conflict between your obligations established by these terms and conditions and those established by CCC's Billing and Payment terms and conditions, these terms and conditions shall control.

14. **Revocation:** Elsevier or Copyright Clearance Center may deny the permissions described in this License at their sole discretion, for any reason or no reason, with a full refund payable to you. Notice of such denial will be made using the contact information provided by you. Failure to receive such notice will not alter or invalidate the denial. In no event will Elsevier or Copyright Clearance Center be responsible or liable for any costs, expenses or damage incurred by you as a result of a denial of your permission request, other than a refund of the amount(s) paid by you to Elsevier and/or Copyright Clearance Center for denied permissions.

LIMITED LICENSE

The following terms and conditions apply only to specific license types:

15. **Translation:** This permission is granted for non-exclusive world **English** rights only unless your license was granted for translation rights. If you licensed translation rights you may only translate this content into the languages you requested. A professional translator must perform all translations and reproduce the content word for word preserving the

integrity of the article. If this license is to re-use 1 or 2 figures then permission is granted for non-exclusive world rights in all languages.

16. Posting licensed content on any Website: The following terms and conditions apply as follows: Licensing material from an Elsevier journal: All content posted to the web site must maintain the copyright information line on the bottom of each image; A hyper-text must be included to the Homepage of the journal from which you are licensing at <http://www.sciencedirect.com/science/journal/xxxxx> or the Elsevier homepage for books at <http://www.elsevier.com>; Central Storage: This license does not include permission for a scanned version of the material to be stored in a central repository such as that provided by Heron/XanEdu.

Licensing material from an Elsevier book: A hyper-text link must be included to the Elsevier homepage at <http://www.elsevier.com> . All content posted to the web site must maintain the copyright information line on the bottom of each image.

Posting licensed content on Electronic reserve: In addition to the above the following clauses are applicable: The web site must be password-protected and made available only to bona fide students registered on a relevant course. This permission is granted for 1 year only. You may obtain a new license for future website posting.

17. For journal authors: the following clauses are applicable in addition to the above:

Preprints:

A preprint is an author's own write-up of research results and analysis, it has not been peer-reviewed, nor has it had any other value added to it by a publisher (such as formatting, copyright, technical enhancement etc.).

Authors can share their preprints anywhere at any time. Preprints should not be added to or enhanced in any way in order to appear more like, or to substitute for, the final versions of articles however authors can update their preprints on arXiv or RePEc with their Accepted Author Manuscript (see below).

If accepted for publication, we encourage authors to link from the preprint to their formal publication via its DOI. Millions of researchers have access to the formal publications on ScienceDirect, and so links will help users to find, access, cite and use the best available version. Please note that Cell Press, The Lancet and some society-owned have different preprint policies. Information on these policies is available on the journal homepage.

Accepted Author Manuscripts: An accepted author manuscript is the manuscript of an article that has been accepted for publication and which typically includes author-incorporated changes suggested during submission, peer review and editor-author communications.

Authors can share their accepted author manuscript:

- immediately
 - via their non-commercial person homepage or blog
 - by updating a preprint in arXiv or RePEc with the accepted manuscript
 - via their research institute or institutional repository for internal institutional

uses or as part of an invitation-only research collaboration work-group

- directly by providing copies to their students or to research collaborators for their personal use
 - for private scholarly sharing as part of an invitation-only work group on commercial sites with which Elsevier has an agreement
- after the embargo period
- via non-commercial hosting platforms such as their institutional repository
 - via commercial sites with which Elsevier has an agreement

In all cases accepted manuscripts should:

- link to the formal publication via its DOI
- bear a CC-BY-NC-ND license - this is easy to do
- if aggregated with other manuscripts, for example in a repository or other site, be shared in alignment with our hosting policy not be added to or enhanced in any way to appear more like, or to substitute for, the published journal article.

Published journal article (JPA): A published journal article (PJA) is the definitive final record of published research that appears or will appear in the journal and embodies all value-adding publishing activities including peer review co-ordination, copy-editing, formatting, (if relevant) pagination and online enrichment.

Policies for sharing publishing journal articles differ for subscription and gold open access articles:

Subscription Articles: If you are an author, please share a link to your article rather than the full-text. Millions of researchers have access to the formal publications on ScienceDirect, and so links will help your users to find, access, cite, and use the best available version.

Theses and dissertations which contain embedded PJAs as part of the formal submission can be posted publicly by the awarding institution with DOI links back to the formal publications on ScienceDirect.

If you are affiliated with a library that subscribes to ScienceDirect you have additional private sharing rights for others' research accessed under that agreement. This includes use for classroom teaching and internal training at the institution (including use in course packs and courseware programs), and inclusion of the article for grant funding purposes.

Gold Open Access Articles: May be shared according to the author-selected end-user license and should contain a [CrossMark logo](#), the end user license, and a DOI link to the formal publication on ScienceDirect.

Please refer to Elsevier's [posting policy](#) for further information.

18. **For book authors** the following clauses are applicable in addition to the above: Authors are permitted to place a brief summary of their work online only. You are not allowed to download and post the published electronic version of your chapter, nor may you scan the printed edition to create an electronic version. **Posting to a repository:** Authors are

permitted to post a summary of their chapter only in their institution's repository.

19. Thesis/Dissertation: If your license is for use in a thesis/dissertation your thesis may be submitted to your institution in either print or electronic form. Should your thesis be published commercially, please reapply for permission. These requirements include permission for the Library and Archives of Canada to supply single copies, on demand, of the complete thesis and include permission for Proquest/UMI to supply single copies, on demand, of the complete thesis. Should your thesis be published commercially, please reapply for permission. Theses and dissertations which contain embedded PJAs as part of the formal submission can be posted publicly by the awarding institution with DOI links back to the formal publications on ScienceDirect.

Elsevier Open Access Terms and Conditions

You can publish open access with Elsevier in hundreds of open access journals or in nearly 2000 established subscription journals that support open access publishing. Permitted third party re-use of these open access articles is defined by the author's choice of Creative Commons user license. See our [open access license policy](#) for more information.

Terms & Conditions applicable to all Open Access articles published with Elsevier:

Any reuse of the article must not represent the author as endorsing the adaptation of the article nor should the article be modified in such a way as to damage the author's honour or reputation. If any changes have been made, such changes must be clearly indicated.

The author(s) must be appropriately credited and we ask that you include the end user license and a DOI link to the formal publication on ScienceDirect.

If any part of the material to be used (for example, figures) has appeared in our publication with credit or acknowledgement to another source it is the responsibility of the user to ensure their reuse complies with the terms and conditions determined by the rights holder.

Additional Terms & Conditions applicable to each Creative Commons user license:

CC BY: The CC-BY license allows users to copy, to create extracts, abstracts and new works from the Article, to alter and revise the Article and to make commercial use of the Article (including reuse and/or resale of the Article by commercial entities), provided the user gives appropriate credit (with a link to the formal publication through the relevant DOI), provides a link to the license, indicates if changes were made and the licensor is not represented as endorsing the use made of the work. The full details of the license are available at <http://creativecommons.org/licenses/by/4.0>.

CC BY NC SA: The CC BY-NC-SA license allows users to copy, to create extracts, abstracts and new works from the Article, to alter and revise the Article, provided this is not done for commercial purposes, and that the user gives appropriate credit (with a link to the formal publication through the relevant DOI), provides a link to the license, indicates if changes were made and the licensor is not represented as endorsing the use made of the work. Further, any new works must be made available on the same conditions. The full details of the license are available at <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0>.

CC BY NC ND: The CC BY-NC-ND license allows users to copy and distribute the Article, provided this is not done for commercial purposes and further does not permit distribution of the Article if it is changed or edited in any way, and provided the user gives appropriate

credit (with a link to the formal publication through the relevant DOI), provides a link to the license, and that the licensor is not represented as endorsing the use made of the work. The full details of the license are available at <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0>. Any commercial reuse of Open Access articles published with a CC BY NC SA or CC BY NC ND license requires permission from Elsevier and will be subject to a fee.

Commercial reuse includes:

- Associating advertising with the full text of the Article
- Charging fees for document delivery or access
- Article aggregation
- Systematic distribution via e-mail lists or share buttons

Posting or linking by commercial companies for use by customers of those companies.

20. Other Conditions:

Questions? customercare@copyright.com or +1-855-239-3415 (toll free in the US) or +1-978-646-2777.

Gratis licenses (referencing \$0 in the Total field) are free. Please retain this printable license for your reference. No payment is required.

**ELSEVIER LICENSE
TERMS AND CONDITIONS**

Mar 03, 2015

This is a License Agreement between Fidel Salas Vicente ("You") and Elsevier ("Elsevier") provided by Copyright Clearance Center ("CCC"). The license consists of your order details, the terms and conditions provided by Elsevier, and the payment terms and conditions.

All payments must be made in full to CCC. For payment instructions, please see information listed at the bottom of this form.

| | |
|--|--|
| Supplier | Elsevier Limited The Boulevard,Langford Lane Kidlington,Oxford,OX5 1GB,UK |
| Registered Company Number | 1982084 |
| Customer name | Fidel Salas Vicente |
| Customer address | Avda. Castellón, 5 Geldo, Castellón 12412 |
| License number | 3581451391706 |
| License date | Mar 03, 2015 |
| Licensed content publisher | Elsevier |
| Licensed content publication | Wear |
| Licensed content title | Unlubricated sliding and rolling/sliding wear behavior of continuously cooled, low/medium carbon bainitic steels |
| Licensed content author | P. Clayton,N. Jin |
| Licensed content date | 1 December 1996 |
| Licensed content volume number | 200 |
| Licensed content issue number | 1-2 |
| Number of pages | 9 |
| Start Page | 74 |
| End Page | 82 |
| Type of Use | reuse in a thesis/dissertation |
| Intended publisher of new work | other |
| Portion | figures/tables/illustrations |
| Number of figures/tables/illustrations | 1 |
| Format | both print and electronic |
| Are you the author of this Elsevier article? | No |
| Will you be translating? | No |
| Original figure numbers | Figure 9 |

| | |
|-----------------------------------|--|
| Title of your thesis/dissertation | Investigación y modelización de la adherencia, el desgaste y la fenomenología de daño asociada a la rodadura en contactos rueda-carril de aceros al carbono y bainíticos |
| Expected completion date | May 2015 |
| Estimated size (number of pages) | 440 |
| Elsevier VAT number | GB 494 6272 12 |
| Permissions price | 0.00 EUR |
| VAT/Local Sales Tax | 0.00 USD / 0.00 GBP |
| Total | 0.00 EUR |

Terms and Conditions

INTRODUCTION

1. The publisher for this copyrighted material is Elsevier. By clicking "accept" in connection with completing this licensing transaction, you agree that the following terms and conditions apply to this transaction (along with the Billing and Payment terms and conditions established by Copyright Clearance Center, Inc. ("CCC"), at the time that you opened your Rightslink account and that are available at any time at <http://myaccount.copyright.com>).

GENERAL TERMS

2. Elsevier hereby grants you permission to reproduce the aforementioned material subject to the terms and conditions indicated.

3. Acknowledgement: If any part of the material to be used (for example, figures) has appeared in our publication with credit or acknowledgement to another source, permission must also be sought from that source. If such permission is not obtained then that material may not be included in your publication/copies. Suitable acknowledgement to the source must be made, either as a footnote or in a reference list at the end of your publication, as follows:

"Reprinted from Publication title, Vol /edition number, Author(s), Title of article / title of chapter, Pages No., Copyright (Year), with permission from Elsevier [OR APPLICABLE SOCIETY COPYRIGHT OWNER]." Also Lancet special credit - "Reprinted from The Lancet, Vol. number, Author(s), Title of article, Pages No., Copyright (Year), with permission from Elsevier."

4. Reproduction of this material is confined to the purpose and/or media for which permission is hereby given.

5. Altering/Modifying Material: Not Permitted. However figures and illustrations may be altered/adapted minimally to serve your work. Any other abbreviations, additions, deletions and/or any other alterations shall be made only with prior written authorization of Elsevier Ltd. (Please contact Elsevier at permissions@elsevier.com)

6. If the permission fee for the requested use of our material is waived in this instance, please be advised that your future requests for Elsevier materials may attract a fee.

7. Reservation of Rights: Publisher reserves all rights not specifically granted in the combination of (i) the license details provided by you and accepted in the course of this licensing transaction, (ii) these terms and conditions and (iii) CCC's Billing and Payment terms and conditions.

8. **License Contingent Upon Payment:** While you may exercise the rights licensed immediately upon issuance of the license at the end of the licensing process for the transaction, provided that you have disclosed complete and accurate details of your proposed use, no license is finally effective unless and until full payment is received from you (either by publisher or by CCC) as provided in CCC's Billing and Payment terms and conditions. If full payment is not received on a timely basis, then any license preliminarily granted shall be deemed automatically revoked and shall be void as if never granted. Further, in the event that you breach any of these terms and conditions or any of CCC's Billing and Payment terms and conditions, the license is automatically revoked and shall be void as if never granted. Use of materials as described in a revoked license, as well as any use of the materials beyond the scope of an unrevoked license, may constitute copyright infringement and publisher reserves the right to take any and all action to protect its copyright in the materials.

9. **Warranties:** Publisher makes no representations or warranties with respect to the licensed material.

10. **Indemnity:** You hereby indemnify and agree to hold harmless publisher and CCC, and their respective officers, directors, employees and agents, from and against any and all claims arising out of your use of the licensed material other than as specifically authorized pursuant to this license.

11. **No Transfer of License:** This license is personal to you and may not be sublicensed, assigned, or transferred by you to any other person without publisher's written permission.

12. **No Amendment Except in Writing:** This license may not be amended except in a writing signed by both parties (or, in the case of publisher, by CCC on publisher's behalf).

13. **Objection to Contrary Terms:** Publisher hereby objects to any terms contained in any purchase order, acknowledgment, check endorsement or other writing prepared by you, which terms are inconsistent with these terms and conditions or CCC's Billing and Payment terms and conditions. These terms and conditions, together with CCC's Billing and Payment terms and conditions (which are incorporated herein), comprise the entire agreement between you and publisher (and CCC) concerning this licensing transaction. In the event of any conflict between your obligations established by these terms and conditions and those established by CCC's Billing and Payment terms and conditions, these terms and conditions shall control.

14. **Revocation:** Elsevier or Copyright Clearance Center may deny the permissions described in this License at their sole discretion, for any reason or no reason, with a full refund payable to you. Notice of such denial will be made using the contact information provided by you. Failure to receive such notice will not alter or invalidate the denial. In no event will Elsevier or Copyright Clearance Center be responsible or liable for any costs, expenses or damage incurred by you as a result of a denial of your permission request, other than a refund of the amount(s) paid by you to Elsevier and/or Copyright Clearance Center for denied permissions.

LIMITED LICENSE

The following terms and conditions apply only to specific license types:

15. **Translation:** This permission is granted for non-exclusive world **English** rights only unless your license was granted for translation rights. If you licensed translation rights you may only translate this content into the languages you requested. A professional translator must perform all translations and reproduce the content word for word preserving the

integrity of the article. If this license is to re-use 1 or 2 figures then permission is granted for non-exclusive world rights in all languages.

16. Posting licensed content on any Website: The following terms and conditions apply as follows: Licensing material from an Elsevier journal: All content posted to the web site must maintain the copyright information line on the bottom of each image; A hyper-text must be included to the Homepage of the journal from which you are licensing at <http://www.sciencedirect.com/science/journal/xxxxx> or the Elsevier homepage for books at <http://www.elsevier.com>; Central Storage: This license does not include permission for a scanned version of the material to be stored in a central repository such as that provided by Heron/XanEdu.

Licensing material from an Elsevier book: A hyper-text link must be included to the Elsevier homepage at <http://www.elsevier.com> . All content posted to the web site must maintain the copyright information line on the bottom of each image.

Posting licensed content on Electronic reserve: In addition to the above the following clauses are applicable: The web site must be password-protected and made available only to bona fide students registered on a relevant course. This permission is granted for 1 year only. You may obtain a new license for future website posting.

17. For journal authors: the following clauses are applicable in addition to the above:

Preprints:

A preprint is an author's own write-up of research results and analysis, it has not been peer-reviewed, nor has it had any other value added to it by a publisher (such as formatting, copyright, technical enhancement etc.).

Authors can share their preprints anywhere at any time. Preprints should not be added to or enhanced in any way in order to appear more like, or to substitute for, the final versions of articles however authors can update their preprints on arXiv or RePEc with their Accepted Author Manuscript (see below).

If accepted for publication, we encourage authors to link from the preprint to their formal publication via its DOI. Millions of researchers have access to the formal publications on ScienceDirect, and so links will help users to find, access, cite and use the best available version. Please note that Cell Press, The Lancet and some society-owned have different preprint policies. Information on these policies is available on the journal homepage.

Accepted Author Manuscripts: An accepted author manuscript is the manuscript of an article that has been accepted for publication and which typically includes author-incorporated changes suggested during submission, peer review and editor-author communications.

Authors can share their accepted author manuscript:

- immediately
 - via their non-commercial person homepage or blog
 - by updating a preprint in arXiv or RePEc with the accepted manuscript
 - via their research institute or institutional repository for internal institutional

uses or as part of an invitation-only research collaboration work-group

- directly by providing copies to their students or to research collaborators for their personal use
 - for private scholarly sharing as part of an invitation-only work group on commercial sites with which Elsevier has an agreement
- after the embargo period
- via non-commercial hosting platforms such as their institutional repository
 - via commercial sites with which Elsevier has an agreement

In all cases accepted manuscripts should:

- link to the formal publication via its DOI
- bear a CC-BY-NC-ND license - this is easy to do
- if aggregated with other manuscripts, for example in a repository or other site, be shared in alignment with our hosting policy not be added to or enhanced in any way to appear more like, or to substitute for, the published journal article.

Published journal article (JPA): A published journal article (PJA) is the definitive final record of published research that appears or will appear in the journal and embodies all value-adding publishing activities including peer review co-ordination, copy-editing, formatting, (if relevant) pagination and online enrichment.

Policies for sharing publishing journal articles differ for subscription and gold open access articles:

Subscription Articles: If you are an author, please share a link to your article rather than the full-text. Millions of researchers have access to the formal publications on ScienceDirect, and so links will help your users to find, access, cite, and use the best available version.

Theses and dissertations which contain embedded PJAs as part of the formal submission can be posted publicly by the awarding institution with DOI links back to the formal publications on ScienceDirect.

If you are affiliated with a library that subscribes to ScienceDirect you have additional private sharing rights for others' research accessed under that agreement. This includes use for classroom teaching and internal training at the institution (including use in course packs and courseware programs), and inclusion of the article for grant funding purposes.

Gold Open Access Articles: May be shared according to the author-selected end-user license and should contain a [CrossMark logo](#), the end user license, and a DOI link to the formal publication on ScienceDirect.

Please refer to Elsevier's [posting policy](#) for further information.

18. **For book authors** the following clauses are applicable in addition to the above: Authors are permitted to place a brief summary of their work online only. You are not allowed to download and post the published electronic version of your chapter, nor may you scan the printed edition to create an electronic version. **Posting to a repository:** Authors are

permitted to post a summary of their chapter only in their institution's repository.

19. Thesis/Dissertation: If your license is for use in a thesis/dissertation your thesis may be submitted to your institution in either print or electronic form. Should your thesis be published commercially, please reapply for permission. These requirements include permission for the Library and Archives of Canada to supply single copies, on demand, of the complete thesis and include permission for Proquest/UMI to supply single copies, on demand, of the complete thesis. Should your thesis be published commercially, please reapply for permission. Theses and dissertations which contain embedded PJAs as part of the formal submission can be posted publicly by the awarding institution with DOI links back to the formal publications on ScienceDirect.

Elsevier Open Access Terms and Conditions

You can publish open access with Elsevier in hundreds of open access journals or in nearly 2000 established subscription journals that support open access publishing. Permitted third party re-use of these open access articles is defined by the author's choice of Creative Commons user license. See our [open access license policy](#) for more information.

Terms & Conditions applicable to all Open Access articles published with Elsevier:

Any reuse of the article must not represent the author as endorsing the adaptation of the article nor should the article be modified in such a way as to damage the author's honour or reputation. If any changes have been made, such changes must be clearly indicated.

The author(s) must be appropriately credited and we ask that you include the end user license and a DOI link to the formal publication on ScienceDirect.

If any part of the material to be used (for example, figures) has appeared in our publication with credit or acknowledgement to another source it is the responsibility of the user to ensure their reuse complies with the terms and conditions determined by the rights holder.

Additional Terms & Conditions applicable to each Creative Commons user license:

CC BY: The CC-BY license allows users to copy, to create extracts, abstracts and new works from the Article, to alter and revise the Article and to make commercial use of the Article (including reuse and/or resale of the Article by commercial entities), provided the user gives appropriate credit (with a link to the formal publication through the relevant DOI), provides a link to the license, indicates if changes were made and the licensor is not represented as endorsing the use made of the work. The full details of the license are available at <http://creativecommons.org/licenses/by/4.0>.

CC BY NC SA: The CC BY-NC-SA license allows users to copy, to create extracts, abstracts and new works from the Article, to alter and revise the Article, provided this is not done for commercial purposes, and that the user gives appropriate credit (with a link to the formal publication through the relevant DOI), provides a link to the license, indicates if changes were made and the licensor is not represented as endorsing the use made of the work. Further, any new works must be made available on the same conditions. The full details of the license are available at <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0>.

CC BY NC ND: The CC BY-NC-ND license allows users to copy and distribute the Article, provided this is not done for commercial purposes and further does not permit distribution of the Article if it is changed or edited in any way, and provided the user gives appropriate

credit (with a link to the formal publication through the relevant DOI), provides a link to the license, and that the licensor is not represented as endorsing the use made of the work. The full details of the license are available at <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0>. Any commercial reuse of Open Access articles published with a CC BY NC SA or CC BY NC ND license requires permission from Elsevier and will be subject to a fee.

Commercial reuse includes:

- Associating advertising with the full text of the Article
- Charging fees for document delivery or access
- Article aggregation
- Systematic distribution via e-mail lists or share buttons

Posting or linking by commercial companies for use by customers of those companies.

20. Other Conditions:

Questions? customercare@copyright.com or +1-855-239-3415 (toll free in the US) or +1-978-646-2777.

Gratis licenses (referencing \$0 in the Total field) are free. Please retain this printable license for your reference. No payment is required.

**Wheel rolling contact fatigue (RCF) and rim defects
investigation to further knowledge of the causes of RCF and
to determine control measures**

RSSB Wheel Steel Guide

Martin Clarke

CONTENTS

| | | |
|---|---|----|
| | ABBREVIATIONS AND ACRONYMS | 3 |
| 1 | EXECUTIVE SUMMARY | 4 |
| 2 | BACKGROUND | 4 |
| 3 | APPROACH | 5 |
| 4 | WHEEL STEEL CHARACTERISTICS..... | 6 |
| 5 | WHEEL STEEL CHEMICAL ANALYSIS DISCUSSION: | 11 |
| 6 | WHEEL STEEL MECHANICAL PROPERTIES DISCUSSION..... | 13 |
| 7 | SUMMARY | 16 |
| 8 | ACKNOWLEDGEMENTS..... | 16 |
| 9 | RELATED DOCUMENTS AND SPECIFICATIONS..... | 16 |
| | Appendix I – Wheel Chemistry Table | 17 |
| | Appendix II – Wheel Mechanical Property Table..... | 18 |
| | Appendix III – Old BR grades superseded Table | 19 |
| | Appendix IV – Wheel grade applications | 20 |

© Copyright 2008 Rail Safety and Standards Board.

This publication may be reproduced free of charge for research, private study or for internal circulation within an organisation. This is subject to it being reproduced and referenced accurately and not being used in a misleading context. The material must be acknowledged as the copyright of Rail Safety and Standards Board and the title of the publication specified accordingly. For any other use of the material please apply to RSSB's Head of Research and Development for permission. Any additional queries can be directed to research@rssb.co.uk. This publication can be accessed via the RSSB website:

www.rssb.co.uk

**Wheel rolling contact fatigue (RCF) and rim defects
investigation to further knowledge of the causes of RCF and
to determine control measures**

RSSB Wheel Steel Guide

Martin Clarke

CONTENTS

| | | |
|---|---|----|
| | ABBREVIATIONS AND ACRONYMS | 3 |
| 1 | EXECUTIVE SUMMARY | 4 |
| 2 | BACKGROUND | 4 |
| 3 | APPROACH | 5 |
| 4 | WHEEL STEEL CHARACTERISTICS..... | 6 |
| 5 | WHEEL STEEL CHEMICAL ANALYSIS DISCUSSION: | 11 |
| 6 | WHEEL STEEL MECHANICAL PROPERTIES DISCUSSION..... | 13 |
| 7 | SUMMARY | 16 |
| 8 | ACKNOWLEDGEMENTS..... | 16 |
| 9 | RELATED DOCUMENTS AND SPECIFICATIONS..... | 16 |
| | Appendix I – Wheel Chemistry Table | 17 |
| | Appendix II – Wheel Mechanical Property Table..... | 18 |
| | Appendix III – Old BR grades superseded Table | 19 |
| | Appendix IV – Wheel grade applications | 20 |

© Copyright 2008 Rail Safety and Standards Board.

This publication may be reproduced free of charge for research, private study or for internal circulation within an organisation. This is subject to it being reproduced and referenced accurately and not being used in a misleading context. The material must be acknowledged as the copyright of Rail Safety and Standards Board and the title of the publication specified accordingly. For any other use of the material please apply to RSSB's Head of Research and Development for permission. Any additional queries can be directed to research@rssb.co.uk. This publication can be accessed via the RSSB website:

www.rssb.co.uk

ELSEVIER LICENSE TERMS AND CONDITIONS

Mar 03, 2015

This is a License Agreement between Fidel Salas Vicente ("You") and Elsevier ("Elsevier") provided by Copyright Clearance Center ("CCC"). The license consists of your order details, the terms and conditions provided by Elsevier, and the payment terms and conditions.

All payments must be made in full to CCC. For payment instructions, please see information listed at the bottom of this form.

| | |
|--|--|
| Supplier | Elsevier Limited The Boulevard,Langford Lane Kidlington,Oxford,OX5 1GB,UK |
| Registered Company Number | 1982084 |
| Customer name | Fidel Salas Vicente |
| Customer address | Avda. Castellón, 5 Geldo, Castellón 12412 |
| License number | 3581450319480 |
| License date | Mar 03, 2015 |
| Licensed content publisher | Elsevier |
| Licensed content publication | Wear |
| Licensed content title | Wheel-rail adhesion: laboratory study of "natural" third body role on locomotives wheels and rails |
| Licensed content author | E. Niccolini,Y. Berthier |
| Licensed content date | March 2005 |
| Licensed content volume number | 258 |
| Licensed content issue number | 7-8 |
| Number of pages | 7 |
| Start Page | 1172 |
| End Page | 1178 |
| Type of Use | reuse in a thesis/dissertation |
| Portion | figures/tables/illustrations |
| Number of figures/tables/illustrations | 1 |
| Format | both print and electronic |
| Are you the author of this Elsevier article? | No |
| Will you be translating? | No |
| Original figure numbers | Figure 10 |
| Title of your thesis/dissertation | Investigación y modelización de la adherencia, el desgaste y la fenomenología de daño asociada a la rodadura en contactos rueda-carril de aceros al carbono y bainíticos |

| | |
|----------------------------------|---------------------|
| Expected completion date | May 2015 |
| Estimated size (number of pages) | 440 |
| Elsevier VAT number | GB 494 6272 12 |
| Permissions price | 0.00 EUR |
| VAT/Local Sales Tax | 0.00 EUR / 0.00 GBP |
| Total | 0.00 EUR |

[Terms and Conditions](#)

INTRODUCTION

1. The publisher for this copyrighted material is Elsevier. By clicking "accept" in connection with completing this licensing transaction, you agree that the following terms and conditions apply to this transaction (along with the Billing and Payment terms and conditions established by Copyright Clearance Center, Inc. ("CCC"), at the time that you opened your Rightslink account and that are available at any time at <http://myaccount.copyright.com>).

GENERAL TERMS

2. Elsevier hereby grants you permission to reproduce the aforementioned material subject to the terms and conditions indicated.

3. Acknowledgement: If any part of the material to be used (for example, figures) has appeared in our publication with credit or acknowledgement to another source, permission must also be sought from that source. If such permission is not obtained then that material may not be included in your publication/copies. Suitable acknowledgement to the source must be made, either as a footnote or in a reference list at the end of your publication, as follows:

"Reprinted from Publication title, Vol /edition number, Author(s), Title of article / title of chapter, Pages No., Copyright (Year), with permission from Elsevier [OR APPLICABLE SOCIETY COPYRIGHT OWNER]." Also Lancet special credit - "Reprinted from The Lancet, Vol. number, Author(s), Title of article, Pages No., Copyright (Year), with permission from Elsevier."

4. Reproduction of this material is confined to the purpose and/or media for which permission is hereby given.

5. Altering/Modifying Material: Not Permitted. However figures and illustrations may be altered/adapted minimally to serve your work. Any other abbreviations, additions, deletions and/or any other alterations shall be made only with prior written authorization of Elsevier Ltd. (Please contact Elsevier at permissions@elsevier.com)

6. If the permission fee for the requested use of our material is waived in this instance, please be advised that your future requests for Elsevier materials may attract a fee.

7. Reservation of Rights: Publisher reserves all rights not specifically granted in the combination of (i) the license details provided by you and accepted in the course of this licensing transaction, (ii) these terms and conditions and (iii) CCC's Billing and Payment terms and conditions.

8. License Contingent Upon Payment: While you may exercise the rights licensed immediately upon issuance of the license at the end of the licensing process for the

transaction, provided that you have disclosed complete and accurate details of your proposed use, no license is finally effective unless and until full payment is received from you (either by publisher or by CCC) as provided in CCC's Billing and Payment terms and conditions. If full payment is not received on a timely basis, then any license preliminarily granted shall be deemed automatically revoked and shall be void as if never granted. Further, in the event that you breach any of these terms and conditions or any of CCC's Billing and Payment terms and conditions, the license is automatically revoked and shall be void as if never granted. Use of materials as described in a revoked license, as well as any use of the materials beyond the scope of an unrevoked license, may constitute copyright infringement and publisher reserves the right to take any and all action to protect its copyright in the materials.

9. Warranties: Publisher makes no representations or warranties with respect to the licensed material.

10. Indemnity: You hereby indemnify and agree to hold harmless publisher and CCC, and their respective officers, directors, employees and agents, from and against any and all claims arising out of your use of the licensed material other than as specifically authorized pursuant to this license.

11. No Transfer of License: This license is personal to you and may not be sublicensed, assigned, or transferred by you to any other person without publisher's written permission.

12. No Amendment Except in Writing: This license may not be amended except in a writing signed by both parties (or, in the case of publisher, by CCC on publisher's behalf).

13. Objection to Contrary Terms: Publisher hereby objects to any terms contained in any purchase order, acknowledgment, check endorsement or other writing prepared by you, which terms are inconsistent with these terms and conditions or CCC's Billing and Payment terms and conditions. These terms and conditions, together with CCC's Billing and Payment terms and conditions (which are incorporated herein), comprise the entire agreement between you and publisher (and CCC) concerning this licensing transaction. In the event of any conflict between your obligations established by these terms and conditions and those established by CCC's Billing and Payment terms and conditions, these terms and conditions shall control.

14. Revocation: Elsevier or Copyright Clearance Center may deny the permissions described in this License at their sole discretion, for any reason or no reason, with a full refund payable to you. Notice of such denial will be made using the contact information provided by you. Failure to receive such notice will not alter or invalidate the denial. In no event will Elsevier or Copyright Clearance Center be responsible or liable for any costs, expenses or damage incurred by you as a result of a denial of your permission request, other than a refund of the amount(s) paid by you to Elsevier and/or Copyright Clearance Center for denied permissions.

LIMITED LICENSE

The following terms and conditions apply only to specific license types:

15. **Translation:** This permission is granted for non-exclusive world **English** rights only unless your license was granted for translation rights. If you licensed translation rights you may only translate this content into the languages you requested. A professional translator must perform all translations and reproduce the content word for word preserving the integrity of the article. If this license is to re-use 1 or 2 figures then permission is granted for non-exclusive world rights in all languages.

16. Posting licensed content on any Website: The following terms and conditions apply as follows: Licensing material from an Elsevier journal: All content posted to the web site must maintain the copyright information line on the bottom of each image; A hyper-text must be included to the Homepage of the journal from which you are licensing at <http://www.sciencedirect.com/science/journal/xxxxx> or the Elsevier homepage for books at <http://www.elsevier.com>; Central Storage: This license does not include permission for a scanned version of the material to be stored in a central repository such as that provided by Heron/XanEdu.

Licensing material from an Elsevier book: A hyper-text link must be included to the Elsevier homepage at <http://www.elsevier.com>. All content posted to the web site must maintain the copyright information line on the bottom of each image.

Posting licensed content on Electronic reserve: In addition to the above the following clauses are applicable: The web site must be password-protected and made available only to bona fide students registered on a relevant course. This permission is granted for 1 year only. You may obtain a new license for future website posting.

17. For journal authors: the following clauses are applicable in addition to the above:

Preprints:

A preprint is an author's own write-up of research results and analysis, it has not been peer-reviewed, nor has it had any other value added to it by a publisher (such as formatting, copyright, technical enhancement etc.).

Authors can share their preprints anywhere at any time. Preprints should not be added to or enhanced in any way in order to appear more like, or to substitute for, the final versions of articles however authors can update their preprints on arXiv or RePEc with their Accepted Author Manuscript (see below).

If accepted for publication, we encourage authors to link from the preprint to their formal publication via its DOI. Millions of researchers have access to the formal publications on ScienceDirect, and so links will help users to find, access, cite and use the best available version. Please note that Cell Press, The Lancet and some society-owned have different preprint policies. Information on these policies is available on the journal homepage.

Accepted Author Manuscripts: An accepted author manuscript is the manuscript of an article that has been accepted for publication and which typically includes author-incorporated changes suggested during submission, peer review and editor-author communications.

Authors can share their accepted author manuscript:

- immediately
 - via their non-commercial person homepage or blog
 - by updating a preprint in arXiv or RePEc with the accepted manuscript
 - via their research institute or institutional repository for internal institutional uses or as part of an invitation-only research collaboration work-group
 - directly by providing copies to their students or to research collaborators for

their personal use

- for private scholarly sharing as part of an invitation-only work group on commercial sites with which Elsevier has an agreement
- after the embargo period
 - via non-commercial hosting platforms such as their institutional repository
 - via commercial sites with which Elsevier has an agreement

In all cases accepted manuscripts should:

- link to the formal publication via its DOI
- bear a CC-BY-NC-ND license - this is easy to do
- if aggregated with other manuscripts, for example in a repository or other site, be shared in alignment with our hosting policy not be added to or enhanced in any way to appear more like, or to substitute for, the published journal article.

Published journal article (JPA): A published journal article (PJA) is the definitive final record of published research that appears or will appear in the journal and embodies all value-adding publishing activities including peer review co-ordination, copy-editing, formatting, (if relevant) pagination and online enrichment.

Policies for sharing publishing journal articles differ for subscription and gold open access articles:

Subscription Articles: If you are an author, please share a link to your article rather than the full-text. Millions of researchers have access to the formal publications on ScienceDirect, and so links will help your users to find, access, cite, and use the best available version.

Theses and dissertations which contain embedded PJAs as part of the formal submission can be posted publicly by the awarding institution with DOI links back to the formal publications on ScienceDirect.

If you are affiliated with a library that subscribes to ScienceDirect you have additional private sharing rights for others' research accessed under that agreement. This includes use for classroom teaching and internal training at the institution (including use in course packs and courseware programs), and inclusion of the article for grant funding purposes.

Gold Open Access Articles: May be shared according to the author-selected end-user license and should contain a [CrossMark logo](#), the end user license, and a DOI link to the formal publication on ScienceDirect.

Please refer to Elsevier's [posting policy](#) for further information.

18. **For book authors** the following clauses are applicable in addition to the above: Authors are permitted to place a brief summary of their work online only. You are not allowed to download and post the published electronic version of your chapter, nor may you scan the printed edition to create an electronic version. **Posting to a repository:** Authors are permitted to post a summary of their chapter only in their institution's repository.

19. **Thesis/Dissertation:** If your license is for use in a thesis/dissertation your thesis may be

submitted to your institution in either print or electronic form. Should your thesis be published commercially, please reapply for permission. These requirements include permission for the Library and Archives of Canada to supply single copies, on demand, of the complete thesis and include permission for Proquest/UMI to supply single copies, on demand, of the complete thesis. Should your thesis be published commercially, please reapply for permission. Theses and dissertations which contain embedded PJAs as part of the formal submission can be posted publicly by the awarding institution with DOI links back to the formal publications on ScienceDirect.

Elsevier Open Access Terms and Conditions

You can publish open access with Elsevier in hundreds of open access journals or in nearly 2000 established subscription journals that support open access publishing. Permitted third party re-use of these open access articles is defined by the author's choice of Creative Commons user license. See our [open access license policy](#) for more information.

Terms & Conditions applicable to all Open Access articles published with Elsevier:

Any reuse of the article must not represent the author as endorsing the adaptation of the article nor should the article be modified in such a way as to damage the author's honour or reputation. If any changes have been made, such changes must be clearly indicated.

The author(s) must be appropriately credited and we ask that you include the end user license and a DOI link to the formal publication on ScienceDirect.

If any part of the material to be used (for example, figures) has appeared in our publication with credit or acknowledgement to another source it is the responsibility of the user to ensure their reuse complies with the terms and conditions determined by the rights holder.

Additional Terms & Conditions applicable to each Creative Commons user license:

CC BY: The CC-BY license allows users to copy, to create extracts, abstracts and new works from the Article, to alter and revise the Article and to make commercial use of the Article (including reuse and/or resale of the Article by commercial entities), provided the user gives appropriate credit (with a link to the formal publication through the relevant DOI), provides a link to the license, indicates if changes were made and the licensor is not represented as endorsing the use made of the work. The full details of the license are available at <http://creativecommons.org/licenses/by/4.0>.

CC BY NC SA: The CC BY-NC-SA license allows users to copy, to create extracts, abstracts and new works from the Article, to alter and revise the Article, provided this is not done for commercial purposes, and that the user gives appropriate credit (with a link to the formal publication through the relevant DOI), provides a link to the license, indicates if changes were made and the licensor is not represented as endorsing the use made of the work. Further, any new works must be made available on the same conditions. The full details of the license are available at <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0>.

CC BY NC ND: The CC BY-NC-ND license allows users to copy and distribute the Article, provided this is not done for commercial purposes and further does not permit distribution of the Article if it is changed or edited in any way, and provided the user gives appropriate credit (with a link to the formal publication through the relevant DOI), provides a link to the license, and that the licensor is not represented as endorsing the use made of the work. The full details of the license are available at <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0>.

Any commercial reuse of Open Access articles published with a CC BY NC SA or CC BY NC ND license requires permission from Elsevier and will be subject to a fee.

Commercial reuse includes:

- Associating advertising with the full text of the Article
- Charging fees for document delivery or access
- Article aggregation
- Systematic distribution via e-mail lists or share buttons

Posting or linking by commercial companies for use by customers of those companies.

20. Other Conditions:

Questions? customercare@copyright.com or +1-855-239-3415 (toll free in the US) or +1-978-646-2777.

Gratis licenses (referencing \$0 in the Total field) are free. Please retain this printable license for your reference. No payment is required.

ELSEVIER LICENSE TERMS AND CONDITIONS

Feb 21, 2015

This is a License Agreement between Fidel Salas Vicente ("You") and Elsevier ("Elsevier") provided by Copyright Clearance Center ("CCC"). The license consists of your order details, the terms and conditions provided by Elsevier, and the payment terms and conditions.

All payments must be made in full to CCC. For payment instructions, please see information listed at the bottom of this form.

| | |
|--|--|
| Supplier | Elsevier Limited The Boulevard, Langford Lane Kidlington, Oxford, OX5 1GB, UK |
| Registered Company Number | 1982084 |
| Customer name | Fidel Salas Vicente |
| Customer address | Avda. Castellón, 5 Geldo, Castellón 12412 |
| License number | 3573610576280 |
| License date | Feb 21, 2015 |
| Licensed content publisher | Elsevier |
| Licensed content publication | Wear |
| Licensed content title | Wheel-rail adhesion: laboratory study of "natural" third body role on locomotives wheels and rails |
| Licensed content author | E. Niccolini, Y. Berthier |
| Licensed content date | March 2005 |
| Licensed content volume number | 258 |
| Licensed content issue number | 7-8 |
| Number of pages | 7 |
| Start Page | 1172 |
| End Page | 1178 |
| Type of Use | reuse in a thesis/dissertation |
| Intended publisher of new work | other |
| Portion | figures/tables/illustrations |
| Number of figures/tables/illustrations | 2 |
| Format | both print and electronic |
| Are you the author of this Elsevier article? | No |
| Will you be translating? | No |
| Original figure numbers | Figures 4 and 5 |

| | |
|-----------------------------------|--|
| Title of your thesis/dissertation | Investigación y modelización de la adherencia, el desgaste y la fenomenología de daño asociada a la rodadura en contactos rueda-carril de aceros al carbono y bainíticos |
| Expected completion date | May 2015 |
| Estimated size (number of pages) | 440 |
| Elsevier VAT number | GB 494 6272 12 |
| Permissions price | 0.00 EUR |
| VAT/Local Sales Tax | 0.00 USD / 0.00 GBP |
| Total | 0.00 EUR |

Terms and Conditions

INTRODUCTION

1. The publisher for this copyrighted material is Elsevier. By clicking "accept" in connection with completing this licensing transaction, you agree that the following terms and conditions apply to this transaction (along with the Billing and Payment terms and conditions established by Copyright Clearance Center, Inc. ("CCC"), at the time that you opened your Rightslink account and that are available at any time at <http://myaccount.copyright.com>).

GENERAL TERMS

2. Elsevier hereby grants you permission to reproduce the aforementioned material subject to the terms and conditions indicated.

3. Acknowledgement: If any part of the material to be used (for example, figures) has appeared in our publication with credit or acknowledgement to another source, permission must also be sought from that source. If such permission is not obtained then that material may not be included in your publication/copies. Suitable acknowledgement to the source must be made, either as a footnote or in a reference list at the end of your publication, as follows:

“Reprinted from Publication title, Vol /edition number, Author(s), Title of article / title of chapter, Pages No., Copyright (Year), with permission from Elsevier [OR APPLICABLE SOCIETY COPYRIGHT OWNER].” Also Lancet special credit - “Reprinted from The Lancet, Vol. number, Author(s), Title of article, Pages No., Copyright (Year), with permission from Elsevier.”

4. Reproduction of this material is confined to the purpose and/or media for which permission is hereby given.

5. Altering/Modifying Material: Not Permitted. However figures and illustrations may be altered/adapted minimally to serve your work. Any other abbreviations, additions, deletions and/or any other alterations shall be made only with prior written authorization of Elsevier Ltd. (Please contact Elsevier at permissions@elsevier.com)

6. If the permission fee for the requested use of our material is waived in this instance, please be advised that your future requests for Elsevier materials may attract a fee.

7. Reservation of Rights: Publisher reserves all rights not specifically granted in the combination of (i) the license details provided by you and accepted in the course of this licensing transaction, (ii) these terms and conditions and (iii) CCC's Billing and Payment terms and conditions.

8. **License Contingent Upon Payment:** While you may exercise the rights licensed immediately upon issuance of the license at the end of the licensing process for the transaction, provided that you have disclosed complete and accurate details of your proposed use, no license is finally effective unless and until full payment is received from you (either by publisher or by CCC) as provided in CCC's Billing and Payment terms and conditions. If full payment is not received on a timely basis, then any license preliminarily granted shall be deemed automatically revoked and shall be void as if never granted. Further, in the event that you breach any of these terms and conditions or any of CCC's Billing and Payment terms and conditions, the license is automatically revoked and shall be void as if never granted. Use of materials as described in a revoked license, as well as any use of the materials beyond the scope of an unrevoked license, may constitute copyright infringement and publisher reserves the right to take any and all action to protect its copyright in the materials.

9. **Warranties:** Publisher makes no representations or warranties with respect to the licensed material.

10. **Indemnity:** You hereby indemnify and agree to hold harmless publisher and CCC, and their respective officers, directors, employees and agents, from and against any and all claims arising out of your use of the licensed material other than as specifically authorized pursuant to this license.

11. **No Transfer of License:** This license is personal to you and may not be sublicensed, assigned, or transferred by you to any other person without publisher's written permission.

12. **No Amendment Except in Writing:** This license may not be amended except in a writing signed by both parties (or, in the case of publisher, by CCC on publisher's behalf).

13. **Objection to Contrary Terms:** Publisher hereby objects to any terms contained in any purchase order, acknowledgment, check endorsement or other writing prepared by you, which terms are inconsistent with these terms and conditions or CCC's Billing and Payment terms and conditions. These terms and conditions, together with CCC's Billing and Payment terms and conditions (which are incorporated herein), comprise the entire agreement between you and publisher (and CCC) concerning this licensing transaction. In the event of any conflict between your obligations established by these terms and conditions and those established by CCC's Billing and Payment terms and conditions, these terms and conditions shall control.

14. **Revocation:** Elsevier or Copyright Clearance Center may deny the permissions described in this License at their sole discretion, for any reason or no reason, with a full refund payable to you. Notice of such denial will be made using the contact information provided by you. Failure to receive such notice will not alter or invalidate the denial. In no event will Elsevier or Copyright Clearance Center be responsible or liable for any costs, expenses or damage incurred by you as a result of a denial of your permission request, other than a refund of the amount(s) paid by you to Elsevier and/or Copyright Clearance Center for denied permissions.

LIMITED LICENSE

The following terms and conditions apply only to specific license types:

15. **Translation:** This permission is granted for non-exclusive world **English** rights only unless your license was granted for translation rights. If you licensed translation rights you may only translate this content into the languages you requested. A professional translator must perform all translations and reproduce the content word for word preserving the

integrity of the article. If this license is to re-use 1 or 2 figures then permission is granted for non-exclusive world rights in all languages.

16. Posting licensed content on any Website: The following terms and conditions apply as follows: Licensing material from an Elsevier journal: All content posted to the web site must maintain the copyright information line on the bottom of each image; A hyper-text must be included to the Homepage of the journal from which you are licensing at <http://www.sciencedirect.com/science/journal/xxxxx> or the Elsevier homepage for books at <http://www.elsevier.com>; Central Storage: This license does not include permission for a scanned version of the material to be stored in a central repository such as that provided by Heron/XanEdu.

Licensing material from an Elsevier book: A hyper-text link must be included to the Elsevier homepage at <http://www.elsevier.com> . All content posted to the web site must maintain the copyright information line on the bottom of each image.

Posting licensed content on Electronic reserve: In addition to the above the following clauses are applicable: The web site must be password-protected and made available only to bona fide students registered on a relevant course. This permission is granted for 1 year only. You may obtain a new license for future website posting.

17. For journal authors: the following clauses are applicable in addition to the above: Permission granted is limited to the author accepted manuscript version* of your paper.

***Accepted Author Manuscript (AAM) Definition:** An accepted author manuscript (AAM) is the author's version of the manuscript of an article that has been accepted for publication and which may include any author-incorporated changes suggested through the processes of submission processing, peer review, and editor-author communications. AAMs do not include other publisher value-added contributions such as copy-editing, formatting, technical enhancements and (if relevant) pagination.

You are not allowed to download and post the published journal article (whether PDF or HTML, proof or final version), nor may you scan the printed edition to create an electronic version. A hyper-text must be included to the Homepage of the journal from which you are licensing at <http://www.sciencedirect.com/science/journal/xxxxx>. As part of our normal production process, you will receive an e-mail notice when your article appears on Elsevier's online service ScienceDirect (www.sciencedirect.com). That e-mail will include the article's Digital Object Identifier (DOI). This number provides the electronic link to the published article and should be included in the posting of your personal version. We ask that you wait until you receive this e-mail and have the DOI to do any posting.

18. Posting to a repository: Authors may post their AAM immediately to their employer's institutional repository for internal use only and may make their manuscript publically available after the journal-specific embargo period has ended.

Please also refer to [Elsevier's Article Posting Policy](#) for further information.

19. For book authors the following clauses are applicable in addition to the above: Authors are permitted to place a brief summary of their work online only.. You are not allowed to download and post the published electronic version of your chapter, nor may you scan the printed edition to create an electronic version. **Posting to a repository:** Authors are permitted to post a summary of their chapter only in their institution's repository.

20. Thesis/Dissertation: If your license is for use in a thesis/dissertation your thesis may be submitted to your institution in either print or electronic form. Should your thesis be

published commercially, please reapply for permission. These requirements include permission for the Library and Archives of Canada to supply single copies, on demand, of the complete thesis and include permission for Proquest/UMI to supply single copies, on demand, of the complete thesis. Should your thesis be published commercially, please reapply for permission.

Elsevier Open Access Terms and Conditions

Elsevier publishes Open Access articles in both its Open Access journals and via its Open Access articles option in subscription journals.

Authors publishing in an Open Access journal or who choose to make their article Open Access in an Elsevier subscription journal select one of the following Creative Commons user licenses, which define how a reader may reuse their work: Creative Commons Attribution License (CC BY), Creative Commons Attribution – Non Commercial - ShareAlike (CC BY NC SA) and Creative Commons Attribution – Non Commercial – No Derivatives (CC BY NC ND)

Terms & Conditions applicable to all Elsevier Open Access articles:

Any reuse of the article must not represent the author as endorsing the adaptation of the article nor should the article be modified in such a way as to damage the author's honour or reputation.

The author(s) must be appropriately credited.

If any part of the material to be used (for example, figures) has appeared in our publication with credit or acknowledgement to another source it is the responsibility of the user to ensure their reuse complies with the terms and conditions determined by the rights holder.

Additional Terms & Conditions applicable to each Creative Commons user license:

CC BY: You may distribute and copy the article, create extracts, abstracts, and other revised versions, adaptations or derivative works of or from an article (such as a translation), to include in a collective work (such as an anthology), to text or data mine the article, including for commercial purposes without permission from Elsevier

CC BY NC SA: For non-commercial purposes you may distribute and copy the article, create extracts, abstracts and other revised versions, adaptations or derivative works of or from an article (such as a translation), to include in a collective work (such as an anthology), to text and data mine the article and license new adaptations or creations under identical terms without permission from Elsevier

CC BY NC ND: For non-commercial purposes you may distribute and copy the article and include it in a collective work (such as an anthology), provided you do not alter or modify the article, without permission from Elsevier

Any commercial reuse of Open Access articles published with a CC BY NC SA or CC BY NC ND license requires permission from Elsevier and will be subject to a fee.

Commercial reuse includes:

- Promotional purposes (advertising or marketing)

- Commercial exploitation (e.g. a product for sale or loan)
- Systematic distribution (for a fee or free of charge)

Please refer to [Elsevier's Open Access Policy](#) for further information.

21. Other Conditions:

v1.7

Questions? customercare@copyright.com or +1-855-239-3415 (toll free in the US) or +1-978-646-2777.

Gratis licenses (referencing \$0 in the Total field) are free. Please retain this printable license for your reference. No payment is required.

ELSEVIER LICENSE TERMS AND CONDITIONS

Mar 06, 2015

This is a License Agreement between Fidel Salas Vicente ("You") and Elsevier ("Elsevier") provided by Copyright Clearance Center ("CCC"). The license consists of your order details, the terms and conditions provided by Elsevier, and the payment terms and conditions.

All payments must be made in full to CCC. For payment instructions, please see information listed at the bottom of this form.

| | |
|--|---|
| Supplier | Elsevier Limited The Boulevard,Langford Lane Kidlington,Oxford,OX5 1GB,UK |
| Registered Company Number | 1982084 |
| Customer name | Fidel Salas Vicente |
| Customer address | Avda. Castellón, 5 Geldo, Castellón 12412 |
| License number | 3583200232744 |
| License date | Mar 06, 2015 |
| Licensed content publisher | Elsevier |
| Licensed content publication | Wear |
| Licensed content title | Wheel/rail adhesion and analysis by using full scale roller rig |
| Licensed content author | Weihua Zhang,Jianzheng Chen,Xuejie Wu,Xuesong Jin |
| Licensed content date | July 2002 |
| Licensed content volume number | 253 |
| Licensed content issue number | 1-2 |
| Number of pages | 7 |
| Start Page | 82 |
| End Page | 88 |
| Type of Use | reuse in a thesis/dissertation |
| Intended publisher of new work | other |
| Portion | figures/tables/illustrations |
| Number of figures/tables/illustrations | 1 |
| Format | both print and electronic |
| Are you the author of this Elsevier article? | No |
| Will you be translating? | No |
| Original figure numbers | Figure 11 |
| Title of your | Investigación y modelización de la adherencia, el desgaste y la |

| | |
|----------------------------------|--|
| thesis/dissertation | fenomenología de daño asociada a la rodadura en contactos rueda-carril de aceros al carbono y bainíticos |
| Expected completion date | May 2015 |
| Estimated size (number of pages) | 440 |
| Elsevier VAT number | GB 494 6272 12 |
| Permissions price | 0.00 EUR |
| VAT/Local Sales Tax | 0.00 USD / 0.00 GBP |
| Total | 0.00 EUR |
| Terms and Conditions | |

INTRODUCTION

1. The publisher for this copyrighted material is Elsevier. By clicking "accept" in connection with completing this licensing transaction, you agree that the following terms and conditions apply to this transaction (along with the Billing and Payment terms and conditions established by Copyright Clearance Center, Inc. ("CCC"), at the time that you opened your Rightslink account and that are available at any time at <http://myaccount.copyright.com>).

GENERAL TERMS

2. Elsevier hereby grants you permission to reproduce the aforementioned material subject to the terms and conditions indicated.

3. Acknowledgement: If any part of the material to be used (for example, figures) has appeared in our publication with credit or acknowledgement to another source, permission must also be sought from that source. If such permission is not obtained then that material may not be included in your publication/copies. Suitable acknowledgement to the source must be made, either as a footnote or in a reference list at the end of your publication, as follows:

"Reprinted from Publication title, Vol /edition number, Author(s), Title of article / title of chapter, Pages No., Copyright (Year), with permission from Elsevier [OR APPLICABLE SOCIETY COPYRIGHT OWNER]." Also Lancet special credit - "Reprinted from The Lancet, Vol. number, Author(s), Title of article, Pages No., Copyright (Year), with permission from Elsevier."

4. Reproduction of this material is confined to the purpose and/or media for which permission is hereby given.

5. Altering/Modifying Material: Not Permitted. However figures and illustrations may be altered/adapted minimally to serve your work. Any other abbreviations, additions, deletions and/or any other alterations shall be made only with prior written authorization of Elsevier Ltd. (Please contact Elsevier at permissions@elsevier.com)

6. If the permission fee for the requested use of our material is waived in this instance, please be advised that your future requests for Elsevier materials may attract a fee.

7. Reservation of Rights: Publisher reserves all rights not specifically granted in the combination of (i) the license details provided by you and accepted in the course of this licensing transaction, (ii) these terms and conditions and (iii) CCC's Billing and Payment terms and conditions.

8. **License Contingent Upon Payment:** While you may exercise the rights licensed immediately upon issuance of the license at the end of the licensing process for the transaction, provided that you have disclosed complete and accurate details of your proposed use, no license is finally effective unless and until full payment is received from you (either by publisher or by CCC) as provided in CCC's Billing and Payment terms and conditions. If full payment is not received on a timely basis, then any license preliminarily granted shall be deemed automatically revoked and shall be void as if never granted. Further, in the event that you breach any of these terms and conditions or any of CCC's Billing and Payment terms and conditions, the license is automatically revoked and shall be void as if never granted. Use of materials as described in a revoked license, as well as any use of the materials beyond the scope of an unrevoked license, may constitute copyright infringement and publisher reserves the right to take any and all action to protect its copyright in the materials.

9. **Warranties:** Publisher makes no representations or warranties with respect to the licensed material.

10. **Indemnity:** You hereby indemnify and agree to hold harmless publisher and CCC, and their respective officers, directors, employees and agents, from and against any and all claims arising out of your use of the licensed material other than as specifically authorized pursuant to this license.

11. **No Transfer of License:** This license is personal to you and may not be sublicensed, assigned, or transferred by you to any other person without publisher's written permission.

12. **No Amendment Except in Writing:** This license may not be amended except in a writing signed by both parties (or, in the case of publisher, by CCC on publisher's behalf).

13. **Objection to Contrary Terms:** Publisher hereby objects to any terms contained in any purchase order, acknowledgment, check endorsement or other writing prepared by you, which terms are inconsistent with these terms and conditions or CCC's Billing and Payment terms and conditions. These terms and conditions, together with CCC's Billing and Payment terms and conditions (which are incorporated herein), comprise the entire agreement between you and publisher (and CCC) concerning this licensing transaction. In the event of any conflict between your obligations established by these terms and conditions and those established by CCC's Billing and Payment terms and conditions, these terms and conditions shall control.

14. **Revocation:** Elsevier or Copyright Clearance Center may deny the permissions described in this License at their sole discretion, for any reason or no reason, with a full refund payable to you. Notice of such denial will be made using the contact information provided by you. Failure to receive such notice will not alter or invalidate the denial. In no event will Elsevier or Copyright Clearance Center be responsible or liable for any costs, expenses or damage incurred by you as a result of a denial of your permission request, other than a refund of the amount(s) paid by you to Elsevier and/or Copyright Clearance Center for denied permissions.

LIMITED LICENSE

The following terms and conditions apply only to specific license types:

15. **Translation:** This permission is granted for non-exclusive world **English** rights only unless your license was granted for translation rights. If you licensed translation rights you may only translate this content into the languages you requested. A professional translator must perform all translations and reproduce the content word for word preserving the

integrity of the article. If this license is to re-use 1 or 2 figures then permission is granted for non-exclusive world rights in all languages.

16. Posting licensed content on any Website: The following terms and conditions apply as follows: Licensing material from an Elsevier journal: All content posted to the web site must maintain the copyright information line on the bottom of each image; A hyper-text must be included to the Homepage of the journal from which you are licensing at <http://www.sciencedirect.com/science/journal/xxxxx> or the Elsevier homepage for books at <http://www.elsevier.com>; Central Storage: This license does not include permission for a scanned version of the material to be stored in a central repository such as that provided by Heron/XanEdu.

Licensing material from an Elsevier book: A hyper-text link must be included to the Elsevier homepage at <http://www.elsevier.com> . All content posted to the web site must maintain the copyright information line on the bottom of each image.

Posting licensed content on Electronic reserve: In addition to the above the following clauses are applicable: The web site must be password-protected and made available only to bona fide students registered on a relevant course. This permission is granted for 1 year only. You may obtain a new license for future website posting.

17. For journal authors: the following clauses are applicable in addition to the above:

Preprints:

A preprint is an author's own write-up of research results and analysis, it has not been peer-reviewed, nor has it had any other value added to it by a publisher (such as formatting, copyright, technical enhancement etc.).

Authors can share their preprints anywhere at any time. Preprints should not be added to or enhanced in any way in order to appear more like, or to substitute for, the final versions of articles however authors can update their preprints on arXiv or RePEc with their Accepted Author Manuscript (see below).

If accepted for publication, we encourage authors to link from the preprint to their formal publication via its DOI. Millions of researchers have access to the formal publications on ScienceDirect, and so links will help users to find, access, cite and use the best available version. Please note that Cell Press, The Lancet and some society-owned have different preprint policies. Information on these policies is available on the journal homepage.

Accepted Author Manuscripts: An accepted author manuscript is the manuscript of an article that has been accepted for publication and which typically includes author-incorporated changes suggested during submission, peer review and editor-author communications.

Authors can share their accepted author manuscript:

- immediately
 - via their non-commercial person homepage or blog
 - by updating a preprint in arXiv or RePEc with the accepted manuscript
 - via their research institute or institutional repository for internal institutional

uses or as part of an invitation-only research collaboration work-group

- directly by providing copies to their students or to research collaborators for their personal use
 - for private scholarly sharing as part of an invitation-only work group on commercial sites with which Elsevier has an agreement
- after the embargo period
- via non-commercial hosting platforms such as their institutional repository
 - via commercial sites with which Elsevier has an agreement

In all cases accepted manuscripts should:

- link to the formal publication via its DOI
- bear a CC-BY-NC-ND license - this is easy to do
- if aggregated with other manuscripts, for example in a repository or other site, be shared in alignment with our hosting policy not be added to or enhanced in any way to appear more like, or to substitute for, the published journal article.

Published journal article (JPA): A published journal article (PJA) is the definitive final record of published research that appears or will appear in the journal and embodies all value-adding publishing activities including peer review co-ordination, copy-editing, formatting, (if relevant) pagination and online enrichment.

Policies for sharing publishing journal articles differ for subscription and gold open access articles:

Subscription Articles: If you are an author, please share a link to your article rather than the full-text. Millions of researchers have access to the formal publications on ScienceDirect, and so links will help your users to find, access, cite, and use the best available version.

Theses and dissertations which contain embedded PJAs as part of the formal submission can be posted publicly by the awarding institution with DOI links back to the formal publications on ScienceDirect.

If you are affiliated with a library that subscribes to ScienceDirect you have additional private sharing rights for others' research accessed under that agreement. This includes use for classroom teaching and internal training at the institution (including use in course packs and courseware programs), and inclusion of the article for grant funding purposes.

Gold Open Access Articles: May be shared according to the author-selected end-user license and should contain a [CrossMark logo](#), the end user license, and a DOI link to the formal publication on ScienceDirect.

Please refer to Elsevier's [posting policy](#) for further information.

18. **For book authors** the following clauses are applicable in addition to the above: Authors are permitted to place a brief summary of their work online only. You are not allowed to download and post the published electronic version of your chapter, nor may you scan the printed edition to create an electronic version. **Posting to a repository:** Authors are

permitted to post a summary of their chapter only in their institution's repository.

19. Thesis/Dissertation: If your license is for use in a thesis/dissertation your thesis may be submitted to your institution in either print or electronic form. Should your thesis be published commercially, please reapply for permission. These requirements include permission for the Library and Archives of Canada to supply single copies, on demand, of the complete thesis and include permission for Proquest/UMI to supply single copies, on demand, of the complete thesis. Should your thesis be published commercially, please reapply for permission. Theses and dissertations which contain embedded PJAs as part of the formal submission can be posted publicly by the awarding institution with DOI links back to the formal publications on ScienceDirect.

Elsevier Open Access Terms and Conditions

You can publish open access with Elsevier in hundreds of open access journals or in nearly 2000 established subscription journals that support open access publishing. Permitted third party re-use of these open access articles is defined by the author's choice of Creative Commons user license. See our [open access license policy](#) for more information.

Terms & Conditions applicable to all Open Access articles published with Elsevier:

Any reuse of the article must not represent the author as endorsing the adaptation of the article nor should the article be modified in such a way as to damage the author's honour or reputation. If any changes have been made, such changes must be clearly indicated.

The author(s) must be appropriately credited and we ask that you include the end user license and a DOI link to the formal publication on ScienceDirect.

If any part of the material to be used (for example, figures) has appeared in our publication with credit or acknowledgement to another source it is the responsibility of the user to ensure their reuse complies with the terms and conditions determined by the rights holder.

Additional Terms & Conditions applicable to each Creative Commons user license:

CC BY: The CC-BY license allows users to copy, to create extracts, abstracts and new works from the Article, to alter and revise the Article and to make commercial use of the Article (including reuse and/or resale of the Article by commercial entities), provided the user gives appropriate credit (with a link to the formal publication through the relevant DOI), provides a link to the license, indicates if changes were made and the licensor is not represented as endorsing the use made of the work. The full details of the license are available at <http://creativecommons.org/licenses/by/4.0>.

CC BY NC SA: The CC BY-NC-SA license allows users to copy, to create extracts, abstracts and new works from the Article, to alter and revise the Article, provided this is not done for commercial purposes, and that the user gives appropriate credit (with a link to the formal publication through the relevant DOI), provides a link to the license, indicates if changes were made and the licensor is not represented as endorsing the use made of the work. Further, any new works must be made available on the same conditions. The full details of the license are available at <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0>.

CC BY NC ND: The CC BY-NC-ND license allows users to copy and distribute the Article, provided this is not done for commercial purposes and further does not permit distribution of the Article if it is changed or edited in any way, and provided the user gives appropriate

credit (with a link to the formal publication through the relevant DOI), provides a link to the license, and that the licensor is not represented as endorsing the use made of the work. The full details of the license are available at <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0>. Any commercial reuse of Open Access articles published with a CC BY NC SA or CC BY NC ND license requires permission from Elsevier and will be subject to a fee.

Commercial reuse includes:

- Associating advertising with the full text of the Article
- Charging fees for document delivery or access
- Article aggregation
- Systematic distribution via e-mail lists or share buttons

Posting or linking by commercial companies for use by customers of those companies.

20. Other Conditions:

Questions? customercare@copyright.com or +1-855-239-3415 (toll free in the US) or +1-978-646-2777.

Gratis licenses (referencing \$0 in the Total field) are free. Please retain this printable license for your reference. No payment is required.

ELSEVIER LICENSE TERMS AND CONDITIONS

Feb 21, 2015

This is a License Agreement between Fidel Salas Vicente ("You") and Elsevier ("Elsevier") provided by Copyright Clearance Center ("CCC"). The license consists of your order details, the terms and conditions provided by Elsevier, and the payment terms and conditions.

All payments must be made in full to CCC. For payment instructions, please see information listed at the bottom of this form.

| | |
|--|---|
| Supplier | Elsevier Limited The Boulevard,Langford Lane Kidlington,Oxford,OX5 1GB,UK |
| Registered Company Number | 1982084 |
| Customer name | Fidel Salas Vicente |
| Customer address | Avda. Castellón, 5 Geldo, Castellón 12412 |
| License number | 3573610973205 |
| License date | Feb 21, 2015 |
| Licensed content publisher | Elsevier |
| Licensed content publication | Wear |
| Licensed content title | Wheel/rail adhesion and analysis by using full scale roller rig |
| Licensed content author | Weihua Zhang,Jianzheng Chen,Xuejie Wu,Xuesong Jin |
| Licensed content date | July 2002 |
| Licensed content volume number | 253 |
| Licensed content issue number | 1-2 |
| Number of pages | 7 |
| Start Page | 82 |
| End Page | 88 |
| Type of Use | reuse in a thesis/dissertation |
| Intended publisher of new work | other |
| Portion | figures/tables/illustrations |
| Number of figures/tables/illustrations | 3 |
| Format | both print and electronic |
| Are you the author of this Elsevier article? | No |
| Will you be translating? | No |
| Original figure numbers | Figures 1, 7 and 9 |
| Title of your | Investigación y modelización de la adherencia, el desgaste y la |

| | |
|----------------------------------|--|
| thesis/dissertation | fenomenología de daño asociada a la rodadura en contactos rueda-carril de aceros al carbono y bainíticos |
| Expected completion date | May 2015 |
| Estimated size (number of pages) | 440 |
| Elsevier VAT number | GB 494 6272 12 |
| Permissions price | 0.00 EUR |
| VAT/Local Sales Tax | 0.00 USD / 0.00 GBP |
| Total | 0.00 EUR |
| Terms and Conditions | |

INTRODUCTION

1. The publisher for this copyrighted material is Elsevier. By clicking "accept" in connection with completing this licensing transaction, you agree that the following terms and conditions apply to this transaction (along with the Billing and Payment terms and conditions established by Copyright Clearance Center, Inc. ("CCC"), at the time that you opened your Rightslink account and that are available at any time at <http://myaccount.copyright.com>).

GENERAL TERMS

2. Elsevier hereby grants you permission to reproduce the aforementioned material subject to the terms and conditions indicated.

3. Acknowledgement: If any part of the material to be used (for example, figures) has appeared in our publication with credit or acknowledgement to another source, permission must also be sought from that source. If such permission is not obtained then that material may not be included in your publication/copies. Suitable acknowledgement to the source must be made, either as a footnote or in a reference list at the end of your publication, as follows:

“Reprinted from Publication title, Vol /edition number, Author(s), Title of article / title of chapter, Pages No., Copyright (Year), with permission from Elsevier [OR APPLICABLE SOCIETY COPYRIGHT OWNER].” Also Lancet special credit - “Reprinted from The Lancet, Vol. number, Author(s), Title of article, Pages No., Copyright (Year), with permission from Elsevier.”

4. Reproduction of this material is confined to the purpose and/or media for which permission is hereby given.

5. Altering/Modifying Material: Not Permitted. However figures and illustrations may be altered/adapted minimally to serve your work. Any other abbreviations, additions, deletions and/or any other alterations shall be made only with prior written authorization of Elsevier Ltd. (Please contact Elsevier at permissions@elsevier.com)

6. If the permission fee for the requested use of our material is waived in this instance, please be advised that your future requests for Elsevier materials may attract a fee.

7. Reservation of Rights: Publisher reserves all rights not specifically granted in the combination of (i) the license details provided by you and accepted in the course of this licensing transaction, (ii) these terms and conditions and (iii) CCC's Billing and Payment terms and conditions.

8. **License Contingent Upon Payment:** While you may exercise the rights licensed immediately upon issuance of the license at the end of the licensing process for the transaction, provided that you have disclosed complete and accurate details of your proposed use, no license is finally effective unless and until full payment is received from you (either by publisher or by CCC) as provided in CCC's Billing and Payment terms and conditions. If full payment is not received on a timely basis, then any license preliminarily granted shall be deemed automatically revoked and shall be void as if never granted. Further, in the event that you breach any of these terms and conditions or any of CCC's Billing and Payment terms and conditions, the license is automatically revoked and shall be void as if never granted. Use of materials as described in a revoked license, as well as any use of the materials beyond the scope of an unrevoked license, may constitute copyright infringement and publisher reserves the right to take any and all action to protect its copyright in the materials.

9. **Warranties:** Publisher makes no representations or warranties with respect to the licensed material.

10. **Indemnity:** You hereby indemnify and agree to hold harmless publisher and CCC, and their respective officers, directors, employees and agents, from and against any and all claims arising out of your use of the licensed material other than as specifically authorized pursuant to this license.

11. **No Transfer of License:** This license is personal to you and may not be sublicensed, assigned, or transferred by you to any other person without publisher's written permission.

12. **No Amendment Except in Writing:** This license may not be amended except in a writing signed by both parties (or, in the case of publisher, by CCC on publisher's behalf).

13. **Objection to Contrary Terms:** Publisher hereby objects to any terms contained in any purchase order, acknowledgment, check endorsement or other writing prepared by you, which terms are inconsistent with these terms and conditions or CCC's Billing and Payment terms and conditions. These terms and conditions, together with CCC's Billing and Payment terms and conditions (which are incorporated herein), comprise the entire agreement between you and publisher (and CCC) concerning this licensing transaction. In the event of any conflict between your obligations established by these terms and conditions and those established by CCC's Billing and Payment terms and conditions, these terms and conditions shall control.

14. **Revocation:** Elsevier or Copyright Clearance Center may deny the permissions described in this License at their sole discretion, for any reason or no reason, with a full refund payable to you. Notice of such denial will be made using the contact information provided by you. Failure to receive such notice will not alter or invalidate the denial. In no event will Elsevier or Copyright Clearance Center be responsible or liable for any costs, expenses or damage incurred by you as a result of a denial of your permission request, other than a refund of the amount(s) paid by you to Elsevier and/or Copyright Clearance Center for denied permissions.

LIMITED LICENSE

The following terms and conditions apply only to specific license types:

15. **Translation:** This permission is granted for non-exclusive world **English** rights only unless your license was granted for translation rights. If you licensed translation rights you may only translate this content into the languages you requested. A professional translator must perform all translations and reproduce the content word for word preserving the

integrity of the article. If this license is to re-use 1 or 2 figures then permission is granted for non-exclusive world rights in all languages.

16. Posting licensed content on any Website: The following terms and conditions apply as follows: Licensing material from an Elsevier journal: All content posted to the web site must maintain the copyright information line on the bottom of each image; A hyper-text must be included to the Homepage of the journal from which you are licensing at <http://www.sciencedirect.com/science/journal/xxxxx> or the Elsevier homepage for books at <http://www.elsevier.com>; Central Storage: This license does not include permission for a scanned version of the material to be stored in a central repository such as that provided by Heron/XanEdu.

Licensing material from an Elsevier book: A hyper-text link must be included to the Elsevier homepage at <http://www.elsevier.com> . All content posted to the web site must maintain the copyright information line on the bottom of each image.

Posting licensed content on Electronic reserve: In addition to the above the following clauses are applicable: The web site must be password-protected and made available only to bona fide students registered on a relevant course. This permission is granted for 1 year only. You may obtain a new license for future website posting.

17. For journal authors: the following clauses are applicable in addition to the above: Permission granted is limited to the author accepted manuscript version* of your paper.

***Accepted Author Manuscript (AAM) Definition:** An accepted author manuscript (AAM) is the author's version of the manuscript of an article that has been accepted for publication and which may include any author-incorporated changes suggested through the processes of submission processing, peer review, and editor-author communications. AAMs do not include other publisher value-added contributions such as copy-editing, formatting, technical enhancements and (if relevant) pagination.

You are not allowed to download and post the published journal article (whether PDF or HTML, proof or final version), nor may you scan the printed edition to create an electronic version. A hyper-text must be included to the Homepage of the journal from which you are licensing at <http://www.sciencedirect.com/science/journal/xxxxx>. As part of our normal production process, you will receive an e-mail notice when your article appears on Elsevier's online service ScienceDirect (www.sciencedirect.com). That e-mail will include the article's Digital Object Identifier (DOI). This number provides the electronic link to the published article and should be included in the posting of your personal version. We ask that you wait until you receive this e-mail and have the DOI to do any posting.

18. Posting to a repository: Authors may post their AAM immediately to their employer's institutional repository for internal use only and may make their manuscript publically available after the journal-specific embargo period has ended.

Please also refer to [Elsevier's Article Posting Policy](#) for further information.

19. For book authors the following clauses are applicable in addition to the above: Authors are permitted to place a brief summary of their work online only.. You are not allowed to download and post the published electronic version of your chapter, nor may you scan the printed edition to create an electronic version. **Posting to a repository:** Authors are permitted to post a summary of their chapter only in their institution's repository.

20. Thesis/Dissertation: If your license is for use in a thesis/dissertation your thesis may be submitted to your institution in either print or electronic form. Should your thesis be

published commercially, please reapply for permission. These requirements include permission for the Library and Archives of Canada to supply single copies, on demand, of the complete thesis and include permission for Proquest/UMI to supply single copies, on demand, of the complete thesis. Should your thesis be published commercially, please reapply for permission.

Elsevier Open Access Terms and Conditions

Elsevier publishes Open Access articles in both its Open Access journals and via its Open Access articles option in subscription journals.

Authors publishing in an Open Access journal or who choose to make their article Open Access in an Elsevier subscription journal select one of the following Creative Commons user licenses, which define how a reader may reuse their work: Creative Commons Attribution License (CC BY), Creative Commons Attribution – Non Commercial - ShareAlike (CC BY NC SA) and Creative Commons Attribution – Non Commercial – No Derivatives (CC BY NC ND)

Terms & Conditions applicable to all Elsevier Open Access articles:

Any reuse of the article must not represent the author as endorsing the adaptation of the article nor should the article be modified in such a way as to damage the author's honour or reputation.

The author(s) must be appropriately credited.

If any part of the material to be used (for example, figures) has appeared in our publication with credit or acknowledgement to another source it is the responsibility of the user to ensure their reuse complies with the terms and conditions determined by the rights holder.

Additional Terms & Conditions applicable to each Creative Commons user license:

CC BY: You may distribute and copy the article, create extracts, abstracts, and other revised versions, adaptations or derivative works of or from an article (such as a translation), to include in a collective work (such as an anthology), to text or data mine the article, including for commercial purposes without permission from Elsevier

CC BY NC SA: For non-commercial purposes you may distribute and copy the article, create extracts, abstracts and other revised versions, adaptations or derivative works of or from an article (such as a translation), to include in a collective work (such as an anthology), to text and data mine the article and license new adaptations or creations under identical terms without permission from Elsevier

CC BY NC ND: For non-commercial purposes you may distribute and copy the article and include it in a collective work (such as an anthology), provided you do not alter or modify the article, without permission from Elsevier

Any commercial reuse of Open Access articles published with a CC BY NC SA or CC BY NC ND license requires permission from Elsevier and will be subject to a fee.

Commercial reuse includes:

- Promotional purposes (advertising or marketing)

- Commercial exploitation (e.g. a product for sale or loan)
- Systematic distribution (for a fee or free of charge)

Please refer to [Elsevier's Open Access Policy](#) for further information.

21. Other Conditions:

v1.7

Questions? customercare@copyright.com or +1-855-239-3415 (toll free in the US) or +1-978-646-2777.

Gratis licenses (referencing \$0 in the Total field) are free. Please retain this printable license for your reference. No payment is required.

ELSEVIER LICENSE TERMS AND CONDITIONS

Feb 20, 2015

This is a License Agreement between Fidel Salas Vicente ("You") and Elsevier ("Elsevier") provided by Copyright Clearance Center ("CCC"). The license consists of your order details, the terms and conditions provided by Elsevier, and the payment terms and conditions.

All payments must be made in full to CCC. For payment instructions, please see information listed at the bottom of this form.

| | |
|--|---|
| Supplier | Elsevier Limited The Boulevard,Langford Lane Kidlington,Oxford,OX5 1GB,UK |
| Registered Company Number | 1982084 |
| Customer name | Fidel Salas Vicente |
| Customer address | Avda. Castellón, 5 Geldo, Castellón 12412 |
| License number | 3573161162254 |
| License date | Feb 20, 2015 |
| Licensed content publisher | Elsevier |
| Licensed content publication | Wear |
| Licensed content title | Wheel/rail damage and its relationship to track curvature |
| Licensed content author | None |
| Licensed content date | March 2005 |
| Licensed content volume number | 258 |
| Licensed content issue number | 7-8 |
| Number of pages | 6 |
| Start Page | 1330 |
| End Page | 1335 |
| Type of Use | reuse in a thesis/dissertation |
| Intended publisher of new work | other |
| Portion | figures/tables/illustrations |
| Number of figures/tables/illustrations | 2 |
| Format | both print and electronic |
| Are you the author of this Elsevier article? | No |
| Will you be translating? | No |
| Original figure numbers | Figures 3 and 4 |
| Title of your | Investigación y modelización de la adherencia, el desgaste y la |

| | |
|----------------------------------|--|
| thesis/dissertation | fenomenología de daño asociada a la rodadura en contactos rueda-carril de aceros al carbono y bainíticos |
| Expected completion date | May 2015 |
| Estimated size (number of pages) | 440 |
| Elsevier VAT number | GB 494 6272 12 |
| Permissions price | 0.00 EUR |
| VAT/Local Sales Tax | 0.00 EUR / 0.00 GBP |
| Total | 0.00 EUR |
| Terms and Conditions | |

INTRODUCTION

1. The publisher for this copyrighted material is Elsevier. By clicking "accept" in connection with completing this licensing transaction, you agree that the following terms and conditions apply to this transaction (along with the Billing and Payment terms and conditions established by Copyright Clearance Center, Inc. ("CCC"), at the time that you opened your Rightslink account and that are available at any time at <http://myaccount.copyright.com>).

GENERAL TERMS

2. Elsevier hereby grants you permission to reproduce the aforementioned material subject to the terms and conditions indicated.

3. Acknowledgement: If any part of the material to be used (for example, figures) has appeared in our publication with credit or acknowledgement to another source, permission must also be sought from that source. If such permission is not obtained then that material may not be included in your publication/copies. Suitable acknowledgement to the source must be made, either as a footnote or in a reference list at the end of your publication, as follows:

“Reprinted from Publication title, Vol /edition number, Author(s), Title of article / title of chapter, Pages No., Copyright (Year), with permission from Elsevier [OR APPLICABLE SOCIETY COPYRIGHT OWNER].” Also Lancet special credit - “Reprinted from The Lancet, Vol. number, Author(s), Title of article, Pages No., Copyright (Year), with permission from Elsevier.”

4. Reproduction of this material is confined to the purpose and/or media for which permission is hereby given.

5. Altering/Modifying Material: Not Permitted. However figures and illustrations may be altered/adapted minimally to serve your work. Any other abbreviations, additions, deletions and/or any other alterations shall be made only with prior written authorization of Elsevier Ltd. (Please contact Elsevier at permissions@elsevier.com)

6. If the permission fee for the requested use of our material is waived in this instance, please be advised that your future requests for Elsevier materials may attract a fee.

7. Reservation of Rights: Publisher reserves all rights not specifically granted in the combination of (i) the license details provided by you and accepted in the course of this licensing transaction, (ii) these terms and conditions and (iii) CCC's Billing and Payment terms and conditions.

8. **License Contingent Upon Payment:** While you may exercise the rights licensed immediately upon issuance of the license at the end of the licensing process for the transaction, provided that you have disclosed complete and accurate details of your proposed use, no license is finally effective unless and until full payment is received from you (either by publisher or by CCC) as provided in CCC's Billing and Payment terms and conditions. If full payment is not received on a timely basis, then any license preliminarily granted shall be deemed automatically revoked and shall be void as if never granted. Further, in the event that you breach any of these terms and conditions or any of CCC's Billing and Payment terms and conditions, the license is automatically revoked and shall be void as if never granted. Use of materials as described in a revoked license, as well as any use of the materials beyond the scope of an unrevoked license, may constitute copyright infringement and publisher reserves the right to take any and all action to protect its copyright in the materials.

9. **Warranties:** Publisher makes no representations or warranties with respect to the licensed material.

10. **Indemnity:** You hereby indemnify and agree to hold harmless publisher and CCC, and their respective officers, directors, employees and agents, from and against any and all claims arising out of your use of the licensed material other than as specifically authorized pursuant to this license.

11. **No Transfer of License:** This license is personal to you and may not be sublicensed, assigned, or transferred by you to any other person without publisher's written permission.

12. **No Amendment Except in Writing:** This license may not be amended except in a writing signed by both parties (or, in the case of publisher, by CCC on publisher's behalf).

13. **Objection to Contrary Terms:** Publisher hereby objects to any terms contained in any purchase order, acknowledgment, check endorsement or other writing prepared by you, which terms are inconsistent with these terms and conditions or CCC's Billing and Payment terms and conditions. These terms and conditions, together with CCC's Billing and Payment terms and conditions (which are incorporated herein), comprise the entire agreement between you and publisher (and CCC) concerning this licensing transaction. In the event of any conflict between your obligations established by these terms and conditions and those established by CCC's Billing and Payment terms and conditions, these terms and conditions shall control.

14. **Revocation:** Elsevier or Copyright Clearance Center may deny the permissions described in this License at their sole discretion, for any reason or no reason, with a full refund payable to you. Notice of such denial will be made using the contact information provided by you. Failure to receive such notice will not alter or invalidate the denial. In no event will Elsevier or Copyright Clearance Center be responsible or liable for any costs, expenses or damage incurred by you as a result of a denial of your permission request, other than a refund of the amount(s) paid by you to Elsevier and/or Copyright Clearance Center for denied permissions.

LIMITED LICENSE

The following terms and conditions apply only to specific license types:

15. **Translation:** This permission is granted for non-exclusive world **English** rights only unless your license was granted for translation rights. If you licensed translation rights you may only translate this content into the languages you requested. A professional translator must perform all translations and reproduce the content word for word preserving the

integrity of the article. If this license is to re-use 1 or 2 figures then permission is granted for non-exclusive world rights in all languages.

16. Posting licensed content on any Website: The following terms and conditions apply as follows: Licensing material from an Elsevier journal: All content posted to the web site must maintain the copyright information line on the bottom of each image; A hyper-text must be included to the Homepage of the journal from which you are licensing at <http://www.sciencedirect.com/science/journal/xxxxx> or the Elsevier homepage for books at <http://www.elsevier.com>; Central Storage: This license does not include permission for a scanned version of the material to be stored in a central repository such as that provided by Heron/XanEdu.

Licensing material from an Elsevier book: A hyper-text link must be included to the Elsevier homepage at <http://www.elsevier.com>. All content posted to the web site must maintain the copyright information line on the bottom of each image.

Posting licensed content on Electronic reserve: In addition to the above the following clauses are applicable: The web site must be password-protected and made available only to bona fide students registered on a relevant course. This permission is granted for 1 year only. You may obtain a new license for future website posting.

17. For journal authors: the following clauses are applicable in addition to the above: Permission granted is limited to the author accepted manuscript version* of your paper.

***Accepted Author Manuscript (AAM) Definition:** An accepted author manuscript (AAM) is the author's version of the manuscript of an article that has been accepted for publication and which may include any author-incorporated changes suggested through the processes of submission processing, peer review, and editor-author communications. AAMs do not include other publisher value-added contributions such as copy-editing, formatting, technical enhancements and (if relevant) pagination.

You are not allowed to download and post the published journal article (whether PDF or HTML, proof or final version), nor may you scan the printed edition to create an electronic version. A hyper-text must be included to the Homepage of the journal from which you are licensing at <http://www.sciencedirect.com/science/journal/xxxxx>. As part of our normal production process, you will receive an e-mail notice when your article appears on Elsevier's online service ScienceDirect (www.sciencedirect.com). That e-mail will include the article's Digital Object Identifier (DOI). This number provides the electronic link to the published article and should be included in the posting of your personal version. We ask that you wait until you receive this e-mail and have the DOI to do any posting.

18. Posting to a repository: Authors may post their AAM immediately to their employer's institutional repository for internal use only and may make their manuscript publically available after the journal-specific embargo period has ended.

Please also refer to [Elsevier's Article Posting Policy](#) for further information.

19. For book authors the following clauses are applicable in addition to the above: Authors are permitted to place a brief summary of their work online only.. You are not allowed to download and post the published electronic version of your chapter, nor may you scan the printed edition to create an electronic version. **Posting to a repository:** Authors are permitted to post a summary of their chapter only in their institution's repository.

20. Thesis/Dissertation: If your license is for use in a thesis/dissertation your thesis may be submitted to your institution in either print or electronic form. Should your thesis be

published commercially, please reapply for permission. These requirements include permission for the Library and Archives of Canada to supply single copies, on demand, of the complete thesis and include permission for Proquest/UMI to supply single copies, on demand, of the complete thesis. Should your thesis be published commercially, please reapply for permission.

Elsevier Open Access Terms and Conditions

Elsevier publishes Open Access articles in both its Open Access journals and via its Open Access articles option in subscription journals.

Authors publishing in an Open Access journal or who choose to make their article Open Access in an Elsevier subscription journal select one of the following Creative Commons user licenses, which define how a reader may reuse their work: Creative Commons Attribution License (CC BY), Creative Commons Attribution – Non Commercial - ShareAlike (CC BY NC SA) and Creative Commons Attribution – Non Commercial – No Derivatives (CC BY NC ND)

Terms & Conditions applicable to all Elsevier Open Access articles:

Any reuse of the article must not represent the author as endorsing the adaptation of the article nor should the article be modified in such a way as to damage the author's honour or reputation.

The author(s) must be appropriately credited.

If any part of the material to be used (for example, figures) has appeared in our publication with credit or acknowledgement to another source it is the responsibility of the user to ensure their reuse complies with the terms and conditions determined by the rights holder.

Additional Terms & Conditions applicable to each Creative Commons user license:

CC BY: You may distribute and copy the article, create extracts, abstracts, and other revised versions, adaptations or derivative works of or from an article (such as a translation), to include in a collective work (such as an anthology), to text or data mine the article, including for commercial purposes without permission from Elsevier

CC BY NC SA: For non-commercial purposes you may distribute and copy the article, create extracts, abstracts and other revised versions, adaptations or derivative works of or from an article (such as a translation), to include in a collective work (such as an anthology), to text and data mine the article and license new adaptations or creations under identical terms without permission from Elsevier

CC BY NC ND: For non-commercial purposes you may distribute and copy the article and include it in a collective work (such as an anthology), provided you do not alter or modify the article, without permission from Elsevier

Any commercial reuse of Open Access articles published with a CC BY NC SA or CC BY NC ND license requires permission from Elsevier and will be subject to a fee.

Commercial reuse includes:

- Promotional purposes (advertising or marketing)

- Commercial exploitation (e.g. a product for sale or loan)
- Systematic distribution (for a fee or free of charge)

Please refer to [Elsevier's Open Access Policy](#) for further information.

21. Other Conditions:

v1.7

Questions? customercare@copyright.com or +1-855-239-3415 (toll free in the US) or +1-978-646-2777.

Gratis licenses (referencing \$0 in the Total field) are free. Please retain this printable license for your reference. No payment is required.

ELSEVIER LICENSE TERMS AND CONDITIONS

Feb 21, 2015

This is a License Agreement between Fidel Salas Vicente ("You") and Elsevier ("Elsevier") provided by Copyright Clearance Center ("CCC"). The license consists of your order details, the terms and conditions provided by Elsevier, and the payment terms and conditions.

All payments must be made in full to CCC. For payment instructions, please see information listed at the bottom of this form.

| | |
|--|--|
| Supplier | Elsevier Limited The Boulevard, Langford Lane Kidlington, Oxford, OX5 1GB, UK |
| Registered Company Number | 1982084 |
| Customer name | Fidel Salas Vicente |
| Customer address | Avda. Castellón, 5 Geldo, Castellón 12412 |
| License number | 3573710221983 |
| License date | Feb 21, 2015 |
| Licensed content publisher | Elsevier |
| Licensed content publication | Wear |
| Licensed content title | Wheel/rail rolling contact fatigue – Probe, predict, prevent |
| Licensed content author | Anders Ekberg, Bengt Åkesson, Elena Kabo |
| Licensed content date | 15 June 2014 |
| Licensed content volume number | 314 |
| Licensed content issue number | 1-2 |
| Number of pages | 11 |
| Start Page | 2 |
| End Page | 12 |
| Type of Use | reuse in a thesis/dissertation |
| Portion | figures/tables/illustrations |
| Number of figures/tables/illustrations | 1 |
| Format | both print and electronic |
| Are you the author of this Elsevier article? | No |
| Will you be translating? | No |
| Original figure numbers | Figure 4 |
| Title of your thesis/dissertation | Investigación y modelización de la adherencia, el desgaste y la fenomenología de daño asociada a la rodadura en contactos rueda-carril de aceros al carbono y bainíticos |

| | |
|----------------------------------|---------------------|
| Expected completion date | May 2015 |
| Estimated size (number of pages) | 440 |
| Elsevier VAT number | GB 494 6272 12 |
| Permissions price | 0.00 EUR |
| VAT/Local Sales Tax | 0.00 USD / 0.00 GBP |
| Total | 0.00 EUR |

[Terms and Conditions](#)

INTRODUCTION

1. The publisher for this copyrighted material is Elsevier. By clicking "accept" in connection with completing this licensing transaction, you agree that the following terms and conditions apply to this transaction (along with the Billing and Payment terms and conditions established by Copyright Clearance Center, Inc. ("CCC"), at the time that you opened your Rightslink account and that are available at any time at <http://myaccount.copyright.com>).

GENERAL TERMS

2. Elsevier hereby grants you permission to reproduce the aforementioned material subject to the terms and conditions indicated.

3. Acknowledgement: If any part of the material to be used (for example, figures) has appeared in our publication with credit or acknowledgement to another source, permission must also be sought from that source. If such permission is not obtained then that material may not be included in your publication/copies. Suitable acknowledgement to the source must be made, either as a footnote or in a reference list at the end of your publication, as follows:

“Reprinted from Publication title, Vol /edition number, Author(s), Title of article / title of chapter, Pages No., Copyright (Year), with permission from Elsevier [OR APPLICABLE SOCIETY COPYRIGHT OWNER].” Also Lancet special credit - “Reprinted from The Lancet, Vol. number, Author(s), Title of article, Pages No., Copyright (Year), with permission from Elsevier.”

4. Reproduction of this material is confined to the purpose and/or media for which permission is hereby given.

5. Altering/Modifying Material: Not Permitted. However figures and illustrations may be altered/adapted minimally to serve your work. Any other abbreviations, additions, deletions and/or any other alterations shall be made only with prior written authorization of Elsevier Ltd. (Please contact Elsevier at permissions@elsevier.com)

6. If the permission fee for the requested use of our material is waived in this instance, please be advised that your future requests for Elsevier materials may attract a fee.

7. Reservation of Rights: Publisher reserves all rights not specifically granted in the combination of (i) the license details provided by you and accepted in the course of this licensing transaction, (ii) these terms and conditions and (iii) CCC's Billing and Payment terms and conditions.

8. License Contingent Upon Payment: While you may exercise the rights licensed immediately upon issuance of the license at the end of the licensing process for the

transaction, provided that you have disclosed complete and accurate details of your proposed use, no license is finally effective unless and until full payment is received from you (either by publisher or by CCC) as provided in CCC's Billing and Payment terms and conditions. If full payment is not received on a timely basis, then any license preliminarily granted shall be deemed automatically revoked and shall be void as if never granted. Further, in the event that you breach any of these terms and conditions or any of CCC's Billing and Payment terms and conditions, the license is automatically revoked and shall be void as if never granted. Use of materials as described in a revoked license, as well as any use of the materials beyond the scope of an unrevoked license, may constitute copyright infringement and publisher reserves the right to take any and all action to protect its copyright in the materials.

9. Warranties: Publisher makes no representations or warranties with respect to the licensed material.

10. Indemnity: You hereby indemnify and agree to hold harmless publisher and CCC, and their respective officers, directors, employees and agents, from and against any and all claims arising out of your use of the licensed material other than as specifically authorized pursuant to this license.

11. No Transfer of License: This license is personal to you and may not be sublicensed, assigned, or transferred by you to any other person without publisher's written permission.

12. No Amendment Except in Writing: This license may not be amended except in a writing signed by both parties (or, in the case of publisher, by CCC on publisher's behalf).

13. Objection to Contrary Terms: Publisher hereby objects to any terms contained in any purchase order, acknowledgment, check endorsement or other writing prepared by you, which terms are inconsistent with these terms and conditions or CCC's Billing and Payment terms and conditions. These terms and conditions, together with CCC's Billing and Payment terms and conditions (which are incorporated herein), comprise the entire agreement between you and publisher (and CCC) concerning this licensing transaction. In the event of any conflict between your obligations established by these terms and conditions and those established by CCC's Billing and Payment terms and conditions, these terms and conditions shall control.

14. Revocation: Elsevier or Copyright Clearance Center may deny the permissions described in this License at their sole discretion, for any reason or no reason, with a full refund payable to you. Notice of such denial will be made using the contact information provided by you. Failure to receive such notice will not alter or invalidate the denial. In no event will Elsevier or Copyright Clearance Center be responsible or liable for any costs, expenses or damage incurred by you as a result of a denial of your permission request, other than a refund of the amount(s) paid by you to Elsevier and/or Copyright Clearance Center for denied permissions.

LIMITED LICENSE

The following terms and conditions apply only to specific license types:

15. **Translation:** This permission is granted for non-exclusive world **English** rights only unless your license was granted for translation rights. If you licensed translation rights you may only translate this content into the languages you requested. A professional translator must perform all translations and reproduce the content word for word preserving the integrity of the article. If this license is to re-use 1 or 2 figures then permission is granted for non-exclusive world rights in all languages.

16. Posting licensed content on any Website: The following terms and conditions apply as follows: Licensing material from an Elsevier journal: All content posted to the web site must maintain the copyright information line on the bottom of each image; A hyper-text must be included to the Homepage of the journal from which you are licensing at <http://www.sciencedirect.com/science/journal/xxxxx> or the Elsevier homepage for books at <http://www.elsevier.com>; Central Storage: This license does not include permission for a scanned version of the material to be stored in a central repository such as that provided by Heron/XanEdu.

Licensing material from an Elsevier book: A hyper-text link must be included to the Elsevier homepage at <http://www.elsevier.com>. All content posted to the web site must maintain the copyright information line on the bottom of each image.

Posting licensed content on Electronic reserve: In addition to the above the following clauses are applicable: The web site must be password-protected and made available only to bona fide students registered on a relevant course. This permission is granted for 1 year only. You may obtain a new license for future website posting.

17. For journal authors: the following clauses are applicable in addition to the above: Permission granted is limited to the author accepted manuscript version* of your paper.

***Accepted Author Manuscript (AAM) Definition:** An accepted author manuscript (AAM) is the author's version of the manuscript of an article that has been accepted for publication and which may include any author-incorporated changes suggested through the processes of submission processing, peer review, and editor-author communications. AAMs do not include other publisher value-added contributions such as copy-editing, formatting, technical enhancements and (if relevant) pagination.

You are not allowed to download and post the published journal article (whether PDF or HTML, proof or final version), nor may you scan the printed edition to create an electronic version. A hyper-text must be included to the Homepage of the journal from which you are licensing at <http://www.sciencedirect.com/science/journal/xxxxx>. As part of our normal production process, you will receive an e-mail notice when your article appears on Elsevier's online service ScienceDirect (www.sciencedirect.com). That e-mail will include the article's Digital Object Identifier (DOI). This number provides the electronic link to the published article and should be included in the posting of your personal version. We ask that you wait until you receive this e-mail and have the DOI to do any posting.

18. Posting to a repository: Authors may post their AAM immediately to their employer's institutional repository for internal use only and may make their manuscript publically available after the journal-specific embargo period has ended.

Please also refer to [Elsevier's Article Posting Policy](#) for further information.

19. For book authors the following clauses are applicable in addition to the above: Authors are permitted to place a brief summary of their work online only.. You are not allowed to download and post the published electronic version of your chapter, nor may you scan the printed edition to create an electronic version. **Posting to a repository:** Authors are permitted to post a summary of their chapter only in their institution's repository.

20. Thesis/Dissertation: If your license is for use in a thesis/dissertation your thesis may be submitted to your institution in either print or electronic form. Should your thesis be published commercially, please reapply for permission. These requirements include permission for the Library and Archives of Canada to supply single copies, on demand, of the complete thesis and include permission for Proquest/UMI to supply single copies, on

demand, of the complete thesis. Should your thesis be published commercially, please reapply for permission.

Elsevier Open Access Terms and Conditions

Elsevier publishes Open Access articles in both its Open Access journals and via its Open Access articles option in subscription journals.

Authors publishing in an Open Access journal or who choose to make their article Open Access in an Elsevier subscription journal select one of the following Creative Commons user licenses, which define how a reader may reuse their work: Creative Commons Attribution License (CC BY), Creative Commons Attribution – Non Commercial - ShareAlike (CC BY NC SA) and Creative Commons Attribution – Non Commercial – No Derivatives (CC BY NC ND)

Terms & Conditions applicable to all Elsevier Open Access articles:

Any reuse of the article must not represent the author as endorsing the adaptation of the article nor should the article be modified in such a way as to damage the author's honour or reputation.

The author(s) must be appropriately credited.

If any part of the material to be used (for example, figures) has appeared in our publication with credit or acknowledgement to another source it is the responsibility of the user to ensure their reuse complies with the terms and conditions determined by the rights holder.

Additional Terms & Conditions applicable to each Creative Commons user license:

CC BY: You may distribute and copy the article, create extracts, abstracts, and other revised versions, adaptations or derivative works of or from an article (such as a translation), to include in a collective work (such as an anthology), to text or data mine the article, including for commercial purposes without permission from Elsevier

CC BY NC SA: For non-commercial purposes you may distribute and copy the article, create extracts, abstracts and other revised versions, adaptations or derivative works of or from an article (such as a translation), to include in a collective work (such as an anthology), to text and data mine the article and license new adaptations or creations under identical terms without permission from Elsevier

CC BY NC ND: For non-commercial purposes you may distribute and copy the article and include it in a collective work (such as an anthology), provided you do not alter or modify the article, without permission from Elsevier

Any commercial reuse of Open Access articles published with a CC BY NC SA or CC BY NC ND license requires permission from Elsevier and will be subject to a fee.

Commercial reuse includes:

- Promotional purposes (advertising or marketing)
- Commercial exploitation (e.g. a product for sale or loan)
- Systematic distribution (for a fee or free of charge)

Please refer to [Elsevier's Open Access Policy](#) for further information.

21. Other Conditions:

v1.7

Questions? customercare@copyright.com or +1-855-239-3415 (toll free in the US) or +1-978-646-2777.

Gratis licenses (referencing \$0 in the Total field) are free. Please retain this printable license for your reference. No payment is required.

| | |
|--|---|
| Title | Whole Life Rail Model Application and Development for RSSB - Continued Development of an RCF Damage Parameter |
| Customer | Rail Safety & Standards Board |
| Customer reference | |
| Confidentiality, copyright and reproduction | <p style="text-align: center;">© Copyright 2004 Rail Safety and Standards Board</p> <p>This publication may be reproduced free of charge for research, private study or for internal circulation within an organisation. This is subject to it being reproduced and referenced accurately and not being used in a misleading context. The material must be acknowledged as the copyright of Rail Safety and Standards Board and the title of the publication specified accordingly. For any other use of the material please apply to RSSB's Head of Research and Development for permission. Any additional queries can be directed to research@rssb.co.uk. This publication can be accessed via the RSSB website www.rssb.co.uk</p> |
| File reference | LD44089 009 |
| Report number | AEATR-ES-2004-880 |
| Report status | Issue 2 |

AEA Technology Rail
 Jubilee House
 4 St Christopher's Way
 Pride Park
 Derby
 DE24 8LY
 United Kingdom
 Telephone +44 (0)870 190 1000
 Facsimile +44 (0)870 190 1295

AEA Technology is the trading name of AEA Technology plc
 AEA Technology is certificated to BS EN ISO9001:(1994)

| | | |
|-------------|------------------|-------------|
| Name | Signature | Date |
|-------------|------------------|-------------|

| | | | |
|--------------------|-------------|--|--|
| Author | M C Burstow | | |
| Reviewed by | W G Rasaiah | | |
| Approved by | J A Benyon | | |