

SUMARIO:

I. INTRODUCCIÓN	1
1 INTRODUCCIÓN	5
1.1 OBJETIVOS.	5
1.2 PLAN DE INVESTIGACIÓN.....	6
1.3 ESTRUCTURA DE ESTA TESIS:	8
2 ENERGÍA ACERO Y AUTOMÓVIL	13
2.1 LA NORMATIVA SOBRE EMISIONES DE CO ₂ EN LA CEE.	19
2.2 LAS POLÍTICAS FUTURAS DE LA CEE.	23
2.3 NORMATIVA EN OTROS PAÍSES SOBRE EMISIONES DE CO ₂ Y CONSUMO DE COMBUSTIBLE.	24
2.4 LA SEGURIDAD DEL VEHÍCULO.	26
2.5 LA RECICLABILIDAD DE LOS VEHÍCULOS.	29
2.6 LOS MATERIALES ESTRUCTURALES DE LOS VEHÍCULOS.....	30
2.7 EVOLUCIÓN RECIENTE EN EL USO DEL ALUMINIO EN LAS ESTRUCTURAS DEL AUTOMÓVIL.	30
2.8 LOS COSTES DE LOS MATERIALES.	34
2.9 LOS ACEROS EN LA ESTRUCTURA DEL AUTOMÓVIL.	37
2.9.1 LA EVOLUCIÓN RECIENTE DE LOS ACEROS UTILIZADOS EN AUTOMÓVILES.	37
2.9.2 LOS ACEROS ACTUALES.	39
2.9.3 LOS ACEROS TWIP/TRIP.	40
2.9.3.1 Twinning-Induced Plasticity -TWIP (aceros de plasticidad inducida por unión) Aceros al hierro-manganeso	41
2.9.4 PERSPECTIVAS E IMPORTANCIA CRECIENTE DE LOS ACEROS TWIP.....	42
2.9.5 LOS ACEROS DUAL PHASE (DP).....	43
2.10 LOS PROCEDIMIENTOS DE FABRICACIÓN DE LA ESTRUCTURA PORTANTE.....	45
2.11 MATERIAS PRIMAS.	45
2.12 NECESIDAD DEL CONOCIMIENTO DEL ROZAMIENTO DE LOS MATERIALES PARA SU CONFORMADO.	46
3 EL COMPORTAMIENTO DE LAS SUPERFICIES	49
3.1 ROZAMIENTO Y LUBRICACIÓN EN EL CONFORMADO DE LÁMINAS METÁLICAS.	49
3.2 LUBRICACIÓN DE CAPA LÍMITE Y ROZAMIENTO.	50
3.3 REGÍMENES DE LUBRICACIÓN.	51
3.4 ANÁLISIS DE LA LUBRICACIÓN Y LA LUBRICACIÓN DE CAPA LÍMITE EN CONFORMADO METÁLICO.	53
3.5 CONCLUSIONES. EL MODELO DE CONTACTO ENTE SUPERFICIES.	64
4 LOS SIMULADORES DE LA ESTAMPACIÓN	69
4.1 LOS SIMULADORES DEL ROZAMIENTO Y SUS RESULTADOS.....	69
4.2 CLASIFICACIÓN DE LOS PRINCIPALES SISTEMAS DE MEDICIÓN DEL ROZAMIENTO EN LÁMINAS METÁLICAS	79
4.3 ECUACIONES UTILIZADAS PARA CALCULAR EL COEFICIENTE DE ROZAMIENTO.	82
4.4 AVANCES EN MEDICIÓN ELECTRÓNICA Y OPTICA:	84

4.5 CONCLUSIONES .LA MEDIDA DEL ROZAMIENTO. 84

II. MATERIALES Y MÉTODOS 87

5 COMPORTAMIENTO DE LA LÁMINA DEFORMADA. 91

5.1 EL ROZAMIENTO EN EL PROCESO..... 91

5.1.1 EL PROCESO DE ESTAMPACIÓN Y EL ROZAMIENTO. 91

5.1.2 COEFICIENTE DE ROZAMIENTO Y PRESIÓN DE CONTACTO. 97

5.1.2.1 Coeficiente de rozamiento y presión de contacto. 97

5.2 EL RÉGIMEN DE LUBRICACIÓN Y MODELO DE ROZAMIENTO. 101

5.3 RÉGIMEN HIDRODINÁMICO. 102

5.3.1 CONDICIÓN DE RÉGIMEN HIDRODINÁMICO DE PELÍCULA GRUESA $h \geq 10\sigma$ 103

5.3.2 CONDICIÓN DE RÉGIMEN HIDRODINÁMICO DE PELÍCULA FINA $10\sigma \geq h \geq 3\sigma$ 103

5.3.3 RÉGIMEN HIDRODINÁMICO O DE CAPA LÍMITE $h \leq 3\sigma$ 104

5.3.3.1 Si $p_a > 0$, entonces se da lugar a lubricación mixta; 104

5.3.3.2 Si $p_a \leq 0$, entonces se da lugar a lubricación de capa límite..... 104

5.4 VARIABLES DEL SISTEMA DE MEDIDA. VELOCIDAD DE DEFORMACIÓN RELATIVA Y DEFORMACIÓN RELATIVA EN EL PUNTO DE CONTACTO. 105

5.5 DEFORMACIÓN PLÁSTICA Y ROZAMIENTO. 108

5.6 ANÁLISIS DE COMPORTAMIENTO EN RÉGIMEN PERMANENTE. HERRAMIENTA LISA. 110

5.6.1 ANÁLISIS DE COMPORTAMIENTO A VELOCIDAD CONSTANTE. RÉGIMEN PERMANENTE CON ANCHO CONSTANTE. HERRAMIENTA LISA. 110

5.6.2 ANÁLISIS DE COMPORTAMIENTO A VELOCIDAD CONSTANTE. RÉGIMEN PERMANENTE CON ANCHO VARIABLE. HERRAMIENTA LISA. 112

1.1.1 MODELO DE VARIACIÓN DE LA DEFORMACIÓN RELATIVA. 115

5.7 CONCLUSIÓN. 117

6 LOS MATERIALES Y SUS CARACTERÍSTICAS..... 121

6.1 LA OBTENCIÓN DE PROBETAS..... 121

6.2 UTILAJES PARA LA PREPARACIÓN DE PROBETAS. 122

6.3 CARACTERIZACIÓN DE LOS MATERIALES. CURVA DE TENSIÓN-DEFORMACIÓN. 124

6.4 CARACTERIZACIÓN DEL ACERO DP600 (GM). 125

6.5 CARACTERIZACIÓN DE ACERO TWIP (POSCO). 127

6.1 CARACTERIZACIÓN DE LOS MATERIALES. DIMENSIONES..... 129

6.6 CARACTERIZACIÓN DE LOS MATERIALES. SUPERFICIE. 131

6.7 MEDICIÓN DE LA RUGOSIDAD SUPERFICIAL. RUGOSÍMETRO. 132

6.8 MICROSCOPÍA ELECTRÓNICA SEM. 137

6.9 LOS LUBRICANTES. 138

6.10 CONCLUSIÓN..... 138

7 EL SIMULADOR Y EL SISTEMA DE MEDICIÓN. 143

7.1 ANTECEDENTES 143

7.2 DESCRIPCIÓN DEL SIMULADOR. 143

7.1.1	ELEMENTOS DE MOVIMIENTO Y POSICIÓN.....	144
7.1.2	DESPLAZAMIENTOS.....	147
7.2.1.1	Actuadores lineales. Movimiento del fleje.....	147
7.2.1.2	Actuadores rotativos. Posicionamiento del módulo basculante.....	148
7.2.1.3	Actuadores rotativos. Giro de la herramienta.....	148
7.2.1.4	La herramienta de conformado.....	149
7.2.2	EL SISTEMA DE MEDIDA.....	149
7.2.2.1	Medición de fuerzas.....	150
7.2.2.2	Medición de desplazamientos. Regletas ópticas.....	150
7.2.2.3	Medición de desplazamientos. Encoders incrementales.....	151
7.2.3	EL CONTROL DEL SISTEMA.....	152
7.2.3.1	Acondicionamiento de las señales de salida.....	153
7.2.3.2	La conversión de magnitudes en datos.....	154
7.2.3.3	El conjunto de medida.....	155
7.3	EL PROCESO DE ESTAMPACIÓN SIMPLIFICADO.....	156
7.4	LA SIMULACIÓN DE LA ESTAMPACIÓN.....	160
7.4.1	LA DEFORMACIÓN PERFECTA.....	162
7.4.2	LA DEFORMACIÓN REAL.....	164
7.1.3	GEOMETRÍA DE LA MEDICIÓN.....	167
7.4.3	CINEMÁTICA DE LA PROBETA.....	170
7.5	EL SIMULADOR EN FUNCIONAMIENTO.....	171
7.5.1	EL SISTEMA DE ADQUISICIÓN Y ACONDICIONAMIENTO DE SEÑAL. LOS DATOS DE SALIDA.....	171
7.5.2	EL SISTEMA DE ADQUISICIÓN Y ACONDICIONAMIENTO DE SEÑAL. PASOS EN LOS ENSAYOS.....	173
7.5.3	EL FUNCIONAMIENTO DEL SIMULADOR.....	174
7.6	CONCLUSIÓN.....	175
III.	RESULTADOS.....	177
8	LOS RESULTADOS DEL DP600(FLinsa).....	181
8.1	LA HERRAMIENTA DE CONFORMADO.....	181
8.2	LAS PROBETAS.....	182
8.3	LOS LUBRICANTES.....	183
8.4	DISEÑO DE EXPERIMENTOS.....	184
8.4.1	VARIABLES DE ENSAYO.....	184
8.4.1.1	La velocidad de ensayo.....	184
8.4.1.2	El ángulo de ensayo.....	184
8.4.1.3	Los lubricantes.....	185
8.4.2	EL DISEÑO FACTORIAL DEL EXPERIMENTO.....	185
8.4.3	DATOS QUE SUMINISTRA EL SISTEMA DE ADQUISICIÓN.....	185
8.4.4	PARÁMETROS DE CÁLCULO PARA LOS EXPERIMENTOS FACTORIALES.....	186
8.4.4.1	Grupo de fuerzas y tensiones:.....	186
8.4.4.2	Grupo de velocidades y deformaciones.....	187

8.4.4.3 Grupo de coeficiente de rozamiento.....	189
8.4.4.4 Grupo de parámetros relacionados con la superficie	189
8.4.4.5 Parámetros seleccionados.....	190
8.5 RESULTADOS DEL DISEÑO FACTORIAL FRACCIONAL.....	190
8.5.1.1 Influencia de los bloques.....	190
8.5.1.2 Variables Velocidad, Viscosidad, Ángulo y Coeficiente de Rozamiento 1	192
8.5.1.3 Rugosidades transversales.	194
8.6 RESULTADOS SOBRE LA SUPERFICIE. MICROSCOPÍA.	195
8.6.1 OBSERVACIÓN CON MICROSCOPIO.....	195
8.6.2 OBSERVACIÓN CON MICROSCOPIO ELECTRÓNICO SEM.....	196
8.7 LOS RESULTADOS DEL EQUIPO DE SIMULACIÓN	196
8.8 DISCUSIÓN	197
8.9 CONCLUSIONES PARCIALES.....	199
9 EL DP600(GM).....	203
9.1 LA HERRAMIENTA DE CONFORMADO.....	203
9.2 LAS PROBETAS.....	204
9.3 DISEÑO DE EXPERIMENTOS.....	206
9.3.1 VARIABLES DE ENSAYO.....	206
9.3.1.1 La velocidad de ensayo.....	207
9.3.1.2 El ángulo de ensayo.....	207
9.3.1.3 Los lubricantes.....	208
9.3.2 EL DISEÑO FACTORIAL DEL EXPERIMENTO.	208
9.4 PARÁMETROS DE EFICIENCIA DEL SISTEMA EN PROCESO.	209
9.4.1 DATOS OBTENIDOS DESDE EL SISTEMA DE ADQUISICIÓN.	209
9.4.2 PARÁMETROS DE CÁLCULO PARA LOS EXPERIMENTOS FACTORIALES	210
9.4.3 PARÁMETROS SELECCIONADOS	210
9.4.3.1 Realización de los experimentos	211
9.5 RESULTADOS DEL DISEÑO FACTORIAL COMPLETO.....	212
9.5.1 INFLUENCIA DE LOS BLOQUES	212
9.5.2 COEFICIENTE DE ROZAMIENTO 1.....	213
9.5.3 COEFICIENTE DE ROZAMIENTO 2.....	216
9.5.4 COEFICIENTE DE ROZAMIENTO 3.....	216
9.5.5 DIFERENCIA DE TENSIONES.	218
9.5.6 DIFERENCIA DE FUERZAS ESPECÍFICA.	219
9.5.7 VELOCIDAD DE DEFORMACIÓN RELATIVA ESPECÍFICA.	220
9.5.8 SALTO DE VELOCIDADES RELATIVO	221
9.5.9 VELOCIDAD DE ENTRADA RELATIVA.	222
9.5.10 SALTO DE VELOCIDAD.	222
9.5.11 RAZÓN DE PENDIENTES A LA ENTRADA.....	223
9.5.12 DIFERENCIA DE RUGOSIDADES LONGITUDINALES.....	224
9.5.13 DIFERENCIA DE RUGOSIDADES TRANSVERSALES	225
9.6 RESULTADOS SOBRE LA SUPERFICIE. RUGOSIDADES MEDIDAS.....	226

9.7 RESULTADOS SOBRE LA SUPERFICIE. MICROSCOPÍA.	226
9.7.1 OBSERVACIÓN CON MICROSCOPIO	227
9.7.2 OBSERVACIÓN CON MICROSCOPIO ELECTRÓNICO SEM.	227
9.8 LOS RESULTADOS DEL EQUIPO DE SIMULACIÓN	228
9.9 DISCUSIÓN	229
9.9.1 LOS COEFICIENTES DE ROZAMIENTO.....	230
9.9.2 DIFERENCIA DE FUERZAS ESPECÍFICA	234
9.9.3 DIFERENCIA DE RUGOSIDADES LONGITUDINALES	235
9.9.4 COMPARACIÓN DE LAS ECUACIONES.	236
9.9.5 OTRAS CONSIDERACIONES.....	239
9.9.5.1 Velocidad sobre la probeta	239
9.10 APLICACIÓN DEL MODELO	239
9.11 CONCLUSIONES PARCIALES	241
10 RESULTADOS. ESTUDIO DEL TWIP (POSCO)	245
10.1 LAS PROBETAS	245
10.2 DISEÑO DE EXPERIMENTOS	246
10.2.1 VARIABLES DE ENSAYO	246
10.2.1.1 La velocidad de ensayo.	247
10.2.1.2 El ángulo de ensayo.	247
10.2.1.3 Los lubricantes.	247
10.3 EL DISEÑO FACTORIAL DEL EXPERIMENTO	248
10.4 PARÁMETROS DE EFICIENCIA DEL SISTEMA EN PROCESO.	249
10.4.1 DATOS QUE SUMINISTRA EL SISTEMA DE ADQUISICIÓN.	249
10.4.2 PARÁMETROS DE CACULO PARA LOS EXPERIMENTOS FACTORIALES.	249
10.4.3 PARÁMETROS SELECCIONADOS.....	249
10.4.3.1 Realización de los experimentos.....	250
10.5 RESULTADOS DEL DISEÑO FACTORIAL COMPLETO.	251
10.5.1 INFLUENCIA DE LOS BLOQUES	251
10.5.2 COEFICIENTE DE ROZAMIENTO 1.	252
10.5.3 COEFICIENTE DE ROZAMIENTO 2.	253
10.5.4 COEFICIENTE DE ROZAMIENTO 3.	254
10.5.5 DIFERENCIA DE TENSIONES.	255
10.5.6 DIFERENCIA DE FUERZAS ESPECÍFICA.	256
10.5.7 VELOCIDAD DE DEFORMACIÓN RELATIVA ESPECÍFICA.....	258
10.5.8 SALTO DE VELOCIDADES RELATIVO	258
10.5.9 VELOCIDAD DE ENTRADA RELATIVA.	259
10.5.10 SALTO DE VELOCIDAD.	260
10.5.11 RAZÓN DE PENDIENTES A LA ENTRADA	260
10.5.12 DIFERENCIA DE RUGOSIDADES LONGITUDINALES.	261
9.1.1.1 Diferencia de rugosidades transversales.....	261
10.6 RUGOSIDADES MEDIDAS.	262
10.7 RESULTADOS SOBRE LA SUPERFICIE. MICROSCOPÍA.	263

10.7.1 OBSERVACIÓN CON MICROSCOPIO.....	263
10.7.2 OBSERVACIÓN CON MICROSCOPIO ELECTRÓNICO SEM.....	263
10.8 LOS RESULTADOS DEL EQUIPO DE SIMULACIÓN	264
10.8.1 COMENTARIOS A LA DEFORMACIÓN	266
10.9 DISCUSIÓN	266
10.9.1 LOS COEFICIENTES DE ROZAMIENTO	268
10.9.2 DIFERENCIA DE TENSIONES	269
10.9.3 DIFERENCIA DE FUERZAS ESPECÍFICA.....	270
10.9.4 COMPARACIÓN DE LAS ECUACIONES.	271
10.9.5 OTRAS CONSIDERACIONES	273
10.9.5.1 Velocidad sobre la probeta	274
10.10 APLICACIÓN DEL MODELO	274
10.11 CONCLUSIONES PARCIALES.....	276

IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES..... 277

11 DISCUSIÓN

11.1 EL DP600(GM).....	284
11.2 EL ACERO TWIP(Posco).....	286
11.3 LOS PARÁMETROS.....	288
11.4 LAS PROBETAS.....	288
11.5 EL EQUIPO DE MEDIDA.....	289
11.5.1 LA MEDICIÓN DE LAS FUERZAS	289
11.5.2 LA MEDICIÓN DE DESPLAZAMIENTOS.....	290
11.6 EL PROTOCOLO DE MEDICIÓN	292

12 CONCLUSIONES..... 295

12.1 LAS PROBETAS.....	295
12.2 EL EQUIPO DE MEDICIÓN	295
12.3 LA SOLUCIÓN.....	296

13 FUTURAS INVESTIGACIONES..... 299

13.1 AMPLIACIÓN DE LA VALIDEZ DE LA METODOLOGÍA DE MEDICIÓN A DIFERENTES TIPOS DE ACEROS. OPTIMIZACIÓN DEL PROTOCOLO	299
13.2 APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA A LUBRICANTES SÓLIDOS.....	299
13.3 PARÁMETROS DE MEDICIÓN PARA ALUMINIOS UTILIZADOS EN LA ESTRUCTURAS DE AUTOMÓVIL ..	299
13.4 APLICACIÓN Y DESARROLLO DE UN PROTOCOLO DE MEDICIÓN PARA LA COMPARACIÓN DE LUBRICANTES PARA ESTAMPACIÓN EN CALIENTE (HOT STAMPING).....	299

VI. REFERENCIAS

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS Y OTRAS FUENTES

V. ANEXOS	313
ANEXO A. TABLAS DE RESULTADOS DP600 (FLINSA). GRÁFICOS COMPLEMENTARIOS..	315
ANEXO B. RESULTADOS DP600 (GM).....	327
ANEXO C. RESULTADOS TWIP (POSCO).....	353