



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



Escuela Técnica Superior de Ingeniería del Diseño

ANÁLISIS DE LA SOLDADURA DE FUNDICIÓN LAMINAR CON APORTE DE VARILLA DE ACERO AISI 304L Y PROCEDIMIENTO TIG

Trabajo final de Grado en Ingeniería Mecánica

Alumno | Víctor Borrás Pérez
Tutor | Manuel Pascual Guillamón
Cotutor | Fidel Salas Vicente

ÍNDICE

tabla de ilustraciones	2
TABLA DE GRAFICAS	4
Gráfica 1. ENSAYO TRACCIÓN STT 29	4
Gráfica 2. ENSAYO TRACCIÓN 450°C 30	4
Gráfica 3. ENSAYO TRACCIÓN 900°C 31	4
Gráfica 4. Resultado de Dureza 46	4
Gráfica 5. Dureza-Temperatura 47	4
Gráfica 6. Tensión-Temperatura 47	4
TABLA DE ECUACIONES	4
Ecuación 1. Tensión de rotura 25	4
Ecuación 2. Módulo de Young 26	4
Ecuación 3. Alargamiento 26	4
1 OBJETIVO	5
2 INTRODUCCIÓN	6
3 MATERIALES	7
3.1 Material de las chapas empleadas	7
3.2 Material de aporte	8
4 UNIÓN DE PIEZAS MEDIANTE SOLDADURA	9
4.1 Soldadura	9
4.2 Tipos de soldadura más comunes	9
4.2.1 Soldadura por gas	9
4.2.2 Soldadura por arco eléctrico	10
4.2.3 Soldadura MIG	11
4.2.4 Soldadura TIG	11
4.2.5 Soldadura por resistencia	12
4.3 Método y equipo empleado	14
4.4 Sistema de actuación	15
4.4 Defectos de soldadura	17
4.5 Resultado final de las piezas	20
5 CORTE DE PIEZAS	21
5.1 Equipo y método empleado	21
5.2 Dimensiones de las probetas	22

5.3 Sistema de actuación	22
6 ENSAYO A TRACCIÓN	23
6.1 Equipo y método empleado	26
6.2 Sistema de actuación	27
6.3 Resultados	27
7 MICROGRAFÍA	31
7.1 Metalografía.	31
7.1.1 Selección del lugar y extracción de la muestra.....	31
7.1.2 Montaje de la probeta.	32
7.1.3 Desbaste y Pulido	34
7.1.4 Ataque	35
7.1.4 Observación microscópica	36
7.2 Resultado.....	37
8 ENSAYO DE DUREZA	43
8.1 Dureza	43
8.2 Método y equipo empleado	44
8.3 Resultados	45
9 CONCLUSIÓN	46
10 PLIEGO DE CONDICIONES TÉCNICAS	47
10.1 Elementos de soldadura	47
10.2 Cortes de probetas	48
11.3 Ensayo de dureza	48
10.4 Micrografía	49
10.5 Ensayo de tracción	50
12 PRESUPUESTO.....	51
12.1 Materiales.....	51
12.2 Mano de obra	52
12.3 Maquinaria empleada	54

TABLA DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1. Dimensiones de las chapas.....	7
I Ilustración 2. Varillas de acero y composición	8
Ilustración 3. SOLDADURA POR GAS	9
Ilustración 4.SOLDADURA POR ARCO ELÉCTRICO	10

Ilustración 5.SOLDADURA MIG	11
Ilustración 6.SOLDADURA TIG	11
Ilustración 7.SOLDADURA POR RESISTENCIA	12
Ilustración 8. Robos de soldadura en automoción	13
Ilustración 9. EQUIPO SOLDADURA TIG	14
Ilustración 10.Amarrado y Punteado	15
Ilustración 11.Cordón de soldadura	16
Ilustración 12. DESBASTE.....	16
Ilustración 13.Mordedura.....	17
Ilustración 14.Falta de penetración	17
Ilustración 15.Cráteres en el cordón de soldadura.....	18
Ilustración 16.Exceso de penetración	18
Ilustración 17.Porosidad.....	19
Ilustración 18.RESULTADO FINAL DE LAS PIEZAS.....	20
Ilustración 19.Sierra de accionamiento manual	21
Ilustración 20. Dimensión de probetas	22
Ilustración 21.Tensión de rotura	23
Ilustración 22.Módulo de Young	24
Ilustración 23.MAQUINA ENSAYO DE TRACCIÓN.....	26
Ilustración 24.PROBETAS STT	28
Ilustración 25. PROBETAS 450°C	29
Ilustración 26.PROBETAS 900°C	30
Ilustración 27.Zona Estudiada	32
Ilustración 28.Máquina de embutición y compuesto termoendurecible	33
Ilustración 29.Ejemplo de Cubilete	33
Ilustración 30.Desbastadora LaboPol-21	34

Ilustración 31. Disco de pulido y pasta de diamante	35
Ilustración 32. ENSAYO DE DUREZ	43
Ilustración 33. INDENTADOR Y DURÓMETRO	44

TABLA DE GRAFICAS

GRÁFICA 1. ENSAYO TRACCIÓN STT28	
GRÁFICA 2. ENSAYO TRACCIÓN 450°C	29
GRÁFICA 3. ENSAYO TRACCIÓN 900°C	30
GRÁFICA 4. RESULTADO DE DUREZA	45
GRÁFICA 5. DUREZA-TEMPERATURA	46
GRÁFICA 6. TENSIÓN-TEMPERATURA	46

TABLA DE ECUACIONES

ECUACIÓN 1. TENSIÓN DE ROTURA	24
ECUACIÓN 2. MÓDULO DE YOUNG	25
ECUACIÓN 3. ALARGAMIENTO	25

1 | OBJETIVO

El objetivo del presente trabajo de final de grado es realizar un estudio de la microestructura y los cambios producidos en las propiedades mecánicas de la soldadura de una fundición laminar con aporte de varilla de acero inoxidable AISI 304L al someterla a diferentes tratamientos térmicos.

Para realizar el análisis se sueldan dos chapas del material comentado anteriormente mediante soldadura de tipo TIG (Tungsten Inert Gas) y se les aplican los diferentes tratamientos: un recocido a 900°, precalentamiento a 450° y enfriamiento lento

Este análisis se realizará en la zona de la soldadura donde se comprobarán las características mecánicas mediante un ensayo a tracción, de dureza y micrografías.

En resumen, el objetivo de este proyecto es caracterizar la fundición laminar a partir de su microestructura y de sus características resistentes, averiguando cómo le afecta a cada tratamiento.

2 | INTRODUCCIÓN

Las fundiciones son aleaciones de hierro, carbono y silicio principalmente. Tienen un mayor contenido en carbono que los aceros (entre 2,5 y 4%) y adquieren la forma deseada a través del proceso de colada directamente. Generalmente no son dúctiles y no pueden laminarse ni forjarse. Pero excepcionalmente, algunas fundiciones como las de grafito esferoidal son tenaces y dúctiles.

Para este estudio se ha usado concretamente la fundición gris, que adquiere este nombre por el color de su fractura, y es aquella en la que el carbono aparece en estado libre en forma de grafito laminar. La característica principal de este tipo de fundición es la ausencia de ledeburita.

Este tipo de fundición se utiliza habitualmente donde se necesite disipar gran energía vibratoria junto con una elevada resistencia a esfuerzos de compresión. La resistencia a la tensión es mucho menor que a la compresión debido a que las láminas de grafito actúan como elevadores de tensiones favoreciendo la formación de grietas.

3 | MATERIALES

3.1 | MATERIAL DE LAS CHAPAS EMPLEADAS

Empleamos chapas de fundición laminar con unas dimensiones de 50 X 100 X 5 mm.

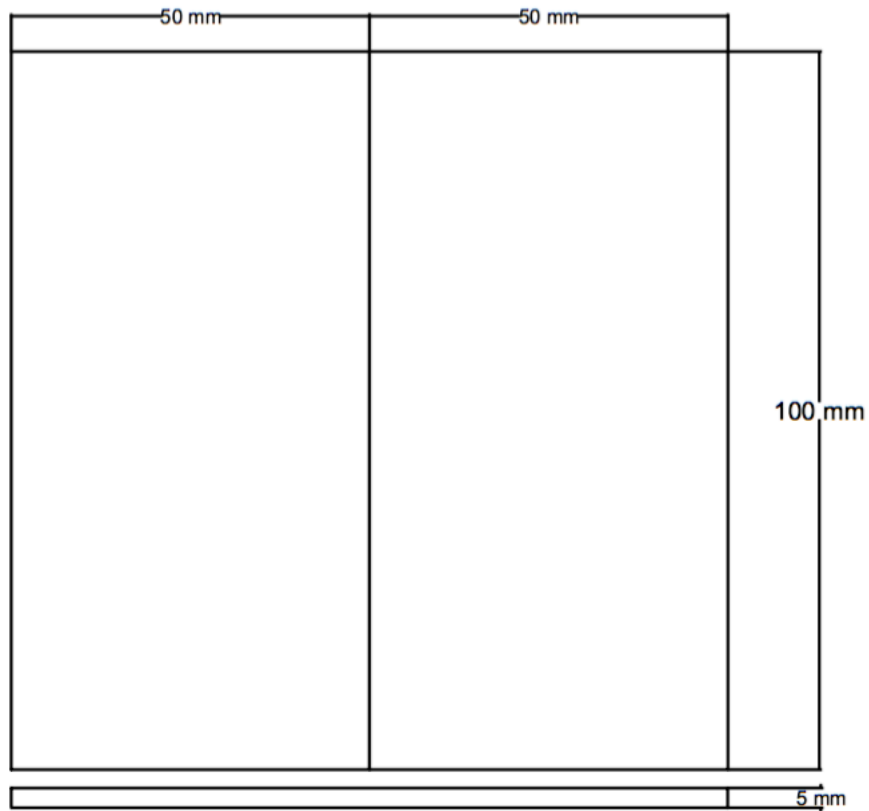
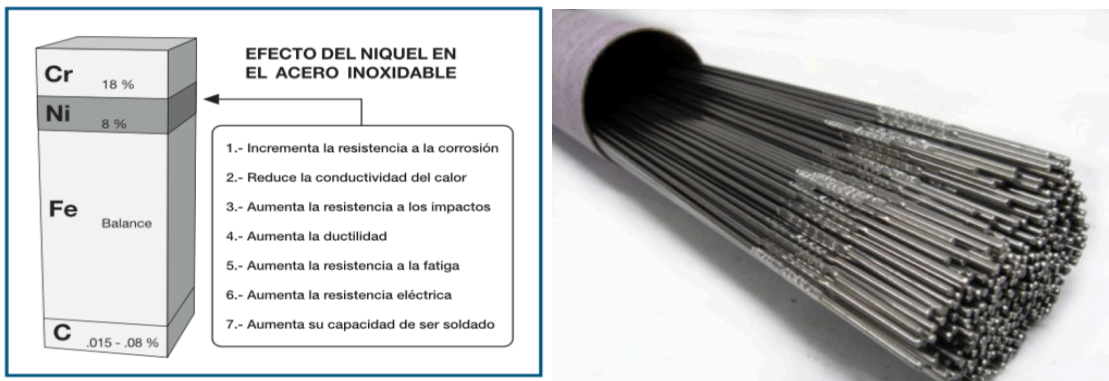


Ilustración 1. Dimensiones de las chapas

3.2 | MATERIAL DE APORTE

El material aportado es acero inoxidable AISI 304L en forma de varilla de dimensiones (1.6 X 1000 mm) Esta Varilla con bajo contenido de carbono es idónea para soldar acero inoxidable con proceso TIG. El bajo contenido de carbono en el metal de aporte (0,03 máximo), disminuye la posibilidad de precipitación de carburos e incrementa la resistencia a la corrosión intergranular sin el uso de estabilizadores tales como columbio y titanio. La adición de Níquel a la aleación básica de Hierro / Carbono / Cromo, da como resultado los aceros inoxidables de la serie 300.



I lustración 2. Varillas de acero y composición

Aplicaciones típicas: **Equipos de proceso y almacenamiento de productos alimenticios y químicos. Bombas, intercambiadores de calor.**

Posiciones de soldadura: P, H, V, SC. Tipo de corriente: CCEN.

Composición química:

C: 0.02%	Ni: 9.80%
Si: 0.38%	Mn: 1.90%
S: 0.01	P: 0.020
Cr: 19.80%	Mo: 0.19%

4 | UNIÓN DE PIEZAS MEDIANTE SOLDADURA

4.1 | SOLDADURA

Se denomina Soldadura al proceso en el cual se realiza la unión de dos materiales, generalmente metales o termoplásticos, usualmente obtenido a través de fusión, en la cual los elementos son soldados derritiendo ambos y agregando un material de relleno derretido (metal o plástico). Éste, al enfriarse, se convierte en un empalme de gran resistencia.

4.2 | TIPOS DE SOLDADURA MÁS COMUNES

4.2.1 | SOLDADURA POR GAS

La soldadura por gas es muy popular por su simpleza, su bajo coste y la capacidad de movilidad del equipo. Pero el alto tiempo que requieren los materiales para enfriarse es su desventaja. La soldadura que utiliza la combustión de acetileno en oxígeno (**autógena**) es la más común de este tipo, pudiendo alcanzar hasta los 3200 °C.

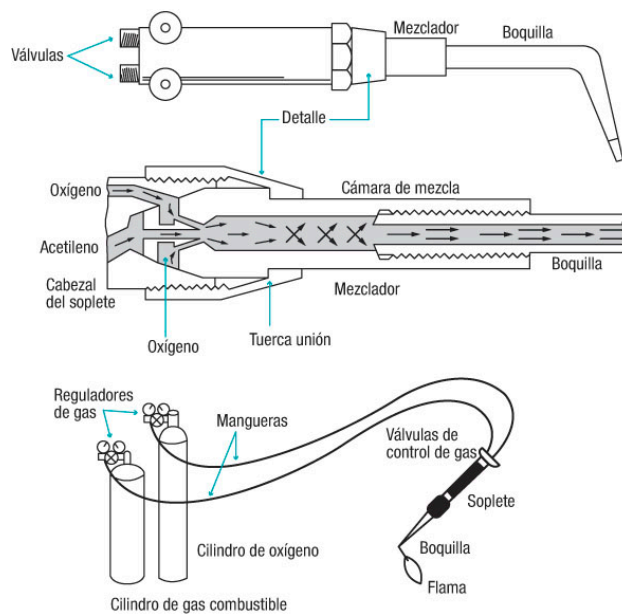


Ilustración 3. SOLDADURA POR GAS

4.2.2 | SOLDADURA POR ARCO ELÉCTRICO

En la soldadura eléctrica por arco, se realiza la unión entre dos partes metálicas, debido al calor generado por el la energía eléctrica que se libera entre el electrodo y el material por soldar.

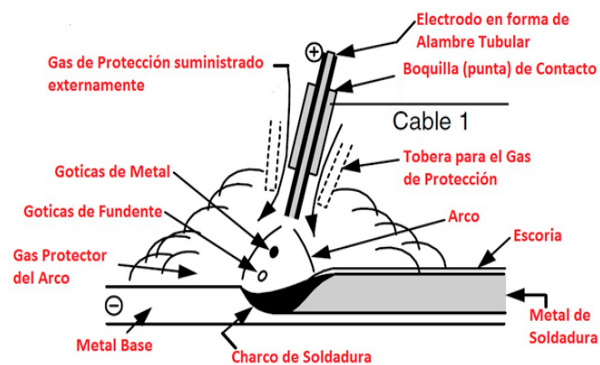
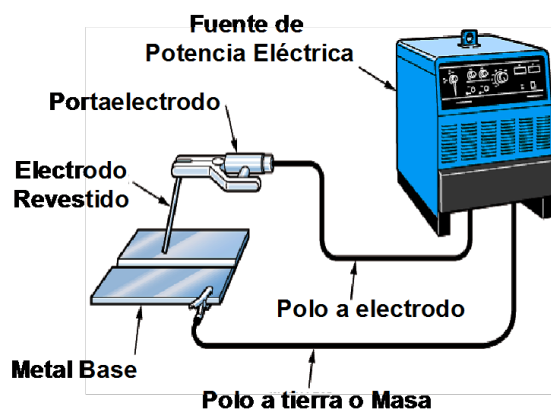


Ilustración 4.SOLDADURA POR ARCO ELÉCTRICO

En la soldadura eléctrica por arco se sitúan dos conductores en contacto y se les somete a una diferencia de potencial. Al separarse estos se produce una chispa para ionizar el gas haciendo que pase la corriente pese a no estar en contacto, creando así el arco eléctrico que transformará la energía eléctrica en calor. La principal ventaja que tiene esta soldadura es que penetra muy bien, pero tiene como contrapunto que debemos que eliminar la escoria antes y después de la operación.



4.2.3 | SOLDADURA MIG

La soldadura **MIG** (Metal Inert Gas o Gas de metal inerte en español), es un tipo de soldadura de arco eléctrico en la que un electrodo consumible de hilo solido se funde bajo la protección de un gas inerte. Como ventajas encontramos su versatilidad, la velocidad o la sencillez, en definitiva, la alta productividad y excelente calidad de soldadura. Como desventaja principal encontramos que este proceso es inaplicable para soldadura de acero grueso.

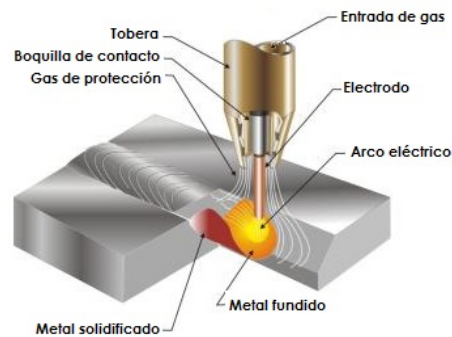


Ilustración 5.SOLDADURA MIG

4.2.4 | SOLDADURA TIG

Este proceso de soldadura por arco en gas inerte con electrodo **infusible** de tungsteno (**Tungsten Inert Gas** en inglés), es un procedimiento en el cual se obtiene el calor necesario para fundir el material generando una corriente eléctrica (arco eléctrico) entre el electrodo y la pieza en cuestión. La zona de soldadura está protegida de los agentes atmosféricos por el gas inerte. Cuando es necesario el uso de material de relleno, éste se aporta en forma de varillas.

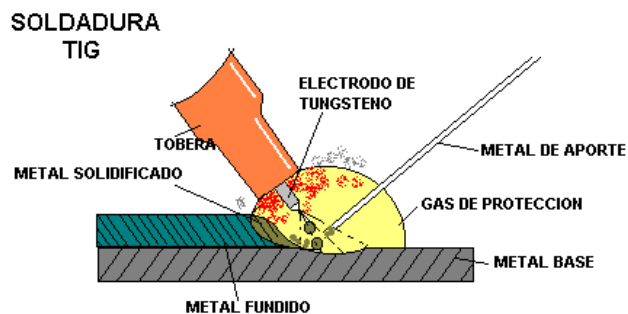


Ilustración 6.SOLDADURA TIG

La principal diferencia con la soldadura tipo MIG es que en la TIG el electrodo de tungsteno o de aleación de tungsteno es infusible y requiere de material aporte mientras que en la MIG el electrodo al fundirse actúa como relleno.

4.2.5 | SOLDADURA POR RESISTENCIA

En el proceso de soldadura por resistencia trata de generar calor mediante el paso de una intensa corriente eléctrica y aplicando una gran presión (hasta 450 MPa) entre 2 piezas hasta que se forman zonas puntuales de material fundido entre ellas.

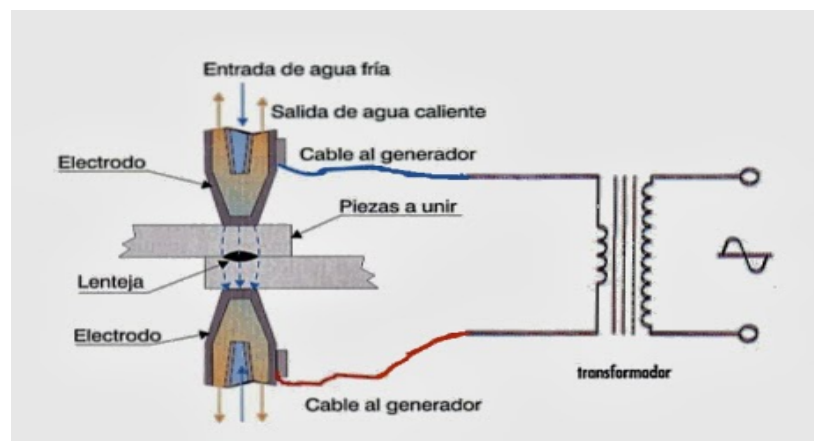


Ilustración 7.SOLDADURA POR RESISTENCIA

En este tipo de soldadura autógena no requiere de consumibles y su principal ventaja es la simpleza y el reducido tiempo del proceso. Esta soldadura se usa mucho en la industria automotriz.

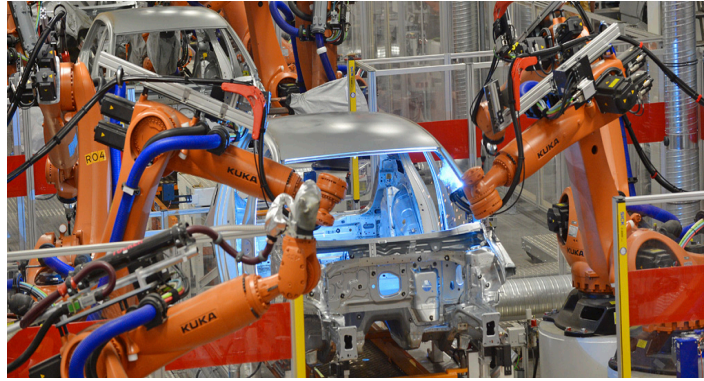


Ilustración 8. Robos de soldadura en automoción

El ciclo consta de varias fases:

1. **Posicionamiento:** se ejerce presión sobre los electrodos.
2. **Soldeo:** se crea una diferencia de potencial entre los electrodos manteniendo una presión entre los electrodos.
3. **Mantenimiento:** se incrementa la presión después de cortar.
4. **Decadencia:** se reduce la presión hasta retirar la pieza una vez ya soldada.

4.3 | MÉTODO Y EQUIPO EMPLEADO

Para el presente estudio hemos empleado un equipo de soldadura tipo TIG (Tungsten Inert Gas). Se ha escogido este tipo de soldadura ya que presenta alta calidad de soldadura en prácticamente todos los metales, los cordones de soldadura son más fuertes homogéneos que con electrodos convencionales.

Concretamente el equipo empleado consta de soldador TIGMIG 170 con un electrodo de tungsteno y recubrimiento de gas Argón.



Ilustración 9. EQUIPO SOLDADURA TIG

Para los procesos de soldadura es necesario utilizar cierto material de seguridad, en este caso una máscara de protección para evitar las radiaciones emitidas durante el proceso de soldadura, guantes de protección, bata de trabajo y botas de seguridad.

4.4 | SISTEMA DE ACTUACIÓN

Preparación de piezas

Como medida preventiva realizamos una limpieza de las piezas por si existiera algún residuo que pueda perjudicar el baño de fusión durante la soldadura. Con la ayuda de un disolvente eliminaremos los posibles restos de grasa o aceite presentes en las chapas.

Amarrado y punteado de piezas

Para evitar que se muevan y se deformen las chapas causa del calor aplicado, será necesario antes de comenzar la soldadura amarrar ambas chapas a nuestro banco de trabajo usando varios sargentos

Colocaremos las chapas dejando una ligera separación entre ellas en forma de V, de esta manera las chapas no se superpondrán al aplicarle los puntos de soldadura.



Ilustración 10. Amarrado y Punteado

Cordón de soldadura

Realizar el cordón de soldadura es la parte más compleja e importante del proceso, el material de la varilla de aporte tiene que ser suficiente y debe penetrar correctamente para que quede homogénea y tenga un espesor uniforme en toda la chapa, de no ser así al someter las probetas a tracción la romperán antes de tiempo por un defecto de soldadura.

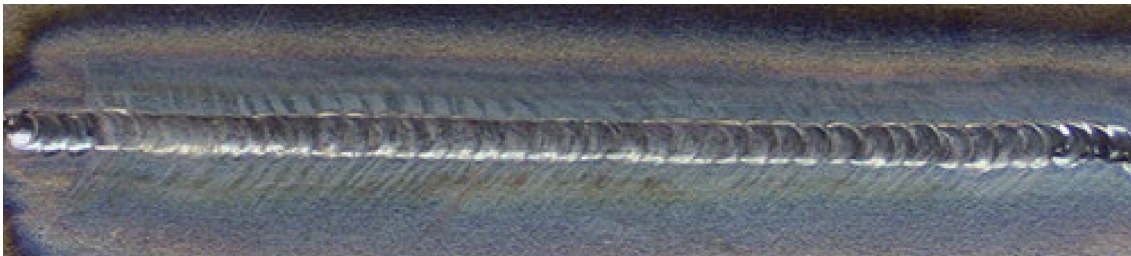


Ilustración 11. Cordón de soldadura

Acabado

Por último, con la ayuda de una amoladora angular con un disco de desbaste tipo milhojas, eliminaremos el material de aporte sobrante y puliremos la superficie para dejarla homogénea.



Ilustración 12. DESBASTE

4.4 | DEFECTOS DE SOLDADURA

Durante el proceso de soldadura, existe la posibilidad de que la soldadura no quede perfecta y aparezcan diferentes defectos, a continuación se enumeran los más comunes.

Mordedura

La mordedura es un defecto que se presenta en forma de surco en el borde del cordón. Puede estar causado por una intensidad excesiva, una posición incorrecta del ángulo de la lanza o por excesiva velocidad de desplazamiento.



Ilustración 13.Mordedura

Falta de penetración

Cuando el baño de fusión y el material de aporte no descuelgan lo suficiente por la parte de debajo de las chapas, creando un nexo de unión insuficiente entre ambas.



Ilustración 14.Falta de penetración

Cráteres en el cordón de soldadura

Este defecto es bastante común cuando el soldador tiene poca experiencia. Los cráteres son agujeros que se forman a lo largo del cordón de soldadura cuando hay una parada brusca en el proceso de soldado.



Ilustración 15. Cráteres en el cordón de soldadura

Exceso de penetración

El exceso de penetración ocurre cuando se utiliza una corriente demasiado elevada o si existe demasiada separación entre las piezas a unir.

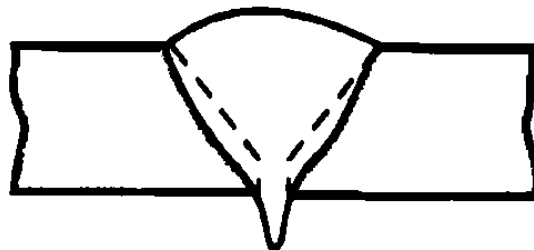


Ilustración 16. Exceso de penetración

Porosidad

La porosidad es la contaminación del metal de soldadura de un gas atrapado que se manifiesta en forma de burbuja en el cordón de soldadura. Los gases de protección o gases emitidos como resultado de la aplicación de la antorcha al metal tratado son absorbidos en el metal fundido y emitidos cuando ocurre la solidificación.

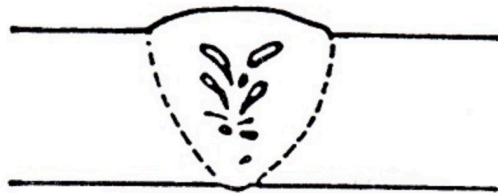


Ilustración 17.Porosidad

4.5 | RESULTADO FINAL DE LAS PIEZAS



Ilustración 18.RESULTADO FINAL DE LAS PIEZAS

Esta imagen muestra la primera pasada de la soldadura, por el espesor de la chapa es necesario una segunda pasada para uno resultado óptimo. Pese a la complejidad de la técnica el resultado es más que aceptable para el estudio, no existe falta de penetración y el cordón tiene un aspecto uniforme. Después de la segunda pasada de material se desbastará el cordón para dejarlo uniforme.

5 | CORTE DE PIEZAS

Para realizar el ensayo de tracción debemos dividir las chapas en varias probetas de menor tamaño.

5.1 | EQUIPO Y MÉTODO EMPLEADO

Tratándose de chapas de fundición de 5 mm de espesor para crear las probetas usamos la sierra de accionamiento manual refrigerada con taladrina para realizar un corte sencillo y preciso.



Ilustración 19. Sierra de accionamiento manual

5.2 | DIMENSIONES DE LAS PROBETAS

De cada chapa soldada cortaremos 4 probetas de 15 mm de ancho para realizar el estudio a tracción, y 1 probeta de 10 mm para realizar las micrografías y el ensayo de dureza.

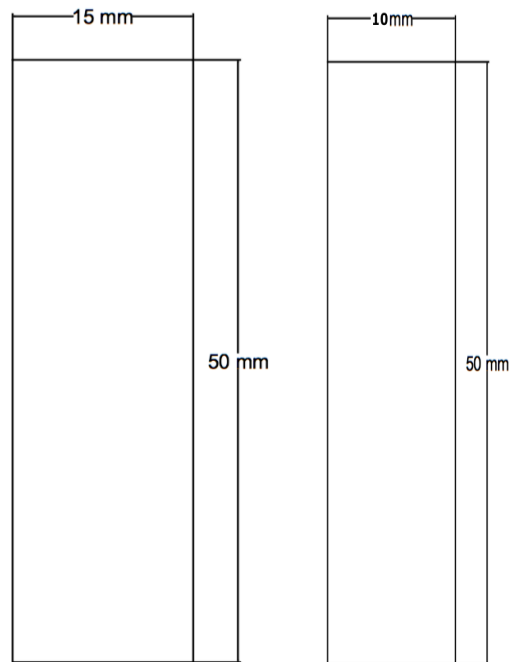


Ilustración 20. Dimensión de probetas

5.3 | SISTEMA DE ACTUACIÓN

Lo primero que haremos será marcar con un rotulador la chapas con las medidas anteriormente descritas. Una vez marcadas ajustaremos las mordazas y cortaremos con la sierra de accionamiento manual las probetas.

6 | ENSAYO A TRACCIÓN

El ensayo destructivo más importante para conocer las cargas que puede soportar un material es el ensayo de tracción. Este ensayo consiste en sujetar una probeta del material correspondiente por sus extremos con dos mordazas, una fija y otra móvil, la segunda aplicará un esfuerzo en sentido axial que deformará la probeta hasta que se alcance la rotura del material. Y al mismo tiempo que se aplica el desplazamiento de la mordaza móvil se va cuantificando la carga que resiste.

Tensión de rotura

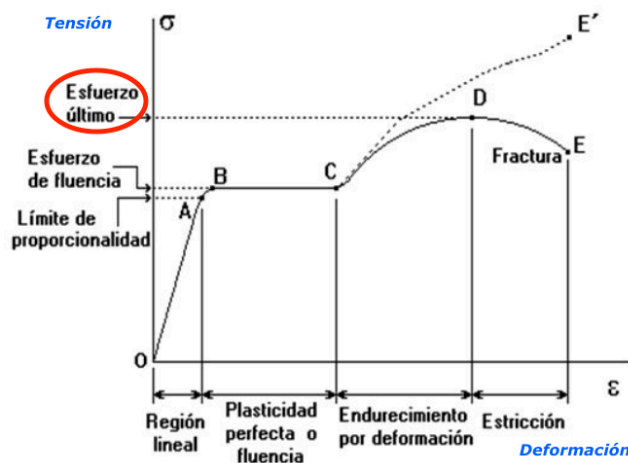


Ilustración 21. Tensión de rotura

Se denomina tensión de rotura a la máxima tensión que un material puede soportar antes de que su sección transversal se contraiga hasta la rotura.

La tensión de rotura se obtiene generalmente al realizar un ensayo de tracción y registrar la tensión en función de la deformación. El punto situado en la zona más elevada de la curva tensión-deformación es la tensión de rotura. La ecuación utilizada para hallar dicha tensión de rotura es:

$$\sigma_r = \frac{Fr}{A}$$

Fr: Carga máxima que puede soportar la probeta.

A: Área inicial de la sección transversal de la probeta.

Ecuación 1. Tensión de rotura

σ_r : Tensión de rotura del material.

Módulo de Young

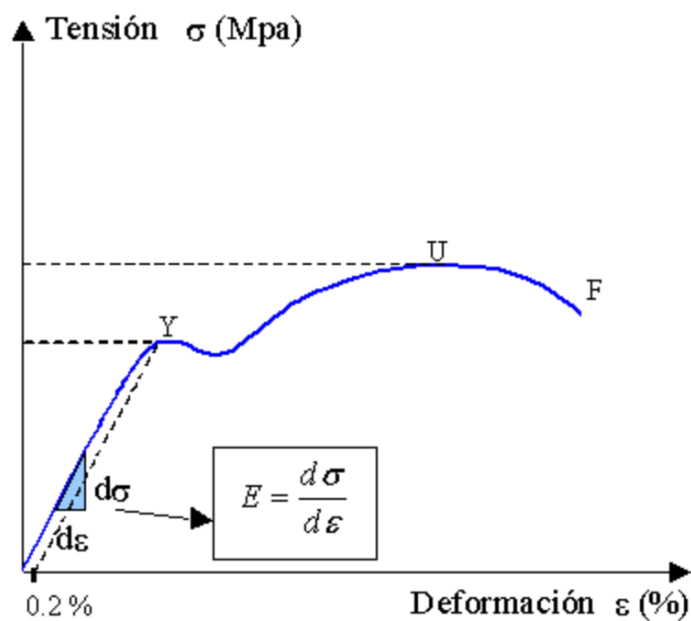


Ilustración 22. Módulo de Young

Se conoce como módulo de Young al parámetro característico de cada material el cual indica la relación entre el aumento de tensión y los incrementos de deformación longitudinal unitaria. Este módulo de elasticidad se puede mantener constante durante toda la zona elástica del material indicando un comportamiento lineal. Las unidades del módulo de Young en el sistema internacional son Pascales. Este módulo indica la rigidez de un material, cuanto mayor es su rigidez mayor es su módulo.

$$E = \frac{F_e \cdot l_0}{\Delta l \cdot A}$$

Ecuación 2. Módulo de Young

Fe: Carga elástica.

Lo: Longitud inicial de la probeta.

Δl: Diferencia entre longitudes.

A: Sección de la probeta.

Alargamiento

El alargamiento o elongación, es una magnitud que mide el incremento de longitud que experimenta un material cuando se somete a un esfuerzo de tracción antes de llegar a la rotura de este. Este incremento de longitud se mide en porcentaje respecto a la longitud inicial. Este proceso se suele estudiar en materiales dúctiles ya que pueden deformarse sin llegar a la rotura, en cambio los materiales frágiles apenas se deforman antes de romperse.

$$\%EL = \left(\frac{Lf - Lo}{Lo} \right) \times 100$$

Ecuación 3. Alargamiento

EL: Coeficiente de elongación en %.

Lf: Longitud final de la probeta.

Lo: Longitud inicial de la probeta.

6.1 | EQUIPO Y MÉTODO EMPLEADO

Para realizar el ensayo de tracción utilizaremos una máquina la cual consta de dos cabezales con una mordaza en cada cabezal para amarrar la probeta correspondiente. El cabezal superior es fijo mientras que el inferior puede moverse verticalmente. La máquina empleada es una máquina universal de ensayo Ibertest, la cual gracias a su software obtendremos todos los resultados al instante.



Ilustración 23.MAQUINA ENSAYO DE TRACCIÓN

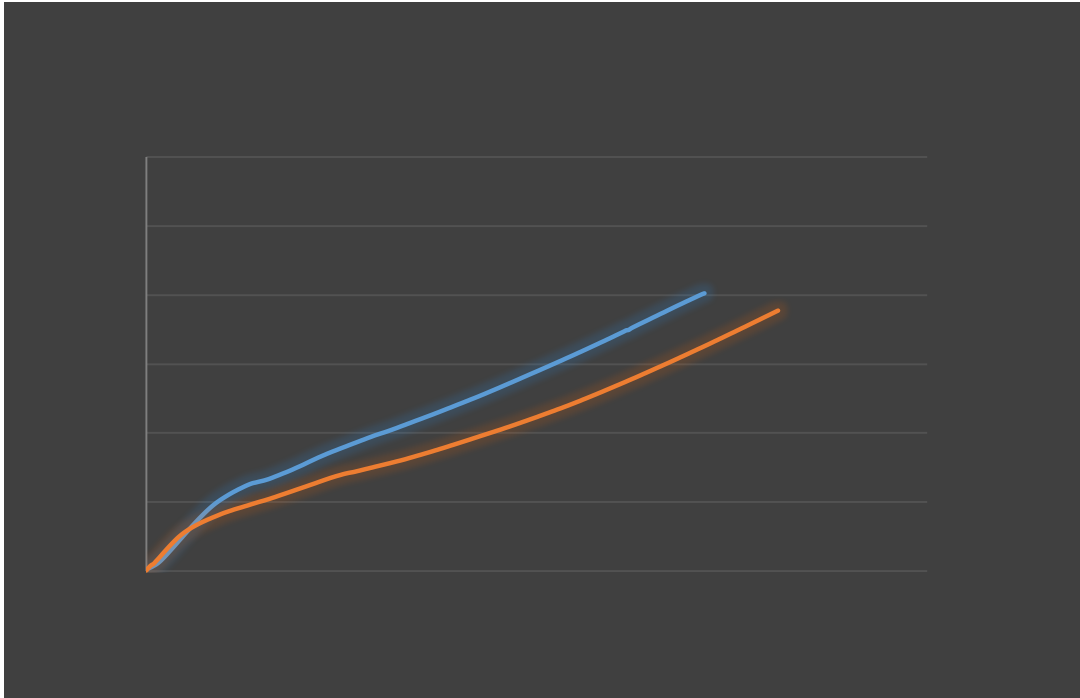
6.2 | SISTEMA DE ACTUACIÓN

Una vez tenemos todas las probetas cortadas en las dimensiones requeridas se introducirán en la máquina y se justaran con las mordazas adecuadas para que el amarre sea correcto para las probetas de 1.5 mm de espesor y se procederá a ensayarlas a tracción.

Estudiaremos cuatro probetas de cada tipo de tratamiento con la maquina arriba expuesta y después para simplificar la comparación entre estos sacaremos la media de sus resultados.

6.3 | RESULTADOS

En los tres ensayos vemos como las probetas no han roto a causa de un defecto de soldadura, puesto que han roto por lugares diferentes. En su mayoría han roto por la zona de transición que es la más dura, y por tanto la más frágil. En todas las probetas se ha producido una fractura frágil por lo tanto la tensión de rotura es prácticamente igual a la elástica. Las probetas con el precalentamiento han demostrado ser las que mayor tensión de rotura alcanzan y mayor deformación experimentan.



Gráfica 1. ENSAYO TRACCIÓN STT

	1	2	3	4	Media	
Tensión de rotura	201,22	188,63	271,32	165,69	206,715	MPa
Carrera máxima	2,14	2,42	2,75	2,08	2,45	mm
Fuerza máxima	15,091	14,148	20,349	12,427	15,50375	kN
Long. Final	52,72	53,78	54,25	53,43	53,545	mm

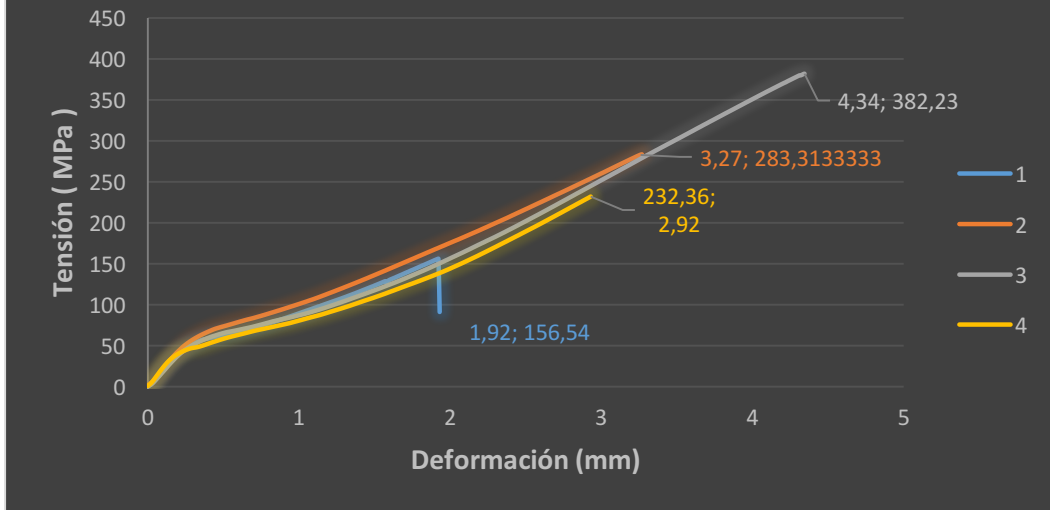
Tabla 1. ENSAYO TRACCIÓN STT



Ilustración 24. PROBETAS STT

Todas las gráficas dibujan una forma muy similar, característica de una fractura frágil, pero sí que existe diferencia en la carga que han soportado cada una hasta llegar a rotura (de 165 hasta 271MPa).

Pre calentamiento 450°C



Gráfica 2. ENSAYO TRACCIÓN 450°C

	1	2	3	4	Media	
Tensión de rotura	156,54	283,7	382,23	232,36	299,43	MPa
Carrera máxima	1,92	3,27	4,34	2,92	3,11	mm
Fuerza máxima	11,74	21,278	28,667	17,427	22,457	kN
Long. Final	52,72	53,78	54,25	53,43	53,82	mm

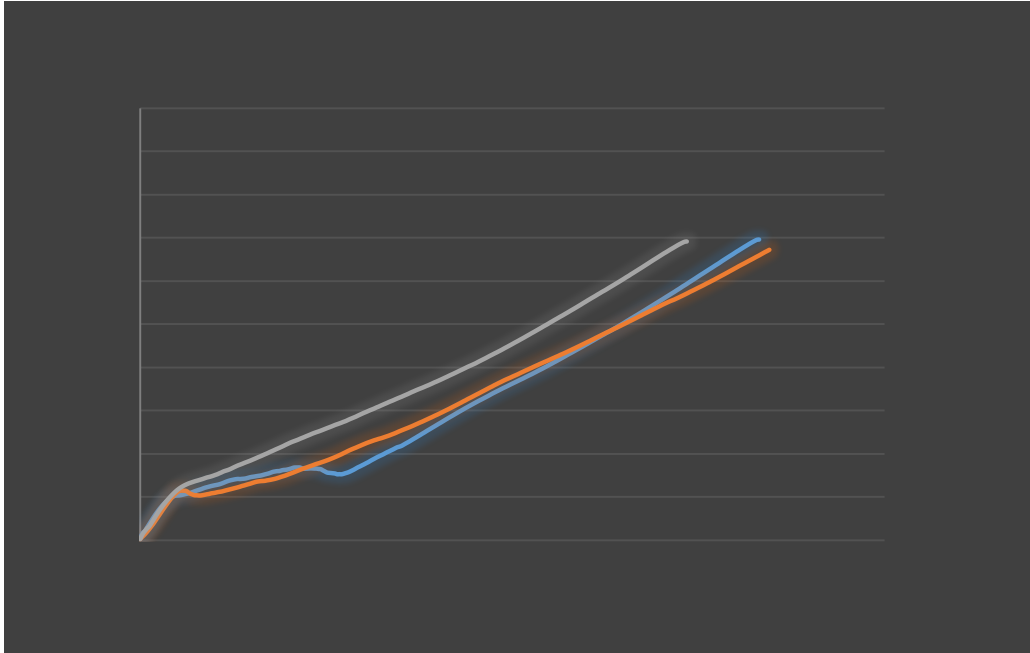
Tabla 2. ENSAYO TRACCIÓN 450°C



Ilustración 25. PROBETAS 450°C

No tendremos en cuenta los resultados de la probeta 1, ya que en la foto se aprecia cómo ha roto por un defecto de soldadura.





Gráfica 3. ENSAYO TRACCIÓN 900°C

	1	2	3	4	Media	
Tensión de rotura	139,11	134,29	138,11	183,14	148,66	MPa
Carrera máxima	2,49	2,53	2,20	2,46	2,42	mm
Fuerza máxima	10,433	10,072	10,358	13,735	11,1495	kN
Long. Final	52,1	52,51	52,53	52,74	52,47	mm

Tabla 3. ENSAYO TRACCIÓN 900°C



Ilustración 26. PROBETAS 900°C

Este tratamiento es el que menor resistencia a rotura ha soportado y aún así el alargamiento experimentado por las probetas ha sido inferior a las precalentadas y muy similar a las que no se les ha aplicado ningún tratamiento.

7| MICROGRAFÍA

7.1| METALOGRAFÍA.

La metalurgia es la disciplina de la metalurgia la cual, a través de diversas técnicas, estudia la estructura de un metal o una aleación relacionándola con sus propiedades físicas, mecánicas y químicas.

El estudio micrográfico se realiza sobre una probeta pulida y posteriormente atacada químicamente con un reactivo para poder observar con claridad los diferentes tamaños de grano.

Procedimiento

Para un correcto análisis microscópico se debe empezar por conseguir una óptima calidad del acabado a nivel macroscópico.

Los pasos a seguir son los siguientes:

- 1. Selección del lugar y extracción de la muestra.**
- 2. Montaje de la probeta.**
- 3. Desbaste.**
- 4. Pulido.**
- 5. Ataque.**
- 6. Observación microscópica.**

7.1.1|SELECCIÓN DEL LUGAR Y EXTRACCIÓN DE LA MUESTRA.

La zona afectada por la soldadura es la del cordón, por lo tanto realizaremos un par de cortes a cada probeta obteniendo una sección en la cual podamos estudiar con la misma probeta el material base, la zona de transición y el cordón de soldadura.

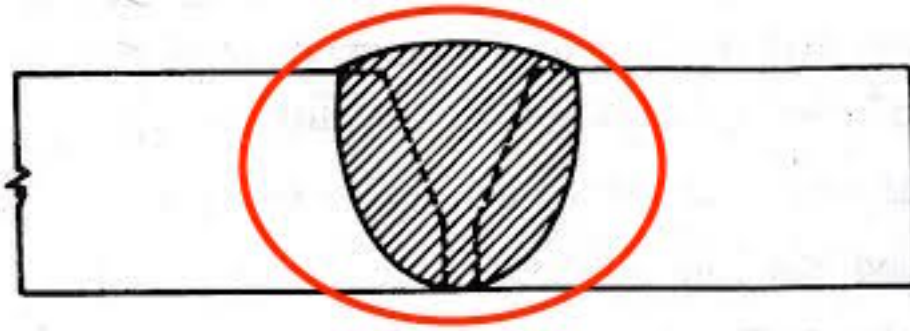


Ilustración 27.Zona Estudiada

Para realizar el corte usamos de nuevo la sierra de accionamiento manual ya usada para el corte de probetas, por su facilidad de ajuste y la calidad del acabado.

7.1.2 | MONTAJE DE LA PROBETA.

Las probetas las conformaremos con un material termoendurecible con a la sección cortada anteriormente en su interior. El proceso se realiza introduciendo la pieza a estudiar junto al compuesto termoendurecible (TransOptiec en nuestro caso) en una prensa con calefactor, concretamente una máquina para embutir Struers LabolPress-3.



Ilustración 28. Máquina de embutición y compuesto termoendurecible

Usaremos un porta piezas para introducir en el alojamiento de la embutidora la pieza que queremos estudiar. La cara que queremos ensayar la colocaremos hacia abajo para que quede enrasado con el material, Posteriormente, pondremos la cantidad necesaria de compuesto hasta cubrir por completo la pieza. Una vez cubierta se cierra el tapón de la máquina y comienza el proceso. Primero se calienta durante 7 minutos, y durante otros 7 minutos se le aplica una fuerza de 15 kN y se deja enfriar. Una vez finalizado el proceso obtendremos un cubilete transparente con la cara a estudiar enrasada con el material, como se aprecia en la foto inferior.



Ilustración 29. Ejemplo de Cubilete

7.1.3 / DESBASTE Y PULIDO

En nuestro estudio hemos optado por realizar el desbaste de manera mecánica, donde el papel de lija está pegado a un disco metálico que puede girar hasta 600 rpm. Cada vez que cambiemos de lija giraremos la probeta 90° con el objetivo de producir rayas perpendiculares y de esta manera tener constancia de cuando hemos eliminado la totalidad de las rayas causadas por la lija anterior.

Habremos finalizado el desbaste cuando la cara queda completamente plana con rayas muy finas por la superficie que han sido producidas en un solo sentido por el papel de lija de mayor número de grano.

En este proceso hemos utilizado una desbastadora Struers LaboPol- 21 con un papel de lija de 200 de grano para el desbaste más grueso y otras dos de 500 y una última de 1000 de grano para las rayas más finas.



Ilustración 30. Desbastadora LaboPol-21

Una vez no podamos eliminar más rayas mediante el desbaste procedemos al **pulido**, en el cual gracias a un paño de pulido y pasta de diamante de $3\mu\text{m}$ y $1\mu\text{m}$ eliminamos rayas que no se aprecian a simple vista.

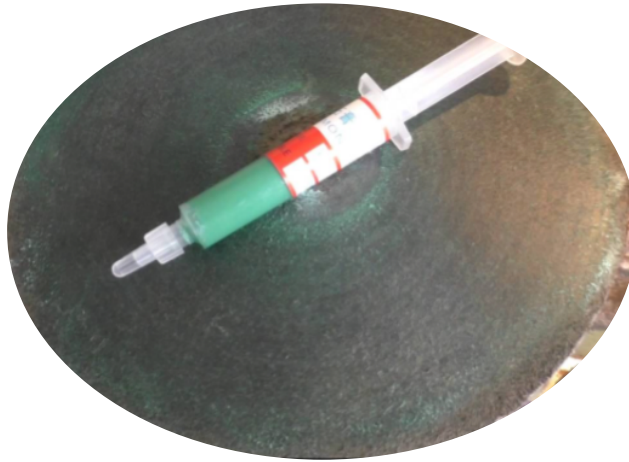


Ilustración 31. Disco de pulido y pasta de diamante

7.1.4/ ATAQUE

El ataque el último proceso que realizaremos antes de la observación microscópica. Este sirve para poner en evidencia la estructura del metal en cuestión.

Para nuestro estudio hemos escogido el ataque químico con Nital, una solución de alcohol y ácido nítrico.

Este tipo de ataque se realiza sumergiendo en un reactivo un par de segundos la muestra con la cara pulida hacia. Inmediatamente después se lava la probeta con agua, se enjuaga con alcohol y se seca en corriente de aire caliente.

El ataque químico se basa en la distinta velocidad de disolución de los constituyentes metalográficos de nuestra muestra en el reactivo usado. El constituyente que se ataque con mayor velocidad se verá más oscuro al

microscopio mientras que el menos atacable se verá más brillante.

Si el tiempo de exposición al reactivo es demasiado extenso corremos el riesgo de sobreatacar la muestra y pueden aparecer manchas, taparse la estructura o producirse figuras de corrosión. En tal caso deberemos volver a pulir la muestra.

7.1.4 | OBSERVACIÓN MICROSCÓPICA

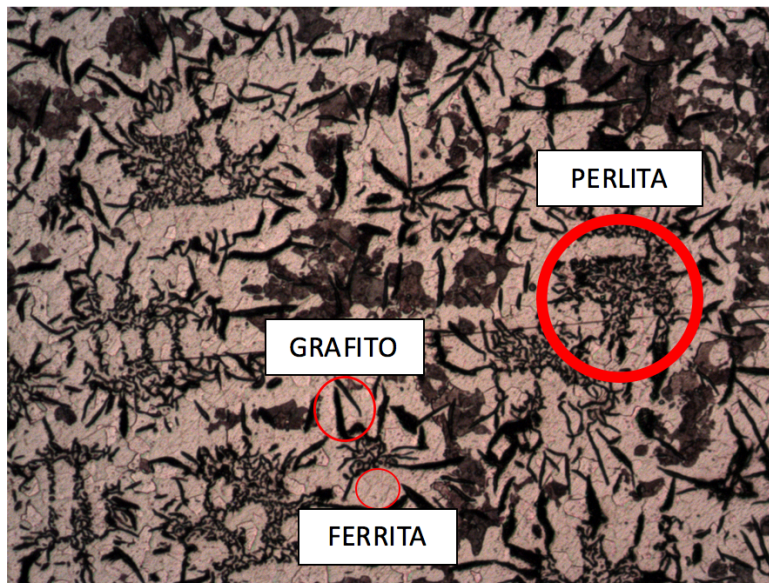
Con la observación microscópica observaremos las estructuras de las muestras, el tamaño de grano tanto en el cordón de soldadura como en el metal base.

Empezaremos nuestro estudio empleando un microscopio metalográfico de 50x aumentos para cerciorarnos que no han quedado rayas tras el pulido. Posteriormente pasamos a estudiar las estructuras utilizando los aumentos 100x y 400x para ver más en detalle. Dicho microscopio tiene un alojamiento para colocar una cámara con la que se realizarán las micrografías que se muestran más abajo. La cámara en cuestión es una Nikon FX35.

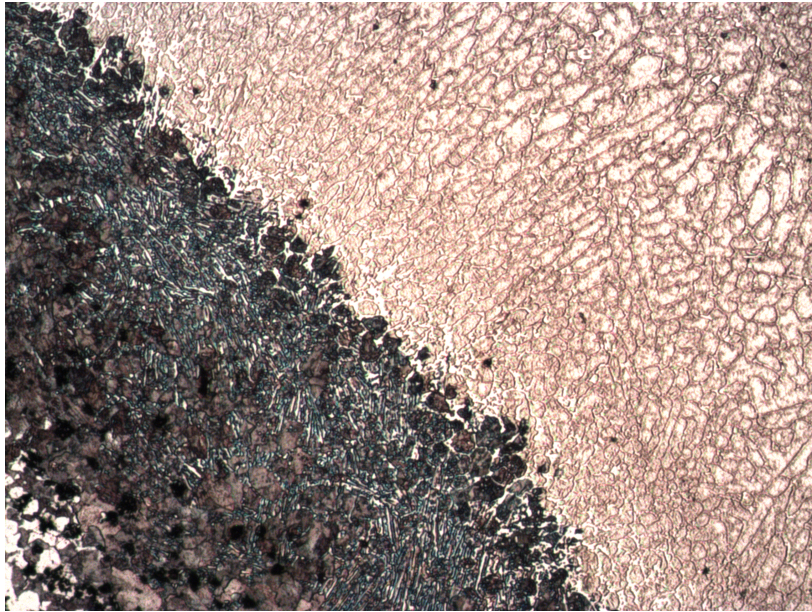
7.2 | RESULTADO

En las micrografías observamos como el metal base, se trata de una fundición gris laminar de matriz perlítica, estas difieren de las fundiciones blancas en que en su microestructura aparecen copos de grafito formados durante el proceso de solidificación en una matriz perlítica formada durante el enfriamiento a través de la transformación eutectoide.

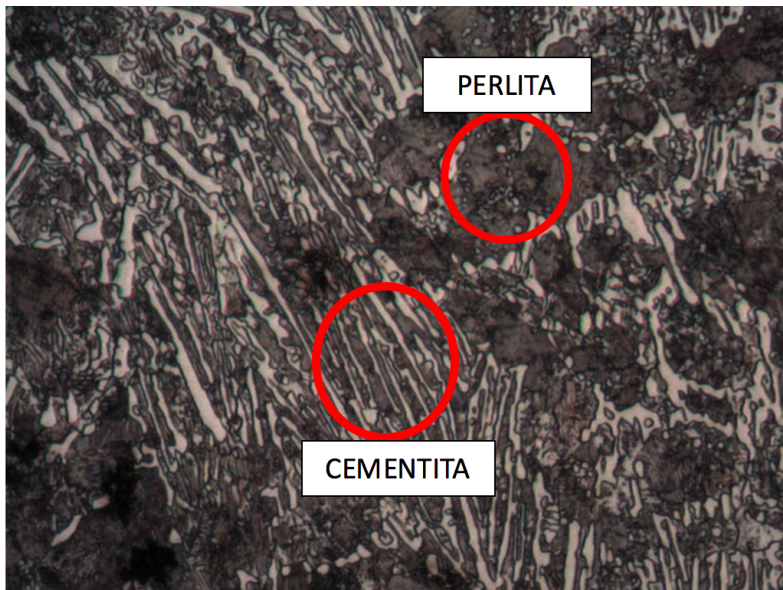
STT Metal Base x100



STT Transición x100

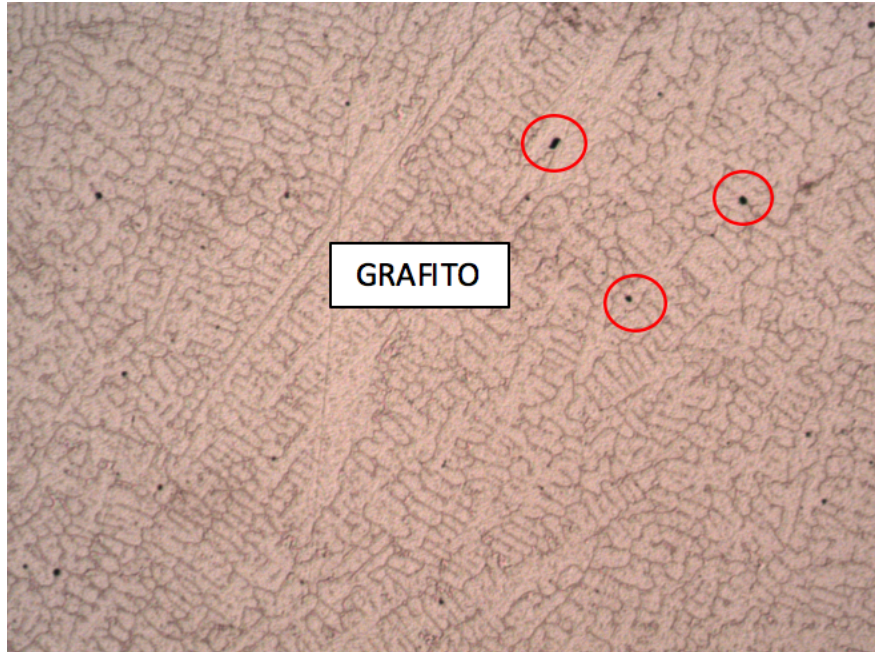


STT Transición x400



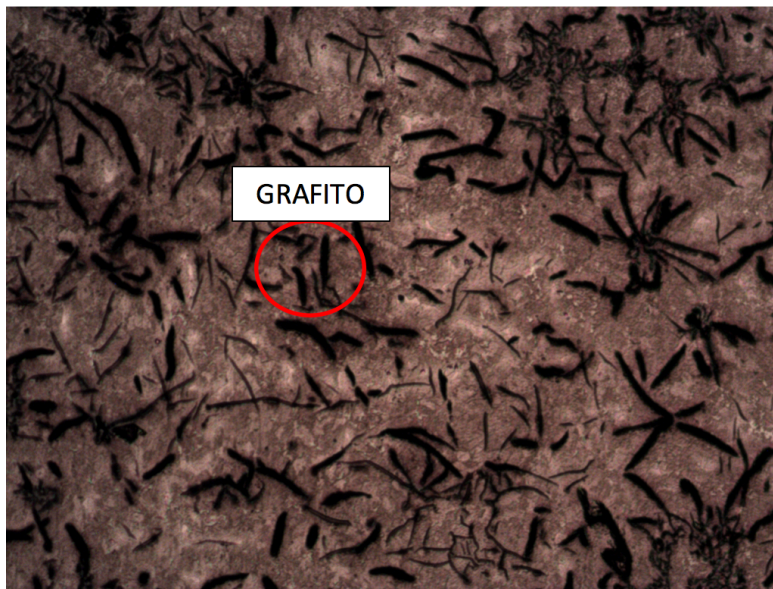
Fundición blanca; cementita columnar con matriz perlítica

STT Soldadura x100



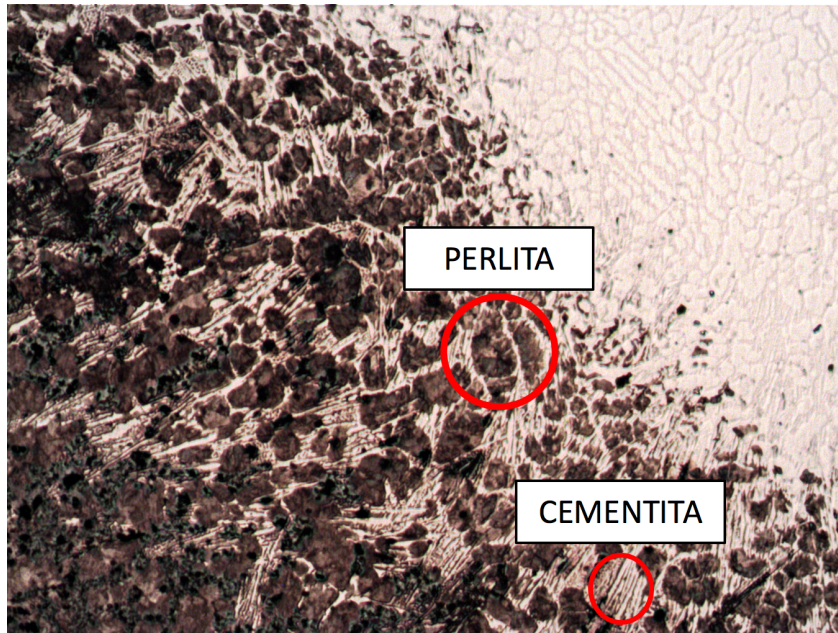
Matriz austenítica con nódulos de grafito esferoidal

Pre calentamiento 450° Metal Base x100



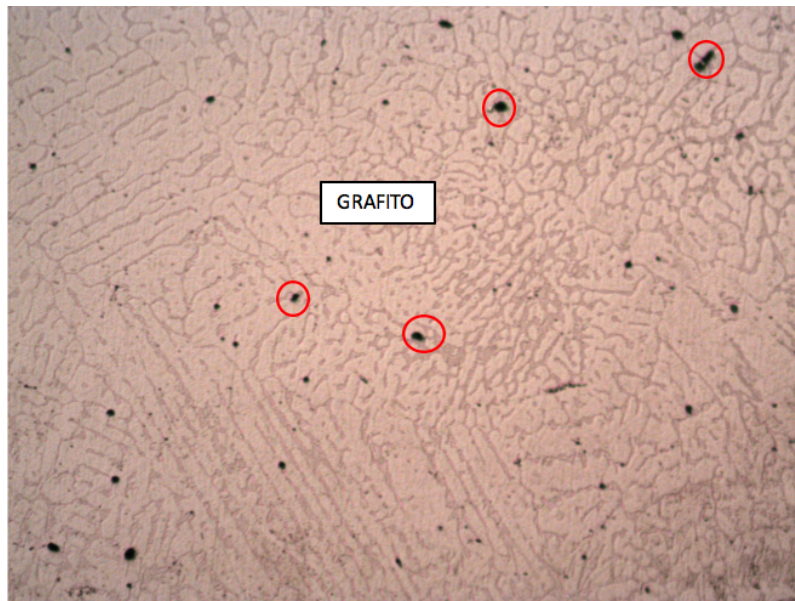
Grafito laminar en matriz perlítica

Precalementamiento 450° Transición x100



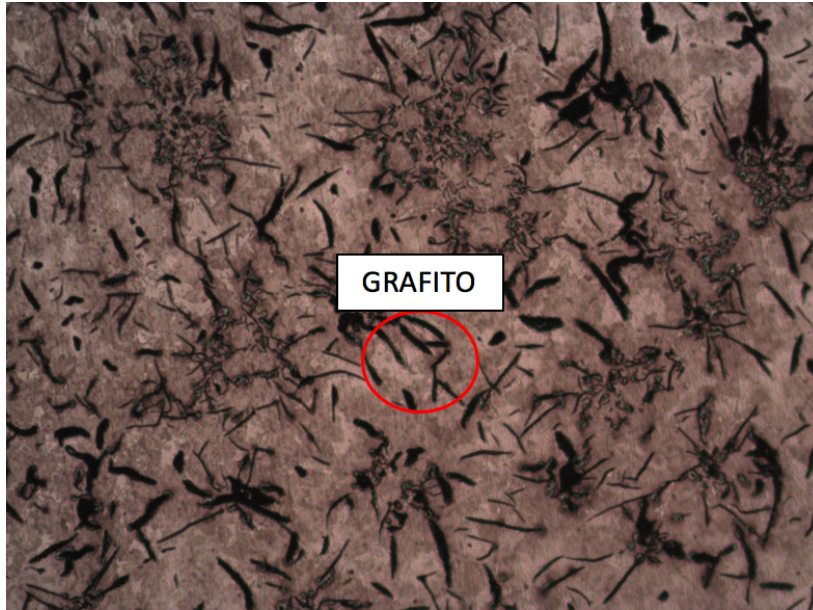
Fon. Blanca; Cementita acicular con matriz perlítica

Precalementamiento 450° Soldadura x100

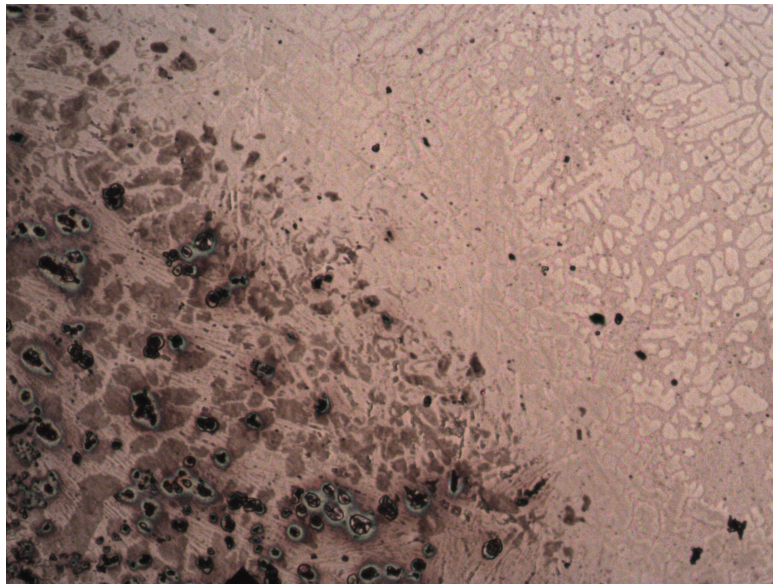


Matriz austenítica con nódulos de grafito esferoidal de mayor tamaño que en la muestra sin tratamiento térmico.

Recocido 900° Metal Base x100

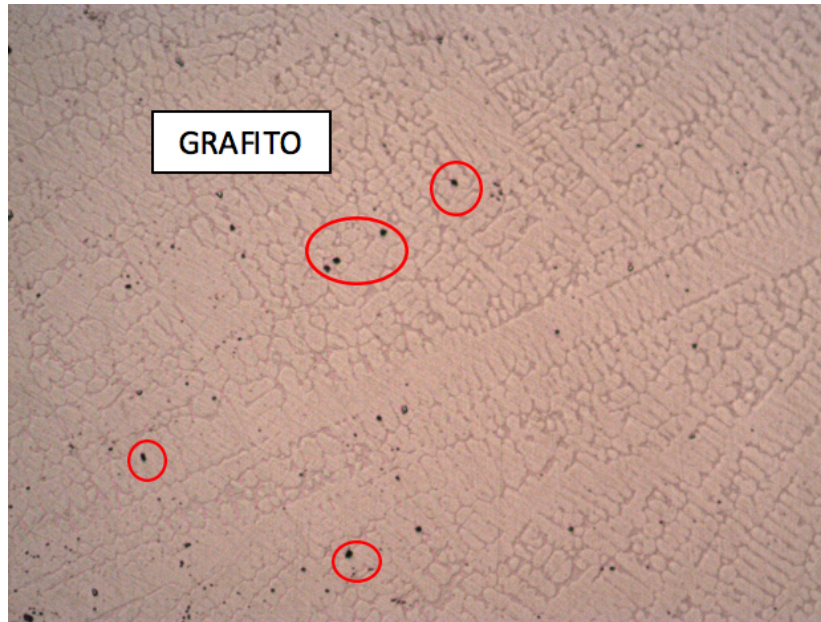


Recocido 900° Transición x100



Estructura perlítica con matriz ferrítica, desaparece la cementita de en esta estructura.

Recocido 900° Soldadura x100



En esta estructura el grafito está repartido de manera más uniforme y tiene un tamaño menor a la muestra con precalentamiento pero mayor a la muestra sin tratamiento térmico.

8 | ENSAYO DE DUREZA

8.1 | DUREZA

Se conoce como dureza de un material a la resistencia que el material muestra contra la deformación permanente causada por la penetración de otro material de mayor dureza. La dureza no está relacionada con la resistencia mecánica de un material. El propósito de este ensayo es determinar la idoneidad de un material o el tratamiento al cual ha sido sometido.

Existen diferentes tipos de ensayos de dureza, la principal diferencia es que unos se basan en la medición de la profundidad de penetración del indentador (Rockwell) y otros en cambio miden el tamaño de impresión dejada por el penetrador (Vickers, Knoop y Brinelli).

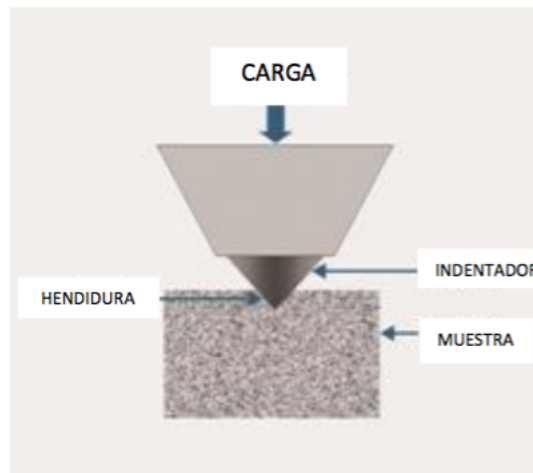


Ilustración 32. ENSAYO DE DUREZ

8.2 | MÉTODO Y EQUIPO EMPLEADO

Realizaremos este ensayo se con las mismas probetas que usamos en la micrografía pero antes de atacarlas. Para este estudio practicaremos el ensayo de dureza Vickers, el cual calcula la dureza midiendo las longitudes diagonales de una penetración realizada cuando se introduce un indentador piramidal de diamante con una carga determinada. Este ensayo deforma el material y altera sus propiedades. Para evitar posibles malinterpretaciones en los resultados de la dureza, debe existir una cierta distancia entre los penetradores según las normativas ASTM E384 y ISO 6507.

Las longitudes diagonales en los ensayos Vicker tiene que tener como máximo una diferencia de $\pm 5\%$, de no ser así, habría que descartar el ensayo. La máquina utilizada en este ensayo es el durómetro Innovatest, en la cual colocaremos la probeta y posteriormente elegiremos la carga que queremos aplicar (300g en nuestro caso), y por último procederemos a la penetración de la probeta con el indentador de diamante.

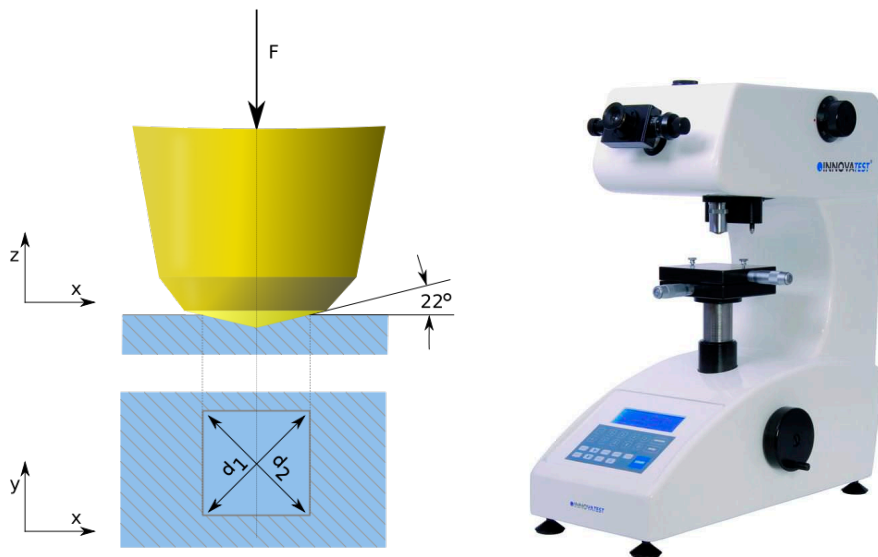
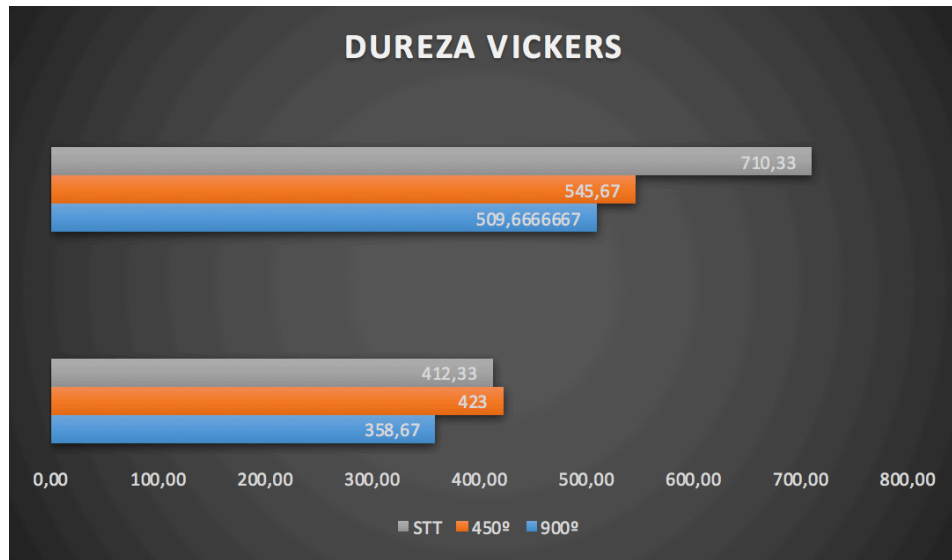


Ilustración 33. INDENTADOR Y DURÓMETRO

8.3 | RESULTADOS



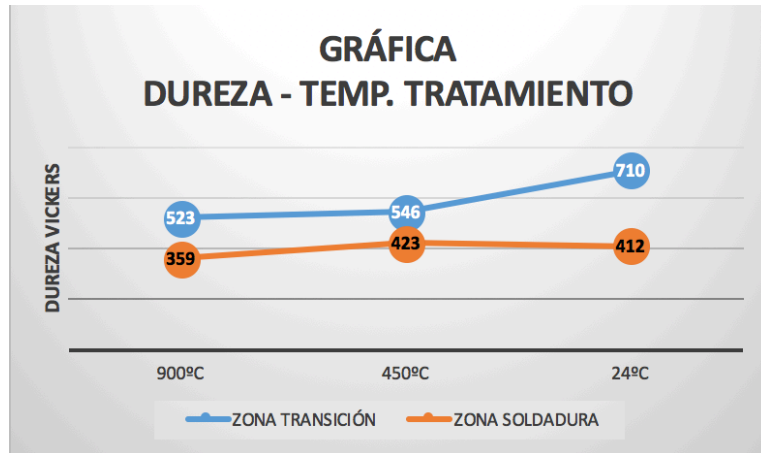
Gráfica 4. Resultado de Dureza

Analizando los resultados vemos, como era de esperar, que la probeta que no ha sido sometida a ningún tratamiento térmico posee una dureza notablemente mayor en la zona de transición, y por consiguiente también mayor fragilidad. En .Las muestras sometidas al precalentamiento de 450° previa soldadura tiene una dureza mayor a las sometidas al recocido de 900° en todas las zonas. Podemos decir que la dureza en la zona de transición es inversamente proporcional a la temperatura del tratamiento sometido.

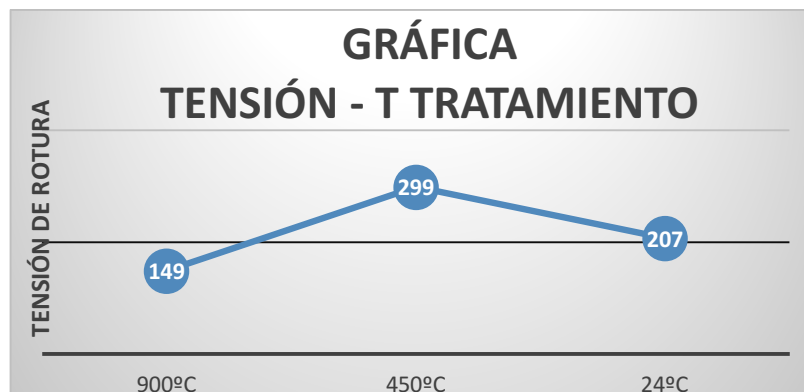
DUREZA			
	PUNTO	SOLDADURA	TRANSICIÓN
900	1	334	507
	2	366	499
	3	376	523
	MEDIA	358,67	509,6666667
450	1	419	548
	2	437	523
	3	413	566
	MEDIA	423	545,67
SIN TRATAMIENTO TÉRMICO	1	412	705
	2	409	710
	3	416	716
	MEDIA	412,33	710,33

Tabla 4. Resultado Durezas

9| CONCLUSIÓN



Gráfica 5. Dureza-Temperatura



Gráfica 6. Tensión-Temperatura

En vista de los resultados obtenidos, el tratamiento que nos ofrece un material más dúctil y de una dureza media es el precalentamiento a 450°C previo a la soldadura.

10 | PLIEGO DE CONDICIONES TÉCNICAS

El presente pliego de condiciones técnicas presenta todas las normas a seguir para la realización de las obras de este trabajo. Concretamente muestra: normativa seguida, máquinas y elementos de seguridad empleados.

10.1 | ELEMENTOS DE SOLDADURA

Maquinas y herramientas:

- Soldador TIG 170.
- Botella de gas Argón.
- Amoladora.
- Banco de trabajo.
- Sargento.

Elementos de seguridad:

- Botas de seguridad
- Bata de trabajo.
- Guantes de protección.
- Careta contra las radiaciones del arco eléctrico
- Caretas de picado de la escoria

Normativa seguridad:

- Hemos seguido la norma ASTM 380 para soldadura de aceros inoxidables.
- Hemos seguida la norma EN292 para la protección en la soldadura.

10.2 | CORTES DE PROBETAS

Máquinas y herramientas empleadas:

- Sierra de disco con accionamiento manual
- Cizalla manual.
- Tornillo de banco.

Elementos de seguridad:

- Gafas de protección.
- Guantes de protección.

Normativa seguridad:

- Hemos seguida la normativa NTP 153 para el uso de cizallas.

11.3 | ENSAYO DE DUREZA

Máquinas y herramientas empleadas:

- Durómetro INNOVATEST

Elementos de seguridad:

- Guantes de protección.

Normativa seguridad:

- Hemos seguida la normativa ATSM E10, descripción de método de ensayo para determinación de la dureza.

10.4 | MICROGRAFÍA

Máquinas y herramientas empleadas:

- Sierra de disco con accionamiento manual.
- Resina termoendurecible TransOptic (Polimetil Metacrilato)
- Máquina de embutición LabolPress-3.
- Desbastadora
- Hojas de lija (200, 500 y 1000)
- Pasta de diamante de 3 μ m
- Alcohol etílico.
- Acido oxálico.
- Secador
- Microscopio Nikon SMZ800
- Equipo para ataque electrolítico

Elementos de seguridad:

- Gafas de protección.
- Guantes de protección.

Normativa seguridad:

- Hemos seguido la normativa UNE-EN ISO 643:2013, determinación del tamaño del grano aparente en metales.

10.5 | ENSAYO DE TRACCIÓN

Máquinas y herramientas empleadas:

- Máquina universal de ensayo a tracción Ibertest
- Mordazas

Elementos de seguridad:

- Guantes de seguridad.
- Gafas de seguridad.

Normativa seguridad:

- Hemos seguido la normativa ASTM E8 para ensayos a tracción.

12 | PRESUPUESTO

12.1 | MATERIALES

Nº	Unidades	Cantidad	Material	Precio/unit	Importe Total
1	UN	6	Chapas de Fon. laminar	10€	60€
2	UN	4	VARILLAS DE ACERO AISI 304L	4€	16
3	UN	1	DISCO DESBASTE MIL HOJAS	5€	5€
4	UN	1	DISCO PULIDO MILHOJAS	15€	15€
5	L	3	TALADRINA	5€	15€
6	L	1	ALCOHOL ETÍLICO	4€	4€

7	L	20	GAS ARGÓN	11€	220€
8	L	0,5	NITAL	18€	9€

TOTAL MATERIALES 344€

12.2 | MANO DE OBRA

Nº	Unidades	Cantidad	Trabajo	Precio/Unit	Importe Total
1	H	0,5	PREPARACIÓN SOLDADURA	50€	25€
2	H	5	PROCESO DE SOLDADURA	50€	250€
3	H	1	DESBASTE AMOLDADORA	50€	50€
4	H	0,5	PULIDO AMOLDADORA	50€	25€
5	H	0,5	CORTADURA CON CIZALLA	50€	25€

6	H	0,5	PREPARACIÓN MAQUINA TRACCION	50€	25€
7	H	2	ENSAYO TRACCIÓN	50€	100€
8	H	1	CORTE DE PROBETAS	50€	50€
9	H	3	EMBUTICIÓN, DESBASTE Y PULDO DE PROBETAS	50€	150€
10	H	1,5	ENSAYO DE DUREZA	50€	75€
11	H	1	MICROGRAFÍA	50€	50
12	H	120	REDACCIÓN DEL ANÁLISIS	20€	2400€

TOTAL MANO DE OBRA 3225€

12.3 | MAQUINARIA EMPLEADA

Nº	Unidades	Cantidad	Máquina	Precio/Unit	Importe Total
1	H	5	EQUIPO DE SOLDADURA	5€	25€
2	H	1	AMOLDADORA	10€	10€
3	H	2	MAQUINA ENSAYO TRACCIÓN	50€	100€
4	H	1	DURÓMETRO	50€	50€
5	H	2	MICROSCOPIO	30€	60€
6	H	2	SIERRA DE DISCO	50€	100€

TOTAL MAQUINÁRIA DE OBRA 345€

13 | BIBLIOGRAFÍA

[1] Tipos de soldadura (*citado Junio 2017*).

Disponible en: [https://ilmo.es/soldadura-tig- mig-mag-por-puntos/](https://ilmo.es/soldadura-tig-mig-mag-por-puntos/)

[2] Acero inoxidable - EcuRed. (*Citado el Junio 2017*)

Disponible en:

https://www.ecured.cu/Acero_inoxidable#Utilizaci.C3.B3n

[3] Defectos de soldadura (*citado Junio 2017*).

Disponible en:

<https://ingemecanica.com/tutorialsemanal/tutorialn55.html>

[4] Ensayo de tracción (*citado Junio 2017*).

Disponible en: <http://www.areatecnologia.com/materiales/ensayo-de-traccion.html>

[5] Fundiciones Grises(*citado Junio 2017*).

Disponible en: <http://www.derematerialia.com/practicas-metalograficas/fundiciones-grises/>

[5] Fundamentos Soldadura (*citado Junio 2017*).

Disponible en:

<http://ingemecanica.com/tutorialsemanal/tutorialn40.html>

[6] Fundamentos Soldadura (*citado Junio 2017*).

Disponible en:

<http://www.interempresas.net/Sector-Automocion/Articulos/165066-Mecanizado-de-fundiciones-de-alta-resistencia.html>