

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE VALENCIA

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA DEL DISEÑO



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



Escuela Técnica Superior de Ingeniería del Diseño

PROYECTO FINAL DE CARRERA

**“CARACTERÍSTICAS MECÁNICAS Y MICROESTRUCTURALES
DE LA SOLDADURA DE FUNDICIÓN GRIS POR
PROCEDIMIENTO TIG CON APORTE DE VARILLA DE Ni AL
57 %, SOMETIDA A DISTINTOS TRATAMIENTOS
TÉRMICOS.”**

CAPÍTULO I	MEMORIA DESCRIPTIVA
CAPÍTULO II	PLIEGO DE CONDICIONES
CAPÍTULO III	PRESUPUESTO
CAPÍTULO IV	BIBLIOGRAFÍA

Alumno:

Javier Lizama Gran

Titulación:

Grado en Ingeniería Mecánica

Director de proyecto:

Manuel Pascual Guillamón

Codirector del proyecto:

Fidel Salas Vivente

Valencia, Septiembre del 2018

Capítulo I: Memoria descriptiva

1.1. Objeto del proyecto	
1.2. Antecedentes	2
1.2.1. Introducción.....	2
1.2.2. Elaboración.....	2
1.2.3. Componentes de la fundición.....	5
1.2.4. Tipos de fundición.....	7
1.3. Fundamentos	11
1.3.1. Fundición gris.....	11
1.3.2. Tipos de fundición gris.....	13
1.3.3. Diferencias entre fundición gris y fundición nodular.....	14
1.3.4. Ventajas de la utilización de las fundiciones grises.....	15
1.3.5. Aplicaciones.....	16
1.3.6. Tratamientos térmicos.....	17
1.3.6.1. Normalizado.....	18
1.3.6.2. Temple.....	18
1.3.6.3. Revenido.....	18
1.3.6.4. Recocido.....	19
1.3.6.4.1. Recocido de eliminación de tensiones.....	19
1.3.6.4.2. Recocido de ablandamiento.....	19
1.4. Procesos de soldadura	22
1.4.1. Introducción.....	22
1.4.2. Tipos de soldadura.....	22
1.4.2.1. Soldadura blanda.....	23

1.4.2.2. Soldadura fuerte.....	24
1.4.2.3. Soldadura sin fusión.....	25
1.4.2.4. Soldadura por fusión.....	25
1.4.3. Soldadura por arco eléctrico.....	28
1.4.4. Tipos de soldadura por arco eléctrico.....	30
1.4.4.1. Arco descubierto.....	30
1.4.4.2. Arco encubierto.....	30
1.4.5. Soldadura bajo gas protector con electrodo no fusible (TIG).....	31
1.4.6. Fundición gris sin tratamiento térmico.....	37
1.4.7. Fundición gris con recocido a 900 °C.....	38
1.4.8. Fundición gris con precalentamiento a 450 °C.....	39
1.4.9. Fundición gris con precalentamiento a 450 °C y recocido a 900 °C.....	39
1.5. Características mecánicas y microestructurales de la fundición.....	40
1.5.1. Descripción de la fundición gris en el presente proyecto.....	40
1.5.2. Metodología.....	41
1.5.3. Ensayo de dureza.....	48
1.5.4. Ensayo de tracción.....	51
1.5.5. Ensayo de flexión.....	61
1.6. Conclusiones.....	62

Capítulo II: Pliego de condiciones

2.1. Fenómenos producidos por el encendido del arco y transporte del material.....	63
2.2. Defectos producidos en el cordón por la longitud del arco.....	64
2.3. Acabado del extremo del electrodo.....	65
2.4. Contaminación del electrodo.....	66

2.5. Equipo de soldadura.....	67
2.6. Agentes químicos presentes en la soldadura.....	72
2.6.1. Procedentes del material base.....	72
2.6.2. Procedentes de las varillas de aportación.....	72
2.6.3. Procedente de la acción de la radiación ultravioleta del arco sobre el oxígeno del aire.....	72
2.7. Factores de riesgo más importantes.....	72
2.8. Prevención de riesgos.....	73
2.8.1. Medidas de reducción y control de riesgo.....	73
2.8.1.1. Ventilación por extracción localizada.....	73
2.8.1.2. Ventilación general.....	73
2.8.1.3. Medidas de mantenimiento del sistema de control técnico.....	74
2.8.1.4. Medidas de seguimiento del sistema de control técnico.....	74
2.8.1.5. Delimitación, señalización y restricción de acceso.....	74
2.8.1.6. Medidas específicas para espacios confinados.....	74
2.8.2. Medidas de protección individual.....	75
2.8.2.1. Protección individual respiratoria.....	75
2.8.2.2. Protección personal.....	76
2.9. Ensayo de dureza bajo la norma UNE 7-054-73.....	79
2.10. Ensayo de tracción bajo la norma ASTM E8.....	79
2.11. Ensayo de flexión bajo la norma EN ISO 178.....	79
2.12. Norma UNE EN-ISO 3834-1.....	79

Capítulo III: Presupuesto

<i>3.1. Introducción.....</i>	<i>80</i>
<i>3.2. Cuadro de precios.....</i>	<i>80</i>
<i>3.3. Resumen del presupuesto final.....</i>	<i>82</i>

Capítulo IV: Bibliografía

<i>4.1. Bibliografía.....</i>	<i>83</i>
-------------------------------	-----------



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA

E.T.S. de Ingeniería del Diseño
Universitat Politècnica de València



Capítulo I: MEMORIA DESCRIPTIVA

CARACTERÍSTICAS MECÁNICAS Y MICROESTRUCTURALES
DE LA SOLDADURA DE FUNDICIÓN GRIS POR
PROCEDIMIENTO TIG CON APORTE DE VARILLA DE Ni AL
57% SOMETIDA A DISTINTOS TRATAMIENTOS TÉRMICOS

Memoria descriptiva

1.1 Objeto del proyecto

La finalidad de este proyecto consiste en realizar un estudio de la soldabilidad, microestructura y características mecánicas de la fundición gris obtenida por colada. Dicha aleación férrea es muy empleada para bancales, soportes, herramientas y en general para numerosas aplicaciones de la industria.

En primer lugar, se preparan las muestras metalográficas en el laboratorio para conseguir las dimensiones y el espesor requeridos para nuestro experimento. A continuación se sueldan todas las muestras mediante soldadura por procedimiento TIG (Tungsten Inert Gas) aplicando distintos tratamientos térmicos, que más adelante estudiaremos.

Una vez soldadas las chapas, se procede a analizar las diferentes microestructuras. Para ello necesitaremos embutir una pequeña muestra de la soldadura para poder estudiar su microestructura.

Por último procedemos al análisis del comportamiento de las diferentes soldaduras a través de ensayos normalizados de dureza, tracción y flexión que detallaremos más adelante.

En resumen, este proyecto consiste en resolver la problemática de la soldadura en la fundición gris muy empleada para aplicaciones en la industria, debido a sus cambios estructurales frágiles y duros por lo que se ha empleado para este proyecto chapas de 5 milímetros de espesor con varillas de Níquel al 57%.

1.2 Antecedentes

1.2.1. Introducción

Las fundiciones de hierro son aleaciones de hierro que contienen una cantidad de carbono que varía del 2 al 5%, cantidades de silicio del 2 al 4%, del manganeso hasta 1%, bajo azufre y bajo fósforo. Se caracterizan por que se pueden vaciar del horno al molde de arena y de esta manera obtener piezas de diferente tamaño y dificultad pero no pueden ser sometidas a deformación plástica. No son maleables ni dúctiles y son poco soldables pero sí mecanizables, relativamente duras y resistentes a la corrosión y al desgaste.

Debido a la mejora de las propiedades mecánicas, su bajo coste en relación con materiales como el acero y la facilidad de su obtención, las fundiciones han ampliado su campo de aplicaciones.

Las fundiciones tienen muchas aplicaciones dentro de la industria y sus ventajas más importantes son las siguientes:

- Se pueden fabricar piezas de diferente tamaño y complejidad.
- En su fabricación no se necesitan equipos ni hornos muy costosos.
- Absorben muy bien las vibraciones mecánicas.
- Elevada resistencia a la compresión y, para muchas aplicaciones, aceptable resistencia a la tracción.
- Son resistentes al choque térmico, a la corrosión y tienen buena resistencia al desgaste.
- Son más fáciles de mecanizar que los aceros.

1.2.2. Elaboración

La fundición es un proceso de producción de piezas metálicas a través del vertido de metal fundido sobre un molde hueco, hecho por lo general de arena. El principio de fundición es simple: se funde el metal, se vacía en un molde y se deja enfriar.

La fundición es un método antiguo que todavía se emplea en la actualidad, aunque se ha sustituido en cierta medida por otros métodos como el fundido a presión (método para producir piezas fundidas de metal no ferroso, en el que el metal fundido se inyecta a presión en un molde o troquel de acero), la forja (proceso de deformación en el cual se comprime el material de trabajo entre dos dados usando impacto o presión para formar la pieza), la extrusión (es un proceso de formado por compresión en el cual el metal de trabajo es forzado a fluir a través de la abertura de un dado para darle forma a su sección

transversal), el mecanizado y el laminado (proceso de deformación en el cual el espesor del material de trabajo se reduce mediante fuerzas de compresión ejercidas por dos rodillos opuestos).



Fig 1. Fabricación de la fundición gris.

En nuestro caso, la realización del proceso de fundición empieza lógicamente con el molde. La cavidad del molde debe diseñarse de forma y tamaño ligeramente sobredimensionado, esto permitirá que el metal se contraiga durante la solidificación y enfriamiento.

Cada metal sufre diferente porcentaje de contracción, por lo tanto si la presión dimensional es crítica la cavidad debe diseñarse para el material particular que se va a fundir. Los moldes se fabrican de varios materiales que incluyen arena, yeso, cerámica y metal. Los procesos de fundición se clasifican de acuerdo a los diferentes tipos de moldes.

Los moldes se pueden clasificar en función del contenido de arcilla en la arena (arena silícea o arena arcillosa) y según su porcentaje de humedad (arenas verdes o arenas secas).

Según su contenido de arcilla:

- **Arena silícea:** Es el material arenoso en el cual la arcilla se presenta en una cantidad inferior al 5% y que por este motivo debe mezclarse con un aglutinante apropiado.
- **Arena arcillosa:** Es el material arenoso en el cual la arcilla, que es el aglutinante, se presenta en una cantidad superior al 5%.

Según su porcentaje de humedad:

- **Arenas verdes o humedecidas:** Es el tipo que comúnmente se emplea. Las partes del moldeo se utilizan directamente después de fabricarlos y conserva la humedad original de las mezclas. El porcentaje de humedad está comprendido entre el 3 y el 8% y el porcentaje de arcilla puede estar entre el 4 y el 8%, este tipo de arena de fundición se emplea por su rapidez de fabricación y economía.

- **Arenas secas:** En este tipo de arenas, las partes del molde han sido secadas en una estufa para eliminar su humedad (generalmente a temperatura menor de 200 °C). Con este procedimiento se obtiene un molde más duro y resistente, se obtiene un mejor dimensionamiento de la pieza terminada y los moldes son menos propensos a agrietarse, romperse o formar soplos de gas.

Para producir la fundición, en primer lugar se calienta el metal a una temperatura lo suficientemente alta para transformarlo completamente al estado líquido, a continuación se vierte directamente por colada en la cavidad del molde. En un molde abierto, el metal líquido se vacía simplemente hasta llenar la cavidad abierta. En un molde cerrado, existe una vía de paso llamada sistema de vaciado que permite el flujo del metal fundido desde el exterior del molde hasta la cavidad (Figura 1), este es el más importante en operaciones de fundición.

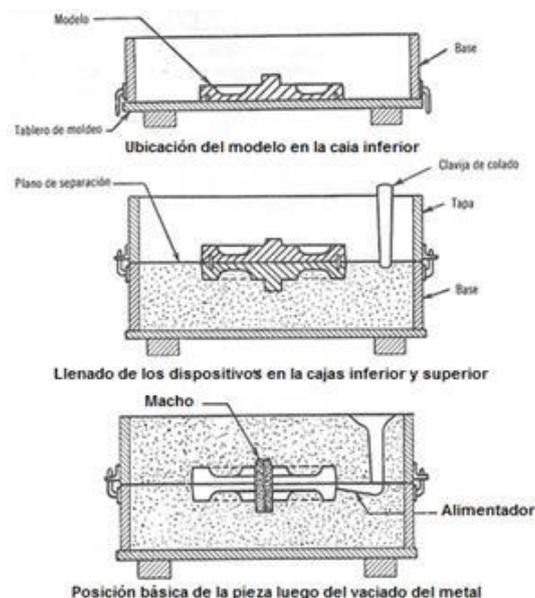


Fig 2. Molde para la fabricación de la fundición gris.

Cuando el material fundido en el molde empieza a enfriarse hasta la temperatura necesaria para el punto de congelación de un metal puro, empieza la solidificación que involucra un cambio en la fase del metal. Se requiere poco tiempo para completar este cambio de fase porque es necesario disipar una considerable cantidad de calor. El metal adopta la forma de la cavidad del molde y se establecen muchas de las propiedades y características de la fundición. Al enfriarse la fundición se remueve del molde, para ello pueden necesitarse procesamientos posteriores dependiendo del método de fundición y del metal que se utiliza. Entre ellos tenemos:

- El desbaste del metal excedente de la fundición.
- La limpieza de la superficie.

- Tratamiento térmico para mejorar sus propiedades.
- Pueden requerir mecanizado para lograr tolerancias estrechas en ciertas partes de la pieza para remover la superficie fundida y la microestructura metalúrgica asociada.

Para finalizar, se pueden resumir los pasos que hay que seguir para la formación de la fundición con el siguiente esquema:

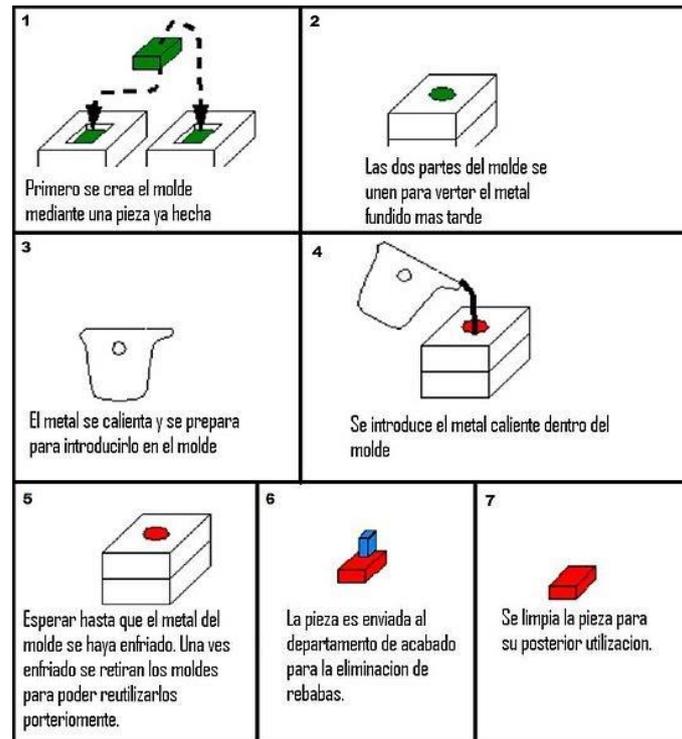


Fig 3. Resumen gráfico de la elaboración.

1.2.3. Componentes de la fundición

Las fundiciones se pueden clasificar debido a su composición y su constitución microscópica. Los constituyentes más importantes de las fundiciones son la cementita, la ferrita, la perlita (se forma a partir de la cementita y la ferrita), la steadita y el gráfita.

Cementita: La cementita es el componente más duro de los aceros al carbono. Es un compuesto intermetálico. No es una solución sólida de carbono en el Hierro, como la Ferrita o la Austenita. Cada átomo de carbono que no solubiliza la ferrita forma un carburo de hierro o cementita (Fe_3C). Su cristalografía ortorómbica es un poco más compleja, con doce átomos de hierro y cuatro de carbono por cada celda. Lo más importante es su gran dureza y su carácter frágil.

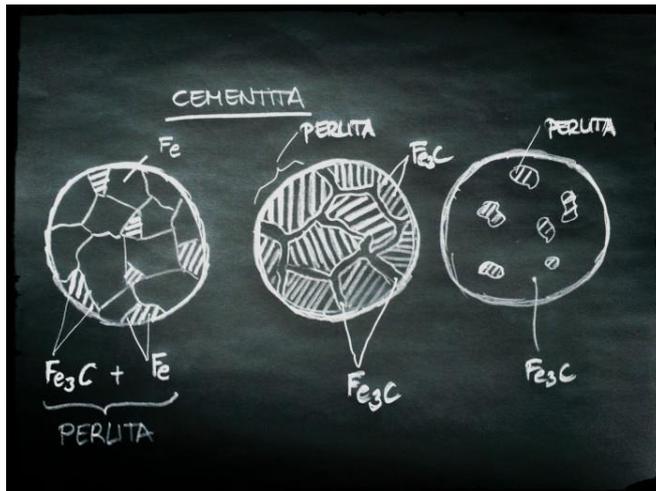


Fig 3. Microestructura de la Cementita.

Según vamos aumentando el porcentaje de carbono en el acero, aumenta la concentración de cementita.

Ferrita: El hierro puro admite muy poco porcentaje de carbono. La ferrita es la solución sólida del carbono dentro de la estructura cristalina del hierro puro. Este constituyente es blando, dúctil y maleable.

Perlita: Es un constituyente formado por láminas claras de ferrita y láminas oscuras de cementita. Sus propiedades se pueden considerar intermedias entre lo blando y dúctil de

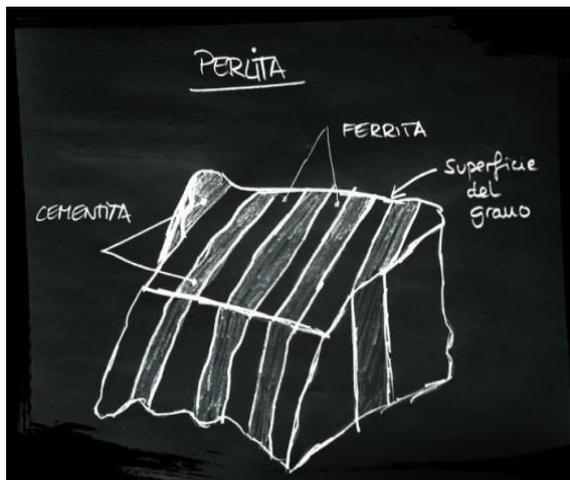


Fig 4. Microestructura de la Perlita.

Steadita: Es un constituyente de naturaleza eutéctica duro, frágil (300 a 350 Vickers) y de bajo punto de fusión (960°C), que aparece en las fundiciones de alto contenido en fósforo.

1. Cementita formando Perlita en un acero de bajo porcentaje de carbono.

2. Matriz de Perlita más Cementita en un acero de alto porcentaje de carbono.

3. Matriz de Cementita con glóbulos de Perlita en una fundición.

la ferrita y lo duro y frágil de la cementita. Su composición química es constante y definida y contiene aproximadamente seis partes de hierro y una de carbono. Aparece en general en el enfriamiento lento de la austenita. Según la velocidad de enfriamiento estas láminas aparecen más o menos juntas. La perlita fina aparece tras un tratamiento térmico de normalizado y la perlita gruesa aparece tras el recocido. En general la perlita es resistente y tenaz.

Grafito: Una de las formas en las que se presenta el carbono es el grafito. Su cambio en la estructura molecular hace que el grafito sea blando desprendiéndose en láminas o que sea el mineral más duro. El grafito aporta a las fundiciones propiedades mecánicas una alta conductividad térmica, amortiguación y autolubricación. Éste se puede presentar en las fundiciones de diversas formas: esferoidal (fundición nodular), laminar (fundición gris), o una mezcla de las dos (fundición vermicular). A continuación se muestran imágenes de estos tres tipos en los que el grafito se puede manifestar.

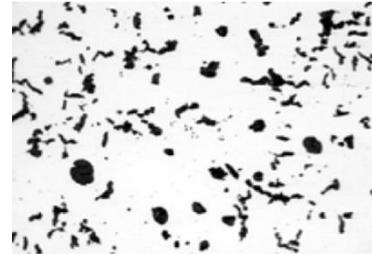
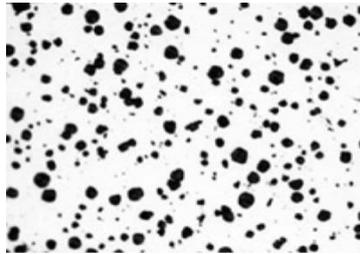
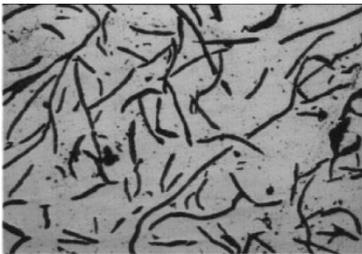


Fig 5. Fundición laminar

Fig 6. Fundición nodular

Fig 7. Fundición vermicular

1.2.4. Tipos de fundición

A continuación, se va a proceder a la descripción de los diferentes tipos de fundición que existen:

Fundición gris

La mayor parte del contenido de carbono en el hierro gris se da en forma de escamas o láminas de grafito, las cuales dan al hierro su color y sus propiedades deseables. Este tipo de fundición es fácil de mecanizar, tiene alta capacidad de templado y buena fluidez para el colado. A pesar de esto, las fundiciones grises son quebradizas y de baja resistencia a la tracción.



Fig 8. Microestructura de una fundición gris ferrítico perlítica.

En general, las fundiciones grises son las más utilizadas en la construcción mecánica. Por ejemplo, este tipo de fundición se utiliza en aplicaciones como bases o pedestales para máquinas, herramientas, bastidores para maquinaria pesada, bloques de cilindros para motores de vehículos, discos de freno, etc.

Fundición nodular

La fundición nodular, dúctil o esferoidal se produce en hornos cubilotes, con la fusión de arrabio y chatarra mezclados con coque y piedra caliza. La mayor parte del contenido de carbono en la fundición nodular tiene forma esferoidal. Para producir la estructura nodular, el hierro fundido que sale del horno se inocula con una pequeña cantidad de materiales como magnesio, cerio o ambos. Esta microestructura produce propiedades deseables como una alta ductilidad, resistencia, buen mecanizado, buena fluidez para la colada y buena tenacidad. No es tan dura como una fundición blanca salvo que la sometan a un tratamiento térmico, superficial, especial.

Este tipo de fundición se caracteriza porque en ella el grafito aparece en forma de esferas pequeñas y así la continuidad de la matriz se interrumpe mucho menos que cuando se encuentra en forma laminar, esto da lugar a una resistencia a la tracción y una tenacidad mayor que en la fundición gris. Este tipo de fundición se diferencia de la fundición maleable en que normalmente se obtiene directamente en bruto de la colada, sin necesidad de tratamiento térmico posterior.

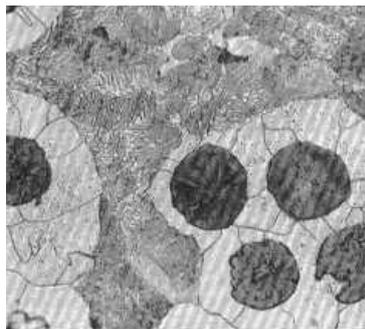


Fig 9. Microestructura de una fundición nodular ferrítico perlítica.

El contenido total de carbono de la fundición nodular es igual al de la fundición gris. Las partículas esferoidales de grafito se forman durante la solidificación debido a la presencia de pequeñas cantidades de magnesio o cerio, las cuales se añaden al caldero antes de colar el metal en el molde. La cantidad de ferrita presente en la matriz depende

de la composición y de la velocidad de enfriamiento. Las fundiciones nodulares perlíticas presentan mayor resistencia pero menor ductilidad y mecanizado que las fundiciones nodulares ferríticas.

Conforme avanzan los años, se están sustituyendo muchos elementos de máquinas que tradicionalmente eran de fundición gris o acero por fundición nodular debido a sus mejores características mecánicas.

Fundición blanca

En las fundiciones que no contienen la fase de grafito, todo el carbono se presenta en forma de cementita y perlita. Estas son las denominadas fundiciones blancas. Esta fundición responde perfectamente al diagrama de equilibrio de hierro-carbono (Fe-C). Para su formación, el contenido en carbono se limita entre un 2,5 a un 3% y, sobretodo, el contenido en silicio (Si), elemento que en mayor medida favorece a la formación de carbono libre en forma de grafito, entre un 0,5 a un 1,5%, además de imprimirle una elevada velocidad de solidificación que no facilite la formación de placas de grafito.

Estas fundiciones presentan una estructura fibrosa y de grano pequeño y son las que poseen una mayor resistencia al desgaste y a la abrasión, fundamentada en la gran cantidad de carburo de hierro que poseen, centrando en estas propiedades sus aplicaciones: camisas interiores de las hormigoneras, placas de revestimiento de molinos trituradores, zapatas para freno de ferrocarril, rodillos de laminado, etc. Su principal uso es como material de partida para la fabricación de fundiciones maleables.

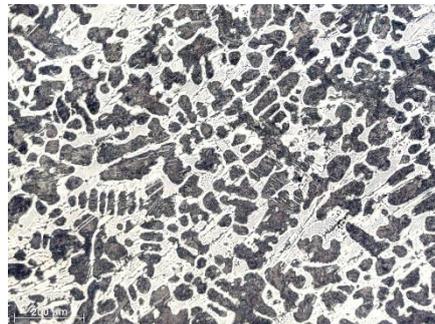


Fig 10. Microestructura de una fundición blanca hipoeutéctica.

Fundición maleable

Los hierros maleables son tipos especiales de hierros producidos por el tratamiento térmico de la fundición blanca. Estas fundiciones se someten a rígidos controles y dan como resultado una microestructura en la cual la mayoría del carbono está en la forma combinada de cementita. La fundición blanca se usa en cuerpos molidores gracias a su resistencia significativa al desgaste.

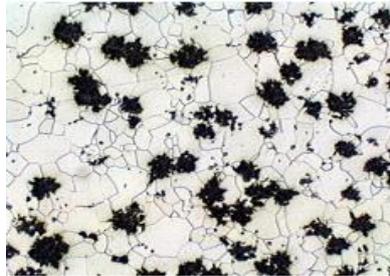


Fig 11. Microestructura de una fundición maleable ferrítica

Su gran velocidad de enfriamiento ayuda a evitar la formación de grafito aunque si se calienta la pieza colada a una temperatura de 870 °C, se forma grafito adoptando una forma característica denominada “carbono revenido”, dando como resultado la fundición maleable.

La matriz de la fundición puede ser ferrítica o perlítica si la aleación se enfría más rápidamente a partir de los 720 °C al final del tratamiento de maleabilización. Este tipo de fundiciones se utilizan en la producción de maquinarias.

Fundición atruchada

Las fundiciones atruchadas se caracterizan por tener una matriz de fundición blanca combinada parcialmente con fundición gris, dado que en este caso la aleación solidifica, en parte siguiendo el diagrama estable y, en parte, siguiendo el metaestable.

De ahí deriva que se denominen fundiciones atruchadas, porque presentan, simultáneamente, grafito y ledeburita, que le confiere su peculiar coloración moteada, parcialmente blanca y parcialmente gris. El carbono se encuentra en parte libre y en parte combinado, siendo difícil de mecanizar.

Este tipo de fundiciones se pueden dar en coladas de piezas pequeñas en fundición que era potencialmente gris. De esta forma, aunque el núcleo solidifique según el sistema estable, dando como resultado grafito, la parte exterior, debido a su rápido enfriamiento, puede solidificar metaestablemente dando ledeburita. En caso de que las piezas sean muy pequeñas, su proceso de enfriamiento será muy rápido y su estructura será totalmente blanca.

1.3 Fundamentos

1.3.1 Fundición gris

Características

Se denomina fundición gris a este tipo de fundición debido a que el aspecto de su fractura es de color gris, encontrando el carbono en alto grado o en su totalidad en estado libre en forma de grafito laminar. La mayoría de las fundiciones grises son aleaciones hipoeutécticas que contienen entre un 2,5 y un 4% de carbono. El proceso de grafitización se realiza con mayor facilidad si el contenido de carbono es elevado, las temperaturas son elevadas y si la cantidad de elementos grafitizantes presentes, especialmente el silicio, es la adecuada. Su peso específico ronda los 7/7,2 N/m³ teniendo una temperatura de fusión que varía dependiendo de la composición pero que su promedio es de 1200 °C.

En las fundiciones grises, el grafito adopta la forma de numerosas láminas curvadas, que son las que proporcionan a la fundición gris su característica fractura grisácea, si la composición y la velocidad de enfriamiento son tales que la cementita eutectoide también grafitice, presentará entonces una estructura totalmente ferrítica (Figura 12). Por el contrario, si se impide la grafitización de la cementita, la matriz será totalmente perlítica (Figura 13). La fundición gris constituida por mezcla de grafito y ferrita es la más blanda y la que menor resistencia mecánica presenta. La resistencia a la tracción y la dureza aumentan con la cantidad de carbono que existe, alcanzando su valor máximo en la fundición gris perlítica. En general, las fundiciones grises son más blandas que las fundiciones blancas.

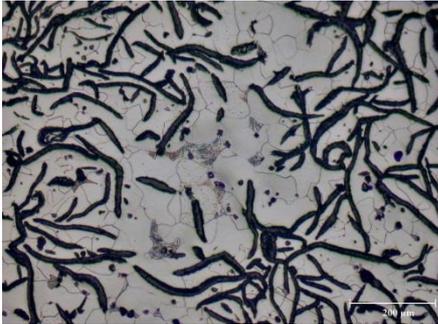


Fig 12. Estructura ferrítica.



Fig 13. Estructura perlítica.

Propiedades

- Resistencia a la tracción
 - La fundición gris tiene una carga de rotura a la tracción pequeña, en torno a los 15 kg/mm² y llega a los 30, 40 y 45 kg/mm² según sea su composición.
- Resistencia a la compresión
 - La resistencia a la compresión es mayor, y para las fundiciones grises resulta cerca de tres veces la resistencia a la tracción. Debido a esto, es aconsejable someter las piezas de fundición gris a esfuerzos de compresión antes que a los de tracción.
- Resistencia al choque
 - Las fundiciones grises son frágiles, por lo que no resisten muy bien a los choques. Esto es debido a que no sufren deformaciones plásticas.
- Dureza
 - La dureza de la fundición gris es relativamente elevada. Esta varía entre 140 a 250 Brinell según su composición.

- Resistencia química
 - La fundición tiene poca resistencia química y se deteriora con los ácidos, los álcalis y las oxidaciones.

- Otras propiedades
 - La fundición gris no es ni dúctil ni maleable. Se puede soldar al latón en la soldadura oxiacetilénica y en la eléctrica por arco. La fundición puede ser galvanizada en caliente, estañada y esmaltada al fuego.

1.3.2. Tipos de Fundición Gris

Las fundiciones grises se pueden clasificar de varias formas, pero una de las más usuales es la clasificación por la estructura de la matriz, clasificándola en: fundición gris perlítica, ferrítica o ferrito-perlítica.

Fundición gris perlítica

Su estructura está formada de perlita con inclusiones de grafito. Como ya sabemos, la perlita contiene un 0,8% de C, por consiguiente, esta unidad de carbono se halla en la fundición gris perlítica en forma de cementita. La cantidad restante se encuentra en estado libre, es decir, en forma de grafito. La fundición gris perlítica posee mayor dureza que los otros dos tipos de fundiciones (200-250 HB) y es utilizada cuando los requerimientos de resistencia son mayores. Su acabado es superior a otras calidades debido a su mayor cohesión estructural.

Fundición gris ferrítica

En esta fundición, la matriz es ferrita y todo el carbono que podemos hallar en la aleación se encuentra en forma de grafito. Se trata de una fundición más blanda que la perlítica (120-180 HB) y es recomendable para requerimientos de gran facilidad de

mecanizado, sin exigencias respecto a la resistencia a la tracción y al desgaste. Posee una alta conductividad térmica debido a su estructura ferrítica. Se obtiene por recocido.

Fundición gris ferrito-perlítica

La estructura de esta fundición está formada por ferrita y perlita e inclusiones de grafito. En esta fundición la cantidad de carbono ligado (es decir, en forma de cementita) es menor que el 0,8% de C. Este tipo de fundición tiene una dureza media (180-220 HB). Aconsejable para usos donde se requiera un equilibrio entre las características mecánicas y la facilidad de mecanizado.

1.3.3. Diferencias entre fundición gris y fundición nodular

Como ya sabemos, la forma del grafito en la fundición gris y en la nodular o esferoidal es diferente. Mientras que en la primera, el grafito tiene una forma laminar, en la segunda adopta la forma de esferas. Esta forma del grafito, se obtiene mediante la introducción controlada de magnesio en el hierro fundido y añadiendo bajas cantidades de azufre y fósforo. De este modo se obtiene una modificación en la microestructura del metal en la que el carbono se deposita en la matriz ferrítica en forma de esferas.

Esta diferencia de forma del grafito, aporta a la fundición nodular un apreciable aumento de la resistencia a la tracción. La resistencia elástica también es bastante alta en la fundición nodular. En cuanto a la capacidad de alargamiento, mientras que en la fundición gris se podría decir que es prácticamente nula, en la fundición nodular rebasa aproximadamente el 5%. La fundición nodular, desde un punto de vista mecánico, se comporta prácticamente como el acero. La figura 3 muestra la relación Tensión-Deformación correspondientes a la fundición gris y a la fundición nodular o de grafito esferoidal. Se observa que en la fundición nodular, hasta que se alcanza el límite elástico, las tensiones son proporcionales a las deformaciones. Mientras que en la fundición de gris de grafito laminar, la proporcionalidad entre las tensiones y las deformaciones sólo existe cuando la carga aplicada es pequeña y en cuanto aumenta la tensión se produce una deformación permanente.

RELACIÓN TENSIÓN DEFORMACIÓN DE LA FUNDICIÓN GRIS
Y LA FUNDICIÓN DE GRAFITO ESFEROIDAL

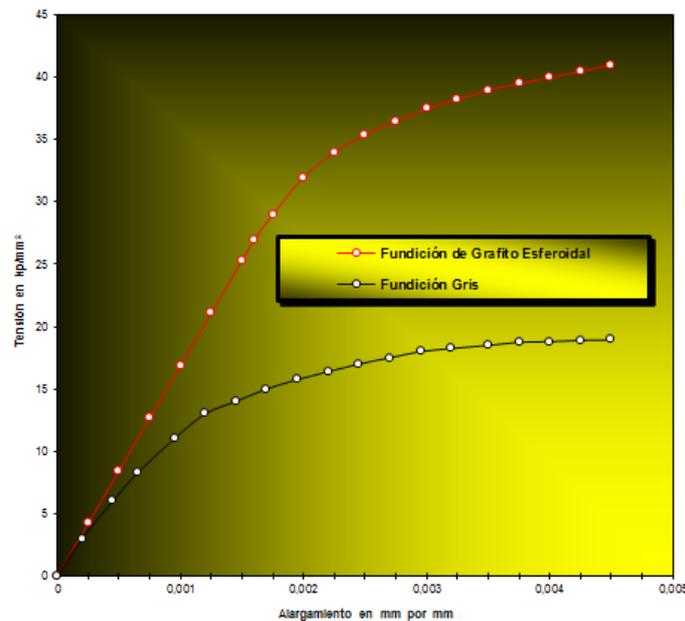


Fig 14. Comparación fundición gris y nodular.

En resumen, con la fundición nodular se pueden obtener piezas de mayor ductilidad, conservando la resistencia a tracción de la fundición gris y aumentando la resistencia al choque.

1.3.4. Ventajas de la utilización de las Fundiciones Grises

El empleo de la fundición gris respecto a otras aleaciones posee las siguientes ventajas:

- Las piezas obtenidas de la fundición gris son, en general, más baratas que las de acero (siendo el material que más se utiliza en los talleres y fábricas de maquinaria, motores, instalaciones, etc). Su fabricación es también más sencilla por emplearse instalaciones menos costosas y donde la fusión se realiza a temperaturas relativamente poco elevadas y más bajas que las correspondientes al acero.

- Las fundiciones grises, generalmente, son mucho más fáciles de mecanizar que los aceros.
- Con este tipo de fundiciones, se pueden fabricar con cierta facilidad piezas de grandes dimensiones así como piezas pequeñas y complicadas las cuales se pueden obtener con gran precisión de formas y medidas. Además, la aparición de zonas porosas en este tipo de piezas es mucho menos frecuente que en las piezas obtenidas con acero fundido.
- La obtención de la fundición gris exige menos precauciones que la del acero y, sin necesidad de conocimientos técnicos especiales, se llegan a obtener fundiciones con características muy aceptables para numerosas aplicaciones.
- La solidificación en las fundiciones grises presentan mucha menos contracción que los aceros y su fabricación no exige como los aceros, el empleo de refractarios relativamente especiales y de precio elevado en el mercado.

1.3.5. Aplicaciones

Debido a una gran capacidad de amortiguamiento de las vibraciones, las fundiciones grises son muy utilizadas para la fabricación de las bancadas de las máquinas. Además, tratada térmicamente, este tipo de fundición se utiliza para herramientas, motores de combustión interna, discos de freno y otras piezas sometidas a vibraciones y desgaste.

Sin embargo, la fundición gris se caracteriza por tener en su microestructura grafito retenido en forma de láminas, el cual limita su resistencia a tracción. Por ello, en este tipo de solicitaciones, la fundición nodular se presenta como una solución a esta problemática ya que su forma esferoidal del grafito hace que presente mayor resistencia a tracción que las fundiciones grises y que tengan mayor tenacidad. Por este motivo, se puede utilizar para numerosas aplicaciones (Figura 15) la utilización de fundición gris vermicular la cual es una fundición intermedia entre las anteriores.

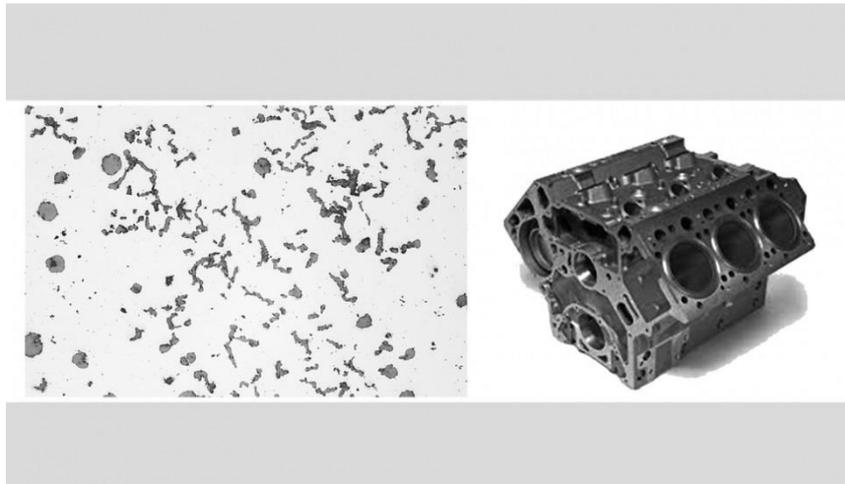


Fig 15. Fundición Vermicular y bloque de motor de fundición vermicular.

1.3.6. Tratamientos térmicos

El tratamiento térmico en las fundiciones se realiza fundamentalmente para eliminar las tensiones internas que surgen durante el fundido. Con el tiempo, estas tensiones producen una variación de las dimensiones y forma de la fundición, disminución de la dureza y una mejora en el mecanizado por corte además de elevar sus propiedades mecánicas.

Estos tratamientos térmicos se definen como una combinación de operaciones de calentamiento y enfriamiento, de tiempos determinados y aplicados a la fundición para poder producir las propiedades deseadas.

Las propiedades mecánicas y microestructurales de las fundiciones pueden ser modificadas y mejoradas por medio de ciertos tratamientos térmicos como el normalizado, temple, revenido y recocido, entre los más utilizados.

1.3.6.1. Normalizado

El normalizado consiste en calentar la fundición hasta los 850–950 °C durante 30 minutos por cada cm² de espesor con un enfriamiento posterior a temperatura ambiente, obteniendo una estructura más uniforme. Se emplea el normalizado para aumentar la dureza, tenacidad y resistencia al desgaste de la fundición. Estas propiedades mecánicas se logran debido a la total transformación de la base estructural ferrítica o ferrito-perlítica en una base de perlita de la fundición gris. La fundición ferrítica maleable se transforma después del normalizado en la fundición perlítica maleable.

1.3.6.2. Temple

El temple es un tratamiento que consiste en calentar la fundición a una temperatura comprendida en el intervalo de 850 – 900 °C durante 20 minutos por cada cm² de espesor y seguido de un enfriamiento más o menos rápido para conseguir una microestructura martensítica. En general, es más fácil que se produzcan grietas o roturas en el temple de las piezas de fundición que en aceros, ya que las fundiciones están constituidas por un material más frágil debido principalmente a la existencia de láminas de grafito. Estas grietas se producen como consecuencia de las tensiones que se derivan del rápido enfriamiento que experimentan las distintas partes de la pieza al ser introducidas en el líquido de temple.

1.3.6.3. Revenido

Después del temple, se suele dar a las piezas un calentamiento a una temperatura de 200 a 650 °C. Este tratamiento térmico recibe el nombre de revenido y se utiliza para reducir las tensiones internas que aparecen en la pieza después del temple. De esta manera se reduce la fragilidad de la pieza y por lo tanto su dureza, aumentando así su tenacidad y alargamiento.

1.3.6.4. Recocido

Existen dos procesos de recocido que suelen ser empleados en las fundiciones grises:

1. Recocido de eliminación de tensiones.
2. Recocido de ablandamiento.

1.3.6.4.1. Recocido de eliminación de tensiones

Los recocidos para la eliminación de tensiones se realizan a temperaturas relativamente bajas comprendidas entre los 500 y 600 °C aproximadamente. Este proceso se realiza mediante un equivalente de una hora por cada 25 mm de espesor seguido de un enfriamiento en un horno a puerta cerrada. Este tratamiento no tiene un efecto en las propiedades mecánicas, pero elimina las tensiones residuales que suelen tener las piezas de fundición después del enfriamiento. Conviene dar este tipo de recocido a piezas cuyas formas sean complicadas o que deban tener tolerancias dimensionales muy precisas, como culatas para motores Diésel, bancadas de máquinas de herramientas, bastidores, etc. Si no se eliminan estas tensiones las piezas pueden sufrir deformaciones durante el mecanizado o durante el funcionamiento. Deben utilizarse velocidades lentas tanto de calentamiento como de enfriamiento para impedir la formación de nuevas tensiones o roturas.

1.3.6.4.2 Recocido de ablandamiento

Se suelen emplear los siguientes tipos de recocidos:

1. Recocido subcrítico (700-760 °C).
2. Recocido medio o completo (800-900 °C).
3. Recocido de grafitización (900-925 °C).

Recocido subcrítico

Para disminuir la dureza de las fundiciones grises se les somete a recocidos de 740 °C aproximadamente con enfriamiento en un horno a puertas cerradas. Este recocido es interesante porque en ocasiones las fundiciones grises que salen de la colada quedan relativamente duras y su mecanización es difícil. En muchos casos las microestructuras de estas fundiciones en bruto están constituidas por grafito y ferrita y cantidades variables de perlita y sorbita. Estos constituyentes, perlita y sorbita, son los que dan alta dureza y cuando interesa mucho facilitar la mecanización conviene transformarlos por recocido, en ferrita y grafito. Para conseguir después del recocido una estructura de ferrita y grafito, que es la mejor para el mecanizado, debe alcanzarse en el recocido una temperatura de unos 740 °C aproximadamente. Con este recocido se baja la dureza de las fundiciones hasta 120 - 130 Brinell.

Recocido medio o completo

Este tipo de recocido es utilizado en situaciones donde las piezas, por causa de los elementos de aleación o por la presencia de zonas pequeñas con enfriamiento rápido, obtenidas en el recocido subcrítico, no consiguen matriz ferrítica. En este proceso la fundición es calentada a temperatura de 800-900 °C, llegándose de esta manera por encima de la temperatura de transformación eutectoide. Después de mantener la pieza una hora por cada 25 mm de espesor, la fundición es enfriada lentamente por la región de transformación eutectoide, promoviendo la formación de ferrita. Al calentar de 800-900 °C, no hay formación de grafito o esta formación tiene poca importancia. Este tratamiento también es recomendable para fundiciones grises de gran dureza y para fundiciones atruchadas que contienen cementita hipereutectoide. En estos casos la dureza inicial que será bastante alta, alrededor de 250-300 Brinell, se podrá disminuir con este recocido. En este tratamiento se calentará la pieza a unos 850 °C aproximadamente y luego se cuidará que la velocidad de enfriamiento sea muy lenta, sobre todo en la zona crítica de 700-740 °C, para facilitar el depósito del grafito eutectoide y luego se enfriará a temperatura ambiente. En la figura 5 se ve como en la zona de 700-740 °C es en la que hay mayor formación de ferrita y de grafito y es, por lo tanto, la zona más crítica en esta clase de recocido.

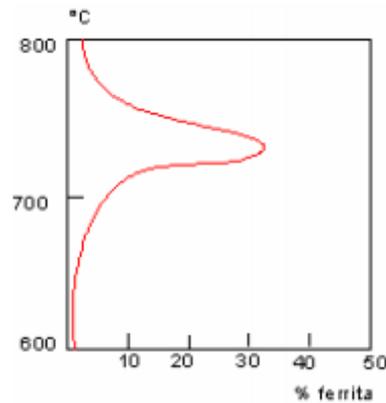


Fig 16. Cantidad de ferrita que se forma en función de la temperatura.

Recocido de grafitización

Es utilizado en fundiciones grises sólo cuando se quiere el retiro de carburos. Este tratamiento consiste en calentar la pieza a temperaturas aproximadamente de 900-925 °C. El tiempo de permanencia debería ser el mínimo (para evitar procesos de oxidación y formación de óxidos en las fronteras de grano), basado en la evaluación microestructural y, para evitar formación de cascarilla innecesaria se puede usar horno de atmósfera controlada. Después de la descomposición de carburos, la forma de enfriar dependerá de la microestructura que se desee. Si se desea una estructura ferrítica, se recomienda un enfriamiento en horno a puerta cerrada. Pero si se desea una fundición de matriz perlítica, se recomienda un enfriamiento a temperatura ambiente.

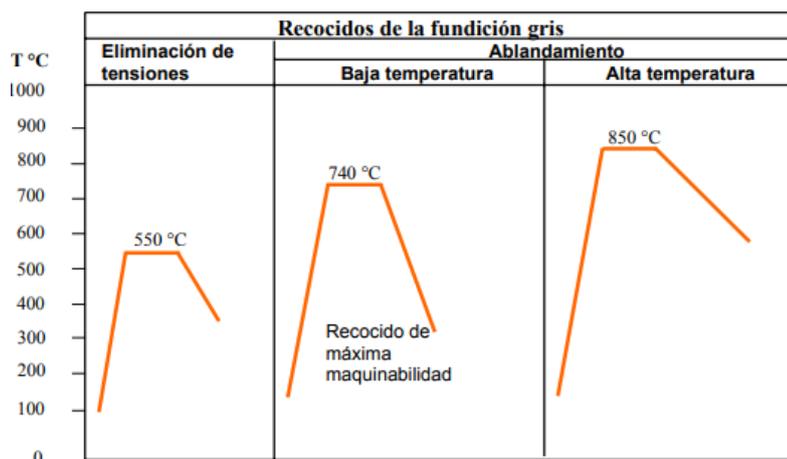


Fig 17. Gráfica recocido de grafitización.

1.4. Procesos de soldadura

1.4.1. Introducción

La soldadura es un proceso de fabricación que consiste en la unión irreversible de dos piezas metálicas con o sin aporte de material en el que se obtiene una superficie continua. Las piezas son adheridas al derretirse ambas, agregando un material de relleno (en el caso de que se aporte material), también derretido, el cual posee un punto de fusión menor al de la pieza a soldar. Cuando las piezas se enfrían, éstas se transforman en una articulación fuerte.

La soldadura se puede llevar a cabo a través de diferentes métodos, que dependerán del tipo de material que se utilice, la fuerza que se desee obtener entre las uniones, etc. Puede ser con y sin aporte de material a las piezas unidas, donde el material de aporte es de igual o diferente tipo a las partes a unir. Es importante considerar que la soldadura cambia la estructura física de los materiales que se sueldan, esto es debido a que cambia algunas de las propiedades de los materiales que se están uniendo.

Sin importar el método con el que se trabaje, siempre se debe contar con un equipo de protección cualificado, trabajar en un lugar seguro y contar con medidas de precaución, tanto para asegurar el bienestar del operario como para garantizar la protección de los equipos.

1.4.2. Tipos de soldadura

Existen varios tipos de soldadura, pero los más empleados son los cuatro procedimientos siguientes:

- Soldadura blanda
- Soldadura fuerte
- Soldadura sin fusión

- Soldadura por fusión

1.4.2.1. Soldadura blanda

La soldadura blanda consiste en unir piezas por medio de una aleación metálica, fácilmente fundible (bajo punto de fusión) tal como el estaño, el plomo, etc. Esta soldadura ofrece una resistencia generalmente inferior a la de los metales a los cuales se aplica, y no puede someterse en uniones que deban emplearse a más de 200° C. Está indicada especialmente para la unión de piezas que no estarán sometidas a grandes cargas o fuerzas, uniones de hojalata, chapas galvanizadas, piezas de latón y bronce, algunas veces en piezas de hierro y sobre todo en tubos de plomo y en conexiones de electricidad y electrónica.



Figura 18. Aplicación de la soldadura blanda.

Para efectuar este tipo de soldadura se necesita un soldador de cobre que puede ser calentado con una lámpara de soldar, o también se puede utilizar un soldador de calentamiento eléctrico. El metal de aportación se emplea, generalmente en barra. Además es necesario emplear ciertos cuerpos como desoxidantes (que evitan la oxidación) y fundentes (que ayudan a fundir la escoria). Para hacer una buena soldadura se han de limpiar con cuidado las partes que han de unirse.

1.4.2.2. Soldadura fuerte

La soldadura fuerte, llamada también amarilla consiste en unir piezas mediante la fusión de un metal que tiene un punto de fusión relativamente elevado, como los latones, el cobre o las aleaciones de plata. La temperatura de fusión debe ser inferior a la de los metales a unir. El metal de aportación se usa en forma de grano, de hilos o chapitas, según la forma de las piezas que se han de soldar, el desoxidante empleado es el llamado bórax u otros preparados comerciales. Se recurre a este tipo de soldadura cuando hay que efectuar una unión sólida y resistente, sin fundir las piezas a enlazar. Se puede efectuar sobre metales y aleaciones de elevado punto de fusión como son: el acero, la fundición y los bronce.

En esta soldadura se aplica también metal de aporte en estado líquido, pero este metal, por lo regular no ferroso, tiene su punto de fusión superior a los 430°C y menor que la temperatura de fusión del metal base. Por lo regular se requiere de fundentes especiales para remover los óxidos de las superficies a unir y aumentar la fluidez al metal de aporte. Algunos de los metales de aporte son aleaciones de cobre, aluminio o plata.

La soldadura fuerte se puede clasificar por la forma en la que se aplica el metal de aporte. A continuación se describen algunos de estos métodos:

Inmersión. El metal de aporte previamente fundido se introduce entre las dos piezas que se van a unir, cuando este se solidifica las piezas quedan unidas.

Horno. El metal de aporte en estado sólido, se pone entre las piezas a unir, estas son calentadas en un horno de gas o eléctrico, para que con la temperatura se derrita al metal de aporte y se genere la unión al enfriarse.

Electricidad. La temperatura de las partes a unir y del metal de aporte se puede lograr por medio de resistencia a la corriente, por inducción o por arco, en los tres métodos el calentamiento se da por el paso de la corriente entre las piezas metálicas a unir.

Soplete. El calor se aplica con un soplete de manera local en las partes del metal a unir, el metal de aporte en forma de alambre se derrite en la junta. Los sopletes pueden funcionar con los siguientes comburentes: aire inyectado a presión, aire de la atmósfera, oxígeno o aire almacenado a presión en un tanque. Los combustibles pueden ser: alcohol, gasolina blanca, metano, propano-butano, hidrógeno o acetileno.



Figura 19. Soldadura por soplete.

1.4.2.3. Soldadura sin fusión

Este proceso consiste en calentar los metales hasta una temperatura inferior a su punto de fusión y unirlos con un metal de aporte fundido, o calentar los metales hasta que están blandos para martillarlos o unirlos a presión entre sí.

1.4.2.4. Soldadura por fusión

La soldadura por fusión, o simplemente soldadura de metales, es una clasificación dentro de la soldadura homogénea que agrupa muchos procesos que se definen como el método de calentar dos metales a muy altas temperaturas hasta que se derriten, se unen y se funden entre sí, estos procesos de fusión se pueden realizar con o sin aportación de metal, por lo general sin aplicar presión y a temperaturas superiores a las que se trabaja en soldaduras ordinarias.

Existen varias técnicas de soldadura por fusión:

Oxiacetilénica. La fuente de calor que se aporta en esta soldadura procede de la combustión de los gases (Oxígeno y acetileno), los cuales pueden alcanzar temperaturas aproximadas de 3.200°C . Se lleva hasta la temperatura de fusión de los bordes de la pieza a unir el calor que produce la llama. Es posible soldar casi cualquier metal de uso industrial. Al no necesitar conectarse a la corriente eléctrica es muy común de usarse.



Fig 20. Soldadura Oxiacetilénica.

Arco eléctrico. Es uno de las soldaduras más usadas para soldar acero, se necesita de corriente eléctrica, para poder crear el arco eléctrico entre uno o varios electrodos, así generará el calor suficiente para fundir el metal y crea la unión. Las temperaturas que se generan son del orden de 3.500°C .

En este tipo de soldadura se realiza con electrodos metálicos o de carbón y se debe ser muy preciso para mantener el arco a la longitud adecuada para lograr un buen resultado.

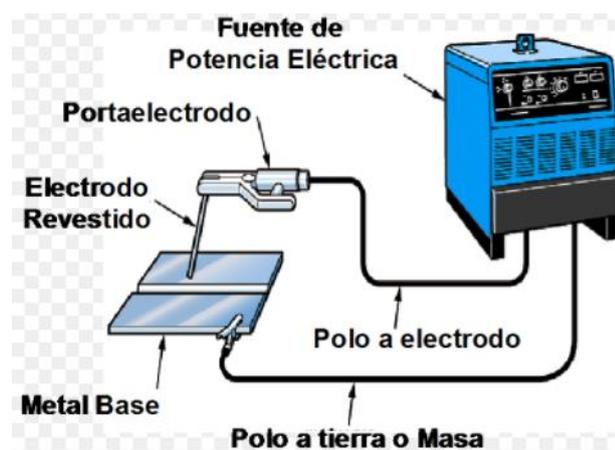


Fig 21. Soldadura por Arco eléctrico.

Láser. No existe ningún material de aportación externo. Este proceso se realiza calentando el área a soldar y aplicando presión entre los puntos. Se utiliza el helio o argón como gas protector. La energía la aporta un haz de láser

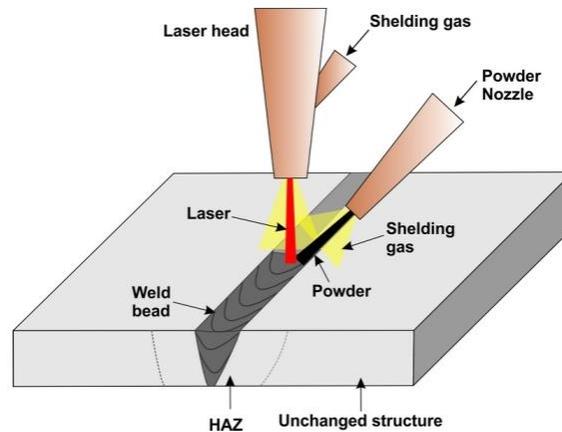


Figura 22. Soldadura por Láser.

La tabla siguiente resume las ventajas, limitaciones y aplicaciones de estos tres procesos de soldeo.

TÉCNICA FUSIÓN	VENTAJAS	LIMITACIONES	APLICACIONES
FUSIÓN OXIACETILENO	<ul style="list-style-type: none"> – Se puede controlar la fuente de calor y la temperatura. – Bajo coste, equipo muy versátil. – Suelda materiales ferrosos y no ferrosos. – Mayor temperatura de la llama. 	<ul style="list-style-type: none"> Grandes deformaciones y grandes tensiones internas por las altas temperaturas y la baja velocidad del soldeo. 	<ul style="list-style-type: none"> – Pequeñas producciones. – Planchas delgadas de acero. – Algunos otros metales, acero inoxidable, cobre, latón y níquel.
FUSIÓN ARCO ELÉCTRICO	<ul style="list-style-type: none"> – Soldadura robusta, distorsión mucho menor – Alta velocidad. – Compatible con todos los metales, excepto aluminio. – Aplicación interior y exterior. – Bajo coste del equipo. 	<ul style="list-style-type: none"> – Velocidad moderada. – Limitado a materiales férreos – Limitado a cordones largos, tubos de rotatorios y gruesos. 	<ul style="list-style-type: none"> – Procesos de acero. – Tuberías complicadas. – Construcciones pesadas. – Fabricación de componentes.

LÁSER	<ul style="list-style-type: none"> – Más preciso y menos calor de aportación. – Mayor profundidad de penetración. – Libre de porosidad. 	<ul style="list-style-type: none"> – Coste elevado. – Consumo alto de potencia. – No apto para soldar cordones muy anchos. 	<ul style="list-style-type: none"> – Robots industriales. – Automotriz, autopartes. – Fabricantes y construcciones de tuberías.
-------	--	---	--

En el presente proyecto, nos vamos a centrar en el estudio de la soldadura con fusión por arco eléctrico.

1.4.3. Soldadura por arco eléctrico

La soldadura por arco eléctrico es un proceso de soldadura por fusión en el cual la unificación de los metales se obtiene mediante el calor de un arco eléctrico entre un electrodo y la pieza a soldar. El arco eléctrico es una descarga de corriente eléctrica a través de una separación en un circuito y se sostiene por la presencia de una columna de gas ionizado (llamado plasma), a través de la cual fluye la corriente.

El arco eléctrico se inicia al acercar el electrodo a la pieza, después del contacto se separa rápidamente de la pieza a una distancia corta (a este proceso se le llama cebado el arco). El arco eléctrico produce temperaturas hasta de 5500 °C o más, que son suficientes para fundir cualquier metal. Se forma un pozo de metal fundido que consiste en metal base y el metal de aporte (cuando se usa), cerca de la punta del electrodo. En la mayoría de los procesos de soldadura con arco eléctrico se agrega un metal de aporte durante la operación para aumentar el volumen y fortalecer la unión soldada. Conforme el electrodo se mueve a lo largo de la unión, el pozo de metal fundido se solidifica de inmediato.



Fig 23. Cebado del arco.

La longitud del arco depende del tipo de electrodo que se usa y el tipo de soldadura que se va a hacer. Por lo tanto, para electrodos con diámetro pequeño, se requiere de un arco más corto que levante electrodos más grandes.

Generalmente, la longitud del arco deberá ser aproximadamente igual al diámetro del electrodo. Si el arco está demasiado largo, el metal se derrite del electrodo en grandes glóbulos que oscilan de un lado al otro a medida que el arco oscila. Esto produce un depósito ancho, salpicado e irregular sin suficiente fusión entre el metal original y el metal depositado. Además, cuando el arco es demasiado largo, el calor del flujo de arco disipa rápidamente, causando salpicaduras considerables. Un arco largo puede reconocerse por un silbido continuo muy parecido al escape de vapor.

Un arco que está demasiado corto no genera suficiente calor para derretir correctamente el metal que se tiene que soldar. Además, el electrodo se pegará frecuentemente y producirá depósitos desiguales con ondas irregulares. Un arco más corto normalmente es mejor para soldadura vertical porque se puede lograr mejor control de la mezcla de metales fundidos. El uso de un arco corto también evita la entrada de impurezas de la atmósfera en la soldadura. Cuando el electrodo, la corriente y la polaridad son correctos, un buen arco corto produce un sonido agudo de crepitación.

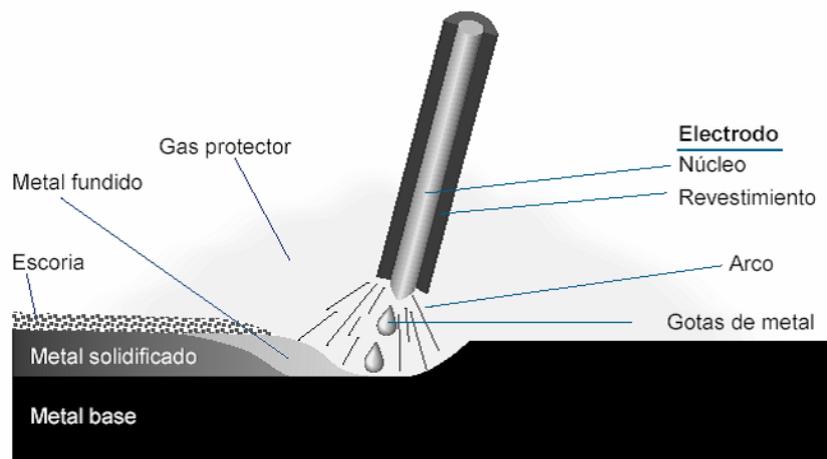


Fig 24. Soldadura por arco.

1.4.4. Tipos de soldadura por arco eléctrico

Existen una gran variedad de procedimientos de soldadura donde la base de la fuente de calor es el arco eléctrico. Todos estos procedimientos se pueden agrupar en dos grandes grupos, por arco descubierto y por arco encubierto. A continuación se enumeran los distintos procedimientos agrupados en cada grupo:

1.4.4.1. Arco descubierto

- Soldadura por arco manual con electrodos revestidos.
- Soldadura bajo gas protector con electrodo fusible (MIG, MAG).
- Soldadura bajo gas protector con electrodo no fusible (TIG).

1.4.4.2. Arco encubierto

- Soldadura por arco sumergido.
- Soldadura por electroescoria.

Prácticamente, para el caso de la soldadura por arco eléctrico, su aplicación acapara todo el sector industrial, debido a las opciones que presentan tanto su automatización como su gran productividad.

En nuestro caso, nos vamos a centrar en el procedimiento de soldadura TIG ya que es el que hemos utilizado para la realización de nuestro proyecto.

1.4.5. Soldadura bajo gas protector con electrodo no fusible (TIG)

La soldadura por arco en gas inerte con electrodo no fusible de tungsteno (Tungsten Inert Gas) es un procedimiento en que el calor necesario para la ejecución de la soldadura es suministrado por un arco eléctrico que se mantiene entre un electrodo no consumible y la pieza en elaboración; el electrodo usado para conducir la corriente es un electrodo de tungsteno o de aleación de tungsteno. La zona de soldadura, el metal fundido y el electrodo no consumible están protegidos de la influencia de los agentes atmosféricos por el gas inerte alimentado a través del soplete porta electrodo.

La soldadura con procedimiento TIG puede efectuarse con el aporte de otro material (varilla de material de aporte) o mediante la fusión del material base por efecto del calor producido por el arco eléctrico.

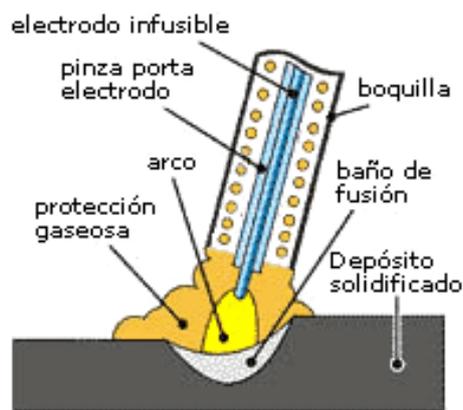


Fig 25. Soldadura TIG.

El circuito de soldadura está compuesto principalmente por los siguientes elementos:

1. Generador de corriente
2. Soplete porta electrodo de tungsteno con haz de cables
3. Varilla de material de aporte
4. Bombona de gas con circuito de presión
5. Pinza con cable de masa



Fig 26. Equipo de soldadura TIG

1. Generador de corriente

El generador de corriente tiene la finalidad de alimentar el arco eléctrico que se crea entre el material base y el electrodo de tungsteno, a través de la salida de una cantidad de corriente suficiente para mantenerlo encendido.

En su interior normalmente se coloca un dispositivo de regulación de la corriente de soldadura, de tipo mecánico (shunt magnético) o electrónico (sistema de tiristores o inverter). Se pueden identificar dos categorías de pertenencia:

1.1. Generador de corriente alterna AC (alternating current)

La corriente que sale del generador asume la forma de una onda típicamente cuadrada, que cambia su polaridad con intervalos regulares, con una frecuencia de 20 a 200 ciclos por segundo (Hertz) o más, dependiendo del tipo de generador utilizado. Ésta se obtiene mediante uno o más dispositivos, cuya función es transformar la corriente sinusoidal de red en una corriente alterna de soldadura adecuada.

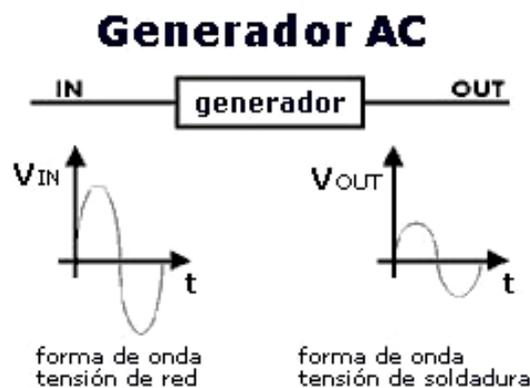


Fig 27. Corriente alterna.

1.2. Generador de corriente continua CC (direct current)

La corriente en salida del generador presenta una forma de onda continua, que se obtiene mediante dispositivos que permiten la conversión de la corriente de alterna a continua.

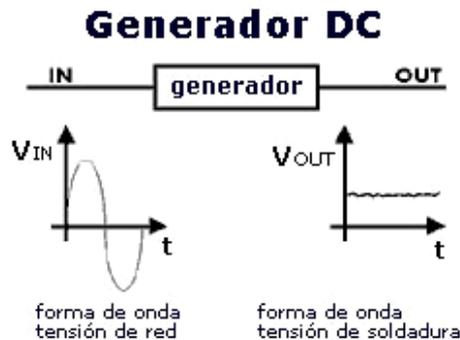


Fig 28. Corriente continua.

En el caso que el circuito de soldadura esté formado por un generador de corriente continua (CC) puede introducirse una ulterior clasificación en función de la modalidad de conexión de los polos de la fuente de soldadura al material a soldar o de la forma de onda de la corriente de soldadura:

1.2.1. Corriente continua con conexión en polaridad directa

Con la polaridad directa el soplete, con el relativo cable, se conecta al polo negativo y el material a soldar al polo positivo de la fuente distribuidora; en este caso los electrones fluyen del electrodo hacia la pieza provocando la fusión.

Es el tipo de corriente más utilizada con el sistema TIG y garantiza una buena soldabilidad en casi todos los metales y las aleaciones comúnmente soldables, con excepción del aluminio. La corriente continua con polaridad directa produce un baño de fusión estrecho y profundo así como una penetración muy superior a la que se obtiene con la polaridad inversa.

1.2.2. Corriente continua con conexión en polaridad inversa

Soldando con esta polaridad el soplete, con el relativo cable, se conecta al polo positivo y la pieza al polo negativo de la máquina distribuidora.

Este tipo de alimentación es escasamente utilizado porque produce un baño plano con escasa penetración. La polaridad inversa causa por sí misma un excesivo calentamiento del electrodo; para conseguir que éste no se queme deben emplearse intensidades de corriente más bien reducidas. De esta manera se justifica su limitado empleo.

2. Soplete porta electrodo de tungsteno con haz de cables

El soplete porta electrodo es un dispositivo que engloba el electrodo de tungsteno, y está conectado a algunos cables conectados al generador, los cuales tiene como tarea alimentarlo eléctricamente y distribuir el gas de protección.

En función del tipo de empleo, puede haber sopletes con enfriamiento natural, a través del gas de protección, si son necesarias intensidades bajas de corriente, y sopletes con enfriamiento por agua, cuando son necesarias corrientes elevadas (200-500 A) y soldaduras frecuentes.



Fig 29. Soplete porta electrodo de tungsteno.

3. Varilla de material de aporte

El espesor del material, el tipo de junta y las características de soldadura deseadas influyen en la necesidad de usar o no un metal de aporte a añadir al baño. El añadido del metal de aporte en la soldadura manual se efectúa inmergiendo una varilla de material en la zona del arco, lateralmente al baño de fusión.

El metal de aporte es a menudo similar al metal base y con frecuencia se añaden limitadas cantidades de desoldantes u otros elementos que mejoran las propiedades de la zona fundida.

En nuestro proyecto, hemos utilizado como material de aporte varillas de Níquel al 57%.

4. Bombona de gas con circuito de presión

La bombona de gas con circuito de presión está compuesta de:

- Una bombona que contiene el gas o los gases de protección. Los gases más utilizados para la protección del arco son helio o argón, o una mezcla de los dos.
- Un manómetro, instrumento utilizado para indicar la cantidad de gas en el interior de la bombona.
- Un reductor de presión.
- Una electro-válvula, presente en el caso que el soplete esté dotado de pulsador de cebado, controlada por el mismo pulsador, el cual abre y cierra el flujo de gas dependiendo de las necesidades del operador.

5. Pinza con cable de masa

La pinza con cable de masa permite la conexión eléctrica entre el generador de corriente y el material base a soldar. El cable debe tener un tamaño y una longitud en función del amperaje máximo de la fuente de soldadura.



Fig 30. Soldadura TIG.

Una vez hemos soldado todas las chapas de fundición gris con sus respectivos tratamientos térmicos, procedemos a realizar una micrografía de estas para analizar la microestructura que se ha formado en la interfase entre la soldadura y el material base.

Observamos que dependiendo del tratamiento térmico que se le aplica a la pieza, la microestructura que obtenemos cambia por completo. A continuación se muestran los resultados obtenidos en el microscopio y gracias al programa “Optika Vision Pro” hemos podido obtener imágenes nítidas de las microestructuras. Las capturas de las imágenes están hechas con 200 aumentos.

1.4.6. Fundición gris sin tratamiento térmico

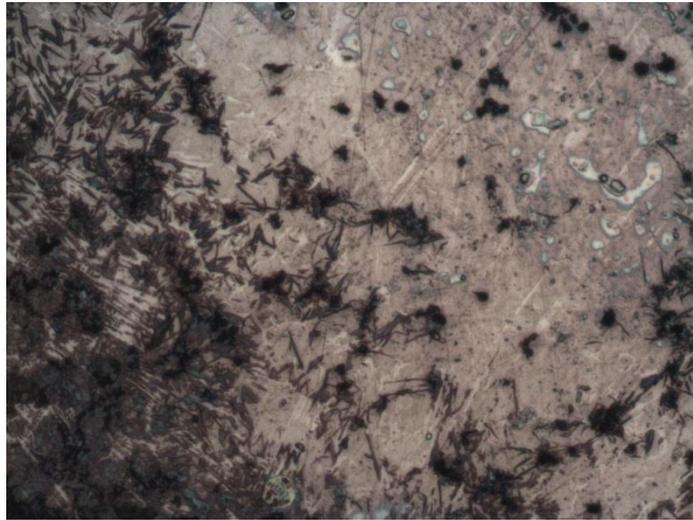


Fig 31. Microestructura de la fundición gris.

En esta primera probeta, al no realizar ningún tratamiento térmico tras la soldadura, obtenemos una microestructura de trazas de martensita en matriz de cementita columnar. Por lo tanto se trata de una estructura dura y frágil, tal y como podremos comprobar más tarde en los resultados de los ensayos de dureza, tracción y flexión. Esta microestructura tiene el inconveniente de poderse agrietar tras un enfriamiento rápido.

1.4.7. Fundición gris con recocido a 900 °C

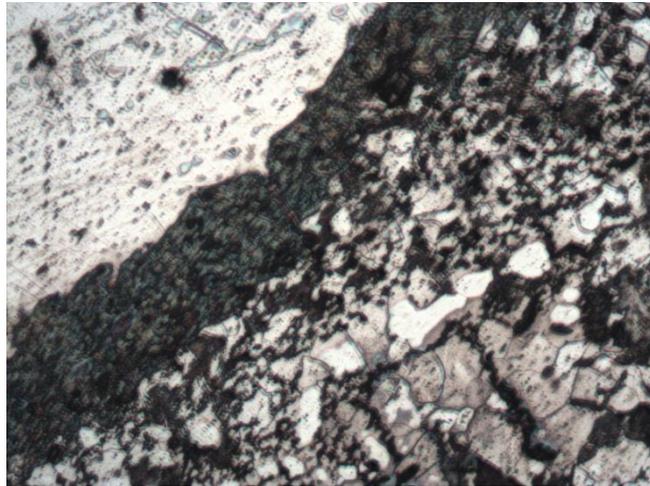


Fig 32. Microestructura de la fundición gris.

Como podemos observar, al aplicarle un tratamiento de recocido a la pieza después de haber sido soldada, la microestructura se transforma y se vuelve más blanda ya que el recocido disuelve los carburos. Esta probeta por lo tanto tendrá mayor ductilidad, obteniendo así una estructura de gráfita vermicular en matriz ferrítico-perlítica. Con esta microestructura disminuye el límite elástico pero conseguimos aumentar la deformación.

1.4.8. Fundición gris con precalentamiento a 450 °C

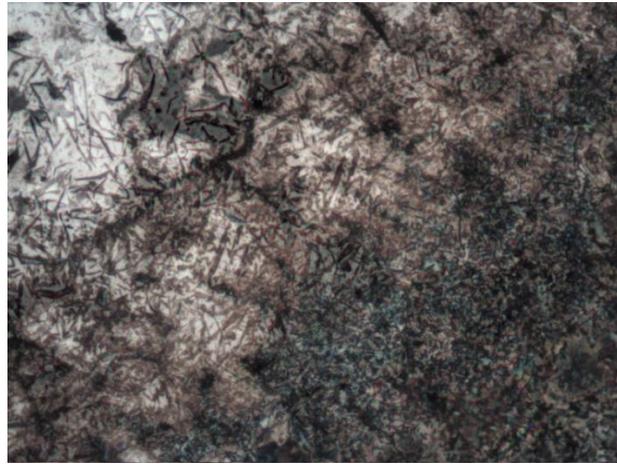


Fig 33. Microestructura de la fundición gris.

En tercer lugar, al aplicarle un precalentamiento de 450 °C a las dos chapas antes de ser soldadas, observamos que la microestructura ha cambiado obteniendo una estructura martensítica en matriz ferrítico-perlítica. Esta microestructura también se va a caracterizar por dura y frágil.

1.4.9. Fundición gris con precalentamiento a 450 °C y recocido a 900 °C

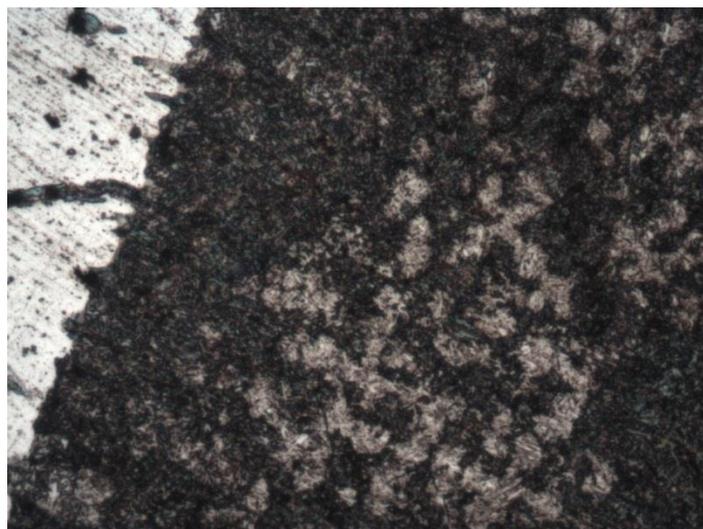


Fig 34. Microestructura de la fundición gris.

Por último, a las dos últimas chapas, le aplicamos un tratamiento de precalentamiento a 450 °C, a continuación las soldamos, y posteriormente aplicamos un recocido a 900 °C. De esta manera hemos obtenido una estructura perlítico-ferrítica. La estructura de perlita viene a ser una perlita fina, siendo ésta más dura que la perlita gruesa.

1.5. Características mecánicas y microestructurales de la fundición.

1.5.1. Descripción de la fundición gris estudiada en el presente proyecto

La fundición gris que se utiliza para el presente proyecto y por tanto, con la que se realizan todos los ensayos y uniones soldadas, ha sido obtenida en bruto por colada y se caracteriza por tener una estructura ferrítico-perlítica (Figura 6).



Fig 35. Estructura ferrítico-perlítica de la fundición gris a 200 aumentos.

Las chapas de fundición gris que se utilizan para realizar el estudio tienen un espesor de 5 mm aproximadamente y han sido proporcionadas por el *Departamento de Ingeniería Mecánica y de Materiales*. Las características de esta fundición gris son las siguientes:

Propiedades Físicas	
Aspecto	Superficie exterior es de color gris
Densidad (g/cm ³)	6,95 - 7,35
Punto de Fusión (°C)	1200
Propiedades Mecánicas	
Dureza Brinell (HB)	140 - 250
Alargamiento (%)	0,2 - 1
Resistencia a la Tracción (MPa)	150 - 430
Resistencia a la Compresión (MPa)	230 - 1300
Módulo de Elasticidad (GPa)	41

1.5.2. Metodología

En el presente proyecto se ha realizado un estudio de las características mecánicas y microestructurales de la fundición gris sometida a diferentes tratamientos térmicos mencionados a continuación:

- Fundición gris obtenida en bruto de colada.
- Fundición gris recocida a 900 °C después de soldar las piezas.
- Fundición gris recocida a 450 °C antes de soldar las piezas.
- Fundición gris recocida a 450 °C antes de soldar las piezas y recocida a 900 °C después de soldar las piezas.

Para ello se han soldado chapas de fundición gris mediante procedimiento TIG con aporte de varilla de Níquel al 57%. A continuación se determina su estructura microscópica y sus propiedades mecánicas, tales como, Dureza Vickers, resistencia a la rotura, alargamiento y resistencia a la flexión, mediante los ensayos que se detallarán a continuación en los siguientes apartados.

En primer lugar, se cortan las chapas y se preparan para poder ser soldadas mediante la cortadora que hay en el laboratorio llamada sierra de banda (Figura 36). Se cortan los bordes con una inclinación de 60° para que la soldadura penetre correctamente.



Fig 36. Sierra de banda.

A continuación, se realizan los tratamientos térmicos mencionados previamente en el horno del taller (Figura 37) y se sueldan las piezas por procedimiento TIG.



Fig 37. Horno.

Para observar la microestructura de la fundición gris, se tienen que preparar las muestras metalográficas. Para ello en primer lugar se corta una pequeña parte de la pieza que se va a observar mediante la tronzadora de disco (Figura 38) que se encuentra en el laboratorio. Posteriormente estas muestras se embuten en la embutidora del laboratorio (Figura 39). La embutidora dispone de un cilindro hidráulico, cuya presión sobrepasa las 300 atmósferas y posee una resistencia calefactora; se aportan polvos de metacrilato que se polemizarán con la probeta mediante la aportación de calor y presión. Los parámetros de la máquina que se definen en este proceso son: fuerza aplicada, tiempo de calentamiento y tiempo de enfriamiento, que corresponden a los valores de 15 KN, 7 y 7 minutos respectivamente.

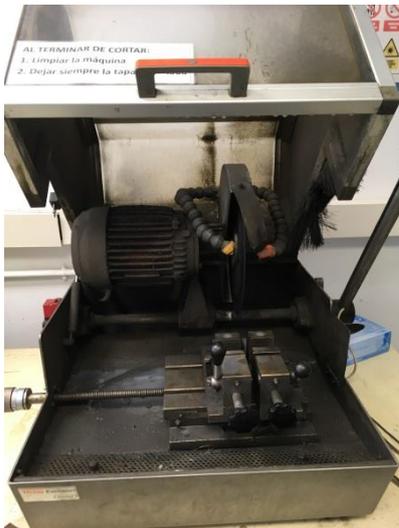


Fig 38. Tronzadora de disco



Fig 39. Embutidora

Una vez se han embutido las muestras, estas tienen que pasar por un proceso de desbastado y pulido para que su estructura microscópica pueda observarse en el microscopio.

El proceso de desbastado consiste en eliminar la primera capa de la fundición gris, la cual contiene impurezas. Para esta operación se han utilizado lijas de 220, 500 y 1000 respectivamente, procediendo así de menor a mayor granulometría. A continuación las muestras pasan por el proceso de pulido, el cual consiste en eliminar todas las rayas que pueda tener la muestra dejando así una superficie limpia y lista para poder observar su microestructura en el microscopio. . El pulido se ha realizado con discos con pasta de diamante de 1 y 0,25 μm , procediendo también de menor a mayor granulometría hasta obtener una superficie limpia y sin rayas. El pulido se ha realizado utilizando discos con pasta de diamante de 1 y 0,25 μm , trabajando también de menor a mayor granulometría hasta obtener el acabado deseado (Figura 40).

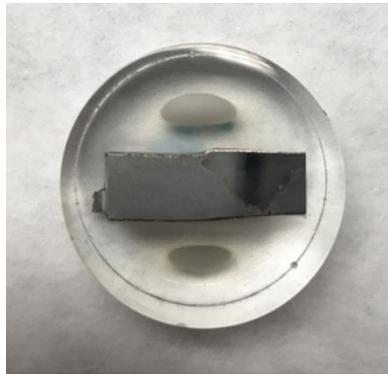


Fig 40. Muestra de fundición gris embutida y pulida.

Por último, las muestras son observadas en el microscopio del laboratorio (Figura 41). El microscopio consta de cuatro lentes de diferentes aumentos, pero para este proyecto hemos utilizado principalmente la lentes de 100 y 200. Gracias a la utilización del programa “Optika Vision Pro” y la incorporación de una cámara en el microscopio, hemos podido obtener fotografías nítidas de la microestructura de nuestra fundición gris.

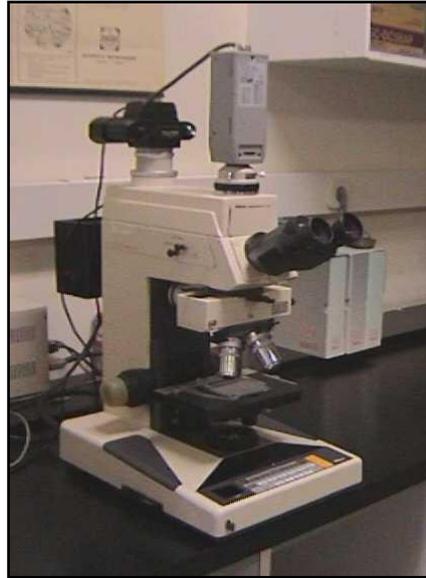


Fig 41. Microscopio del laboratorio.

Las micrografías que se han realizado pertenecen a las muestras del material base de fundición gris a las que se les han aplicado diferentes tratamientos térmicos además de un proceso de soldadura mediante procedimiento TIG. Todas las muestras han sido atacadas químicamente con nital al 3% (97% Alcohol+3% Ácido Nitríco), pasando rápidamente un algodón por la superficie y bañándolas en agua. Todas las fotografías que se muestran a continuación están realizadas con la lente de 200 aumentos.

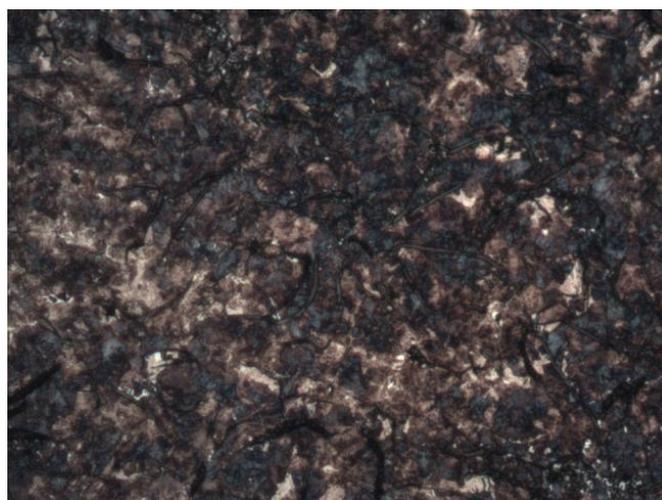


Fig 42. Microestructura de la fundición gris. Estructura perlítica.

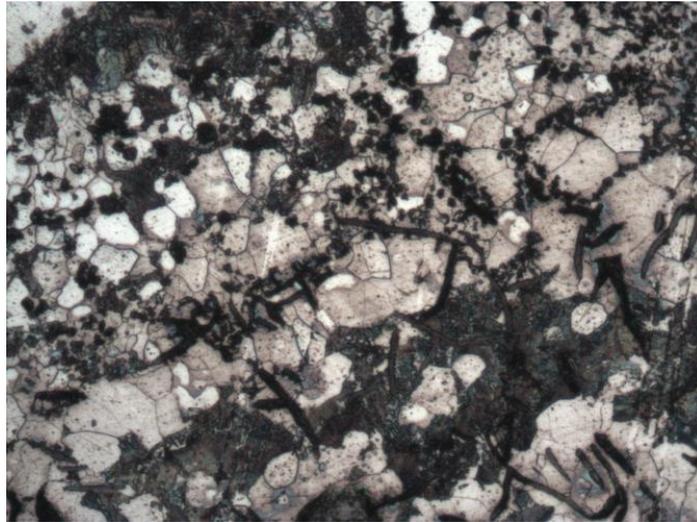


Fig 43. Microestructura de la fundición gris con recocido a 900 °C.

Estructura ferrito-perlítica.

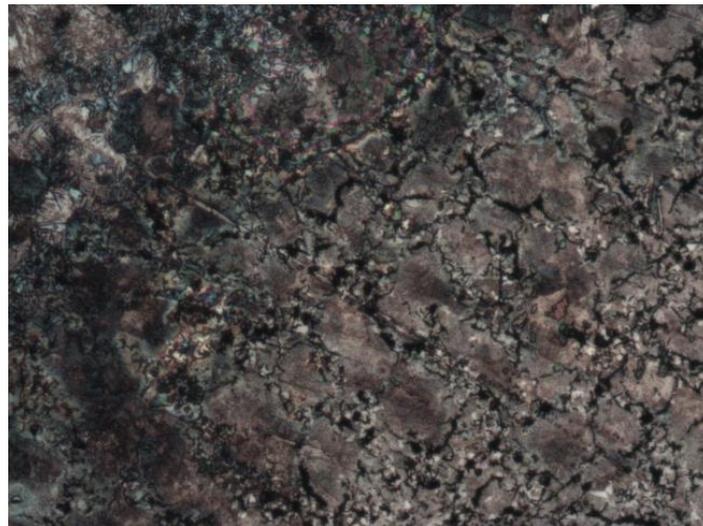


Fig 44. Microestructura de la fundición gris con recocido a 900 °C.

Estructura perlítica.

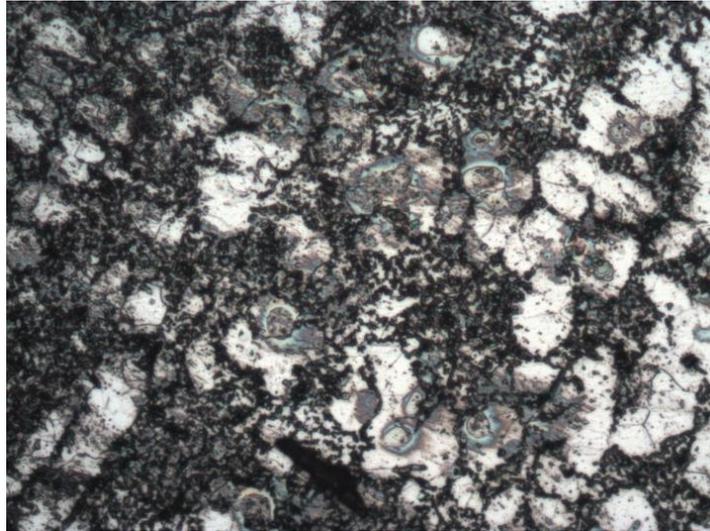


Fig 45. Microestructura de la fundición gris con precalentamiento a 450 °C y recocido a 900 °C.

Estructura perlítica en matriz ferrítica.

1.5.3. Ensayo de dureza

El método que hemos utilizado en nuestro proyecto para averiguar la dureza de la fundición gris es el Ensayo de Dureza Vickers mediante un Durómetro Vickers (Figura 46) disponible en el laboratorio. Este ensayo se emplea para determinar la dureza de un material mediante la penetración de un diamante de forma piramidal. Se emplea fundamentalmente en los ensayos de materiales de gran dureza y de las piezas con secciones pequeñas.

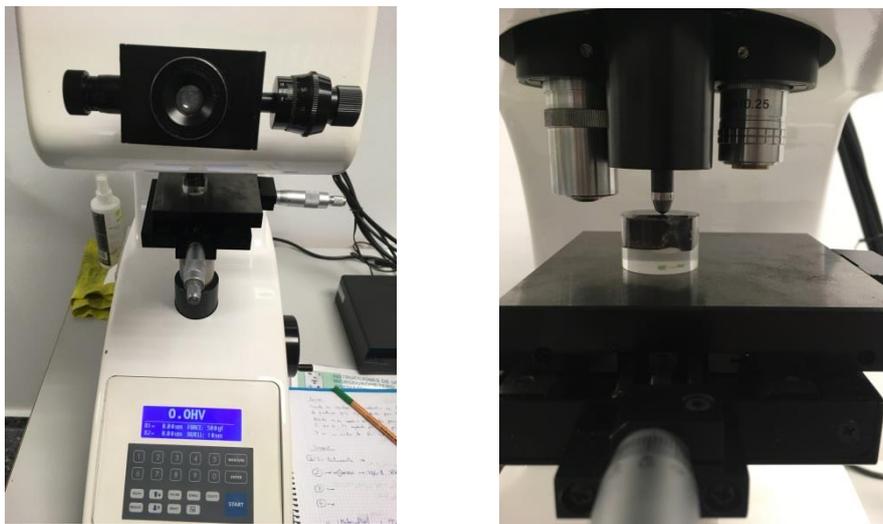
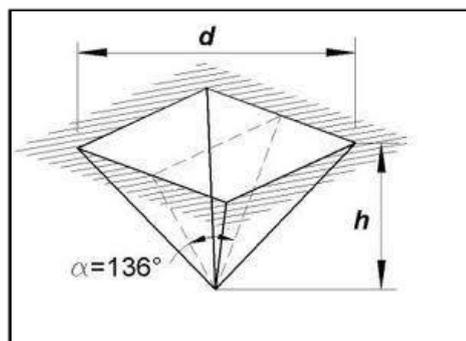


Fig 46. Durómetro Vickers utilizado para el ensayo de dureza.

La dureza Vickers (HV) consiste en la penetración durante un tiempo t de un diamante tetraédrico con un ángulo de 136° en la superficie que se ensaya, y se expresa por el valor numérico de la dureza, que se obtiene dividiendo la carga (kg) entre la superficie lateral de la huella (mm^2) calculada por las diagonales. El valor numérico de la dureza se calcula mediante la siguiente fórmula:



$$HV = \frac{2 P \operatorname{sen} \alpha / 2}{d^2}$$

dónde:

P = Carga sobre el diamante piramidal en kg.

α = Ángulo entre las aristas opuestas del diamante piramidal, en grados.

d = Medida aritmética que resulta de ambas diagonales de la huella después de ser eliminada la carga, en mm.

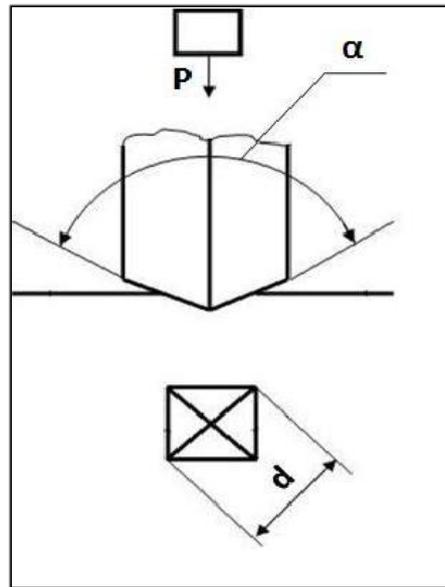


Fig 47. Esquema del Ensayo de dureza Vickers.

En nuestro proyecto, hemos utilizado una carga de 300 kg durante un tiempo de penetración del diamante de 10 segundos. Hemos realizado ensayos de dureza en tres zonas distintas de la muestra: la zona del material base, la interfase (material base junto con soldadura) y la zona de la soldadura. Se realizan ensayos de dureza en las cuatro muestras que tenemos diferenciadas por los tratamientos térmicos a las que se han sometido. Los resultados obtenidos se muestran en la siguiente tabla:

	d (mm)	Material (HV)	d (mm)	Interfase (HV)	d (mm)	Soldadura (HV)
1	1800	264,6	1200	595,3 ± 36.41	2200	177,1
			1250			
2	2350	155,2	1500	356,8 ± 17.11	2350	155,2
			1550			
3	1850	250,5	1550	407,8 ± 36.06	2200	177,1
			1450			
4	2400	148,8	1400	437,4 ± 12.52	2150	185,5
			1450			

1. Fundición gris sin tratamiento térmico.
2. Fundición gris con recocido posterior a la soldadura de 900 °C.
3. Fundición gris con precalentamiento a 450 °C.
4. Fundición gris con precalentamiento a 450 °C y recocido a 900 °C.

Como se puede observar en la tabla, al recocer la fundición Gris, se produce un ablandamiento del material, pues se obtienen valores de dureza Vickers menores. De este modo, en la fundición Gris obtenida sin tratamiento térmico, el valor obtenido ha sido de 264,6 HV. En la fundición Gris recocida a 450 °C obtenemos una dureza de 250,5 HV y la fundición Gris recocida a 900 °C, tiene una dureza de 155,2 HV. Y por último, si en primer lugar precalentamos la fundición gris a 450 °C y posteriormente la recocemos a 900 °C, la dureza que obtenemos aún es menor, 148,8 HV.

1.5.4. Ensayo de tracción

El ensayo de tracción consiste en aplicar sobre una muestra de fundición gris un esfuerzo axial de tracción creciente hasta que se produce la rotura de la misma. Este ensayo mide la resistencia de un material a una fuerza estática o aplicada lentamente. Las velocidades de deformación en un ensayo de tracción suelen ser muy pequeñas.

El ensayo de tracción es probablemente el tipo de ensayo más fundamental de todas las pruebas mecánicas que se pueden realizar en un material. Los ensayos son simples, relativamente baratos y totalmente normalizados.

En este ensayo se somete al material a una fuerza de tracción, es decir, se le aplica una o varias fuerzas externas que van a tratar de estirar el material. De hecho, durante nuestro ensayo estiraremos la muestra de fundición gris haciendo cada vez más fuerza sobre él hasta llegar a su rotura como se muestra en la figura 48. Se trata de un ensayo Esfuerzo-Deformación.

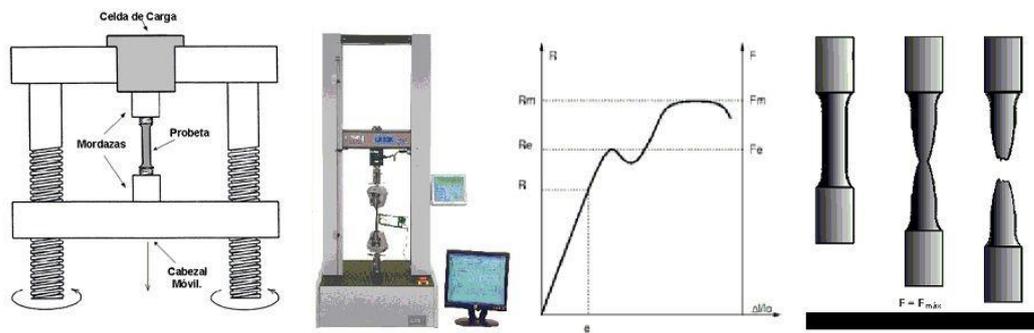


Fig 48. Ensayo de tracción.

Estirando el material, podemos determinar rápidamente cómo el material va a reaccionar ante las fuerzas que se le aplican y que tratan de estirarlo. A medida que estiramos el material, iremos viendo la fuerza que hacemos en cada momento y la cantidad que se estira el material (alargamiento).

Los datos obtenidos en los ensayos de tracción se pueden utilizar para comparar distintos materiales y comprobar si algunos de ellos podrán resistir los esfuerzos a los que va a estar sometido cuando es utilizado en una determinada aplicación, por ejemplo un metal en un puente, un ladrillo en una vivienda, una viga, etc.

Para este ensayo utilizaremos la Máquina Universal de Ensayos (Figura 49), que es capaz de registrar las fuerzas que son aplicadas y el alargamiento que sufre el material. Esta máquina consta de dos estructuras, una superior móvil y una inferior fija. Cada estructura posee una mordaza de tal forma que, mientras el cabezal fijo permanece estático, el móvil asciende y genera un esfuerzo de tracción en la muestra o probeta.



Fig 49. Máquina Universal de Ensayos.

Para estos ensayos hemos utilizado trozos de fundición gris llamados “probetas” o “muestras”. Las muestras utilizadas poseen unas dimensiones de aproximadamente 15 mm de ancho por 5 mm de espesor. Estas dimensiones normalizadas determinan el área transversal de su sección.

De esta forma se coloca en vertical y se agarra la muestra por sus extremos entre las dos mordazas que sujetan la probeta. A continuación se aplica la fuerza exterior por uno de los extremos de la probeta a una velocidad lenta y constante. El otro extremo de la probeta permanecerá fijado a la mordaza.

La muestra, al soportar una fuerza aplicada, trata de deformarse en el sentido de aplicación de la fuerza. En el caso del ensayo de tracción, la fuerza se aplica en dirección de su eje y por eso se denomina axial. La muestra se alargará en dirección de su longitud y se encogerá en su plano perpendicular.

Según vamos aplicando cada vez más fuerza sobre la probeta, llegará un momento en que ésta comienza a estirarse, disminuyendo su sección y aumentando su longitud. Seguimos aplicando más fuerza externa hasta que llega un momento que la probeta se rompe. Este momento se llama fractura, por este motivo se dice que el ensayo de tracción es un ensayo destructivo, la muestra rompe y ya no sirve (Figura 50).



Fig 50. Muestras sometidas al Ensayo de Tracción

Durante el ensayo vamos anotando los datos de fuerza (también llamados carga) y estiramiento de la probeta. Con los datos obtenidos en el ensayo podemos hacer una gráfica llamada "Curva de Tensión-Alargamiento" (Figura 51).

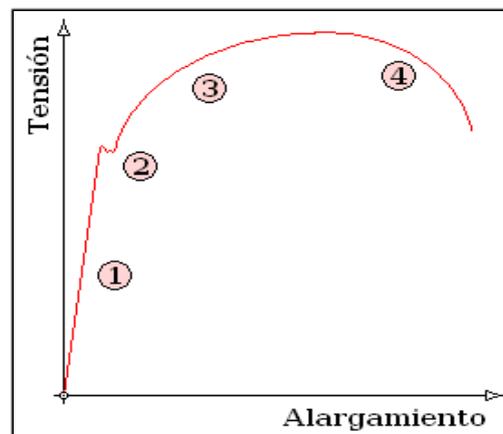


Fig 51. Diagrama de Tensión-Deformación.

En general, el diagrama de tracción obtenido a partir de los resultados del ensayo, presenta cuatro zonas diferenciadas:

1. **Zona Elástica:** Las deformaciones se reparten a lo largo de la probeta y, si se retirara la carga aplicada, la probeta recuperaría su forma inicial. En esta zona la relación entre la tensión y la deformación es lineal, es decir hay una proporción entre la tensión aplicada y la deformación producida en el material. Más allá de esta zona, la deformación deja de ser proporcional a la tensión. Además en este tramo, se cumple la Ley de Hooke (Figura 52), que dice que la tensión es igual a la deformación unitaria por el Módulo de Young, siendo este último el coeficiente de proporcionalidad entre la tensión y la deformación y es característico de cada material.

LEY DE HOOKE

$$\sigma_e = E \cdot e$$

σ_e = Tensión en la Zona Elástica

E = Módulo de Young

e = Alargamiento o Deformación Unitaria

Fig 52. Ley de Hooke.

2. **Límite Elástico y Zona de Fluencia:** Se denomina límite elástico a la tensión que limita la zona elástica de la plástica. Más allá de esta tensión, el material no recupera totalmente su forma original, sino que se queda con una deformación residual llamada “deformación permanente”. Podemos decir que es la tensión máxima que un material elástico puede soportar sin sufrir deformaciones permanentes. La zona de fluencia es aquella donde aparece un considerable alargamiento del material sin el correspondiente aumento de carga. La fluencia tiene lugar en la zona de transición entre las deformaciones elásticas y las plásticas y se caracteriza por un rápido incremento de la deformación sin aumento considerable de la carga.

3. **Zona Plástica:** En esta zona los alargamientos son permanentes. Si el ensayo se detuviese, la probeta solo recuperaría parcialmente su forma quedando deformada permanentemente. Las deformaciones en esta región son más acusadas que en la zona elástica.
4. **Zona de Estricción y Carga de Rotura:** Llegado un punto del ensayo, las deformaciones se concentran en la parte central de la probeta, apreciándose una acusada reducción de la sección- En este momento las deformaciones continuarán acumulándose hasta la rotura de la probeta por esa zona. La estricción es la responsable del descenso de la curva tensión-deformación. La carga de rotura es la fuerza a la que rompe la probeta.

En este proyecto se va a realizar el ensayo de tracción sobre cuatro muestras. Cada muestra cuenta con tres probetas, es decir, en total se realizarán doce ensayos de tracción. Las muestras son las obtenidas de los diferentes tratamientos térmicos aplicados a la fundición gris. En primer lugar se realiza el ensayo de las tres probetas obtenidas en bruto por colada, sin tratamiento térmico. A continuación, las probetas recocidas a 900 °C tras ser soldadas, después las recocidas a 450 °C antes de ser soldadas y por último, las recocidas a 450 °C antes de ser soldadas y recocidas posteriormente de ser soldadas. Una vez terminado todos los ensayos en la Máquina Universal de Ensayos, se calcula la carga de rotura, la tensión de rotura y el alargamiento de la probeta en porcentaje.

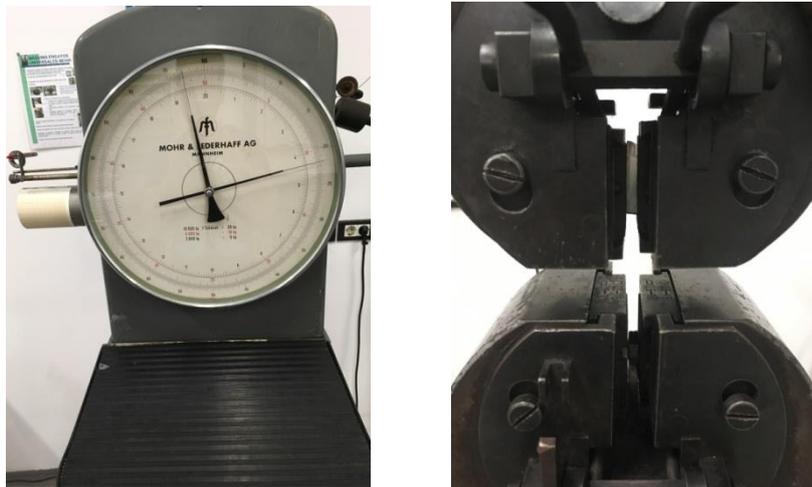


Fig 53. Realización del Ensayo de Tracción realizado en el laboratorio.

A continuación se muestran los diagramas de tensión-deformación realizados en la Máquina Universal de Ensayos:

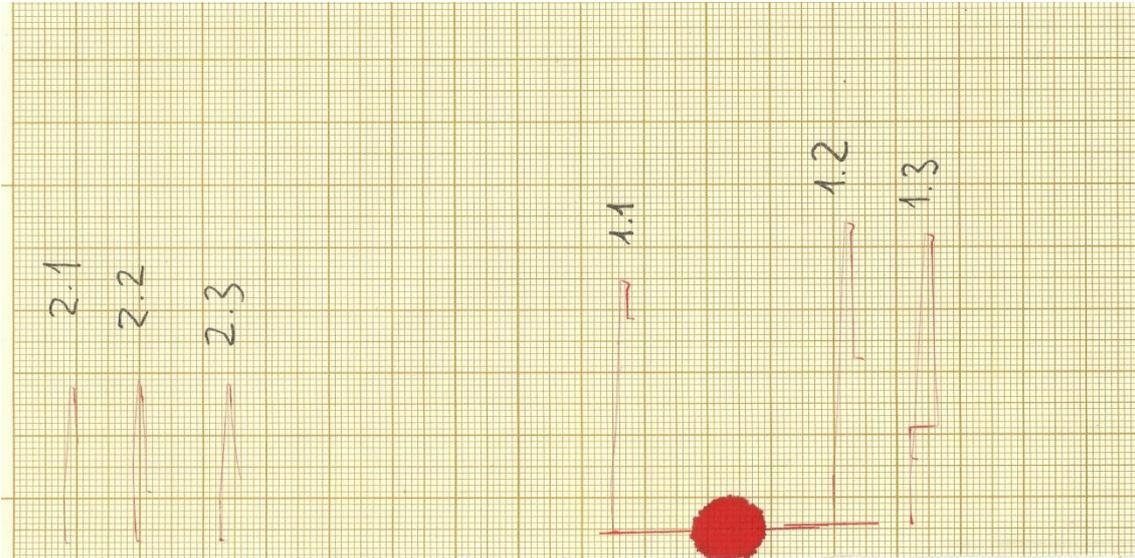


Fig 54. Diagramas de Fuerza-Alargamiento de las muestras 1 y 2.

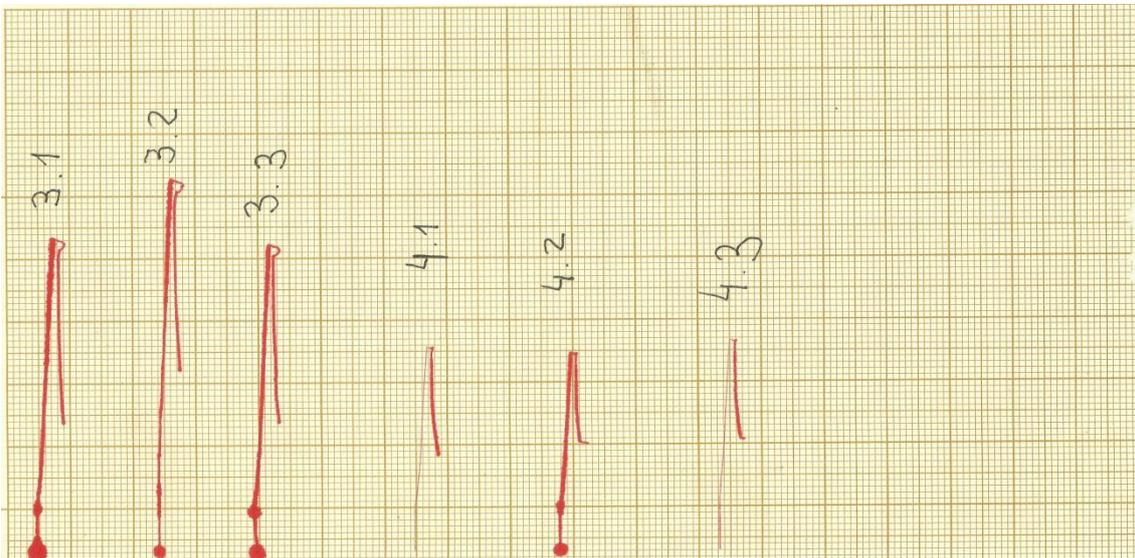


Fig 55. Diagramas de Fuerza-Alargamiento de las muestras 3 y 4.

FUNDICIÓN GRIS OBTENIDA EN BRUTO DE COLADA

	PROBETA 1.1	PROBETA 1.2	PROBETA 1.3
Dimensiones (bxe) (mm)	15x6	15x5.7	13.2x5.7
Sección (mm ²)	90	85.5	75.24
F _r (kp)	1850	2230	2140
σ _r (MPa)	205.5 +-	260.81	284.42
σ _{r media} (MPa)	250.24 ± 40.5		
ε (%)	5	5	0
ε l _{media} (%)	1.67 ± 1.44		

Gráfica Tensión – Deformación de la probeta 1:

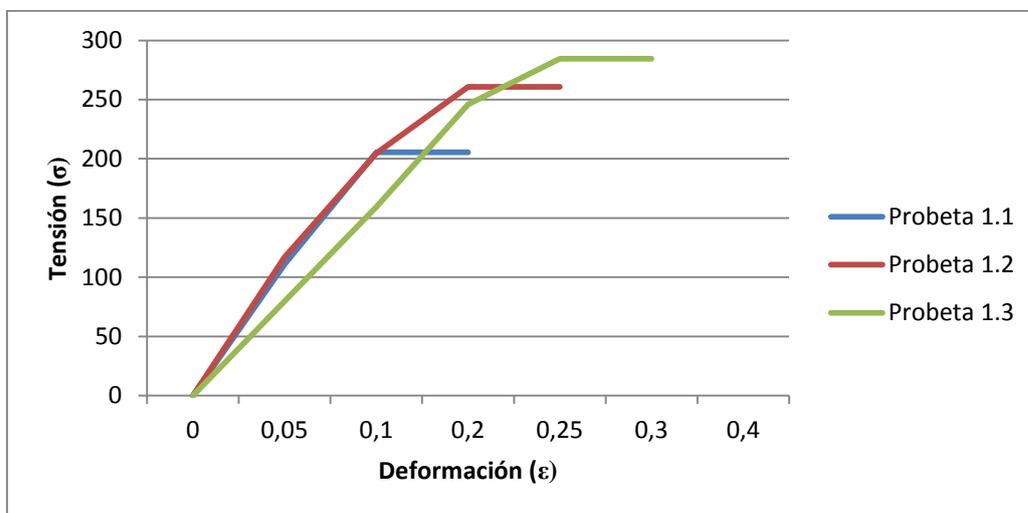


Fig 56. Probeta 1.

FUNDICIÓN GRIS RECOCIDA A 900 °C

	PROBETA 2.1	PROBETA 2.2	PROBETA 2.3
Dimensiones (bxe) (mm)	15.5x5.1	14.1x5.8	12.5x5.1
Sección (mm ²)	79.05	81.78	63.75
F _r (kp)	1090	1120	1080
σ _r (MPa)	137.89	136.69	169.41
σ _{r media} (MPa)	147.99 ± 18.55		
ε (%)	7.5	2.5	2.5
Δ ε _{media} (%)	4.16 ± 2.89		

Gráfica Tensión – Deformación de la probeta 2:

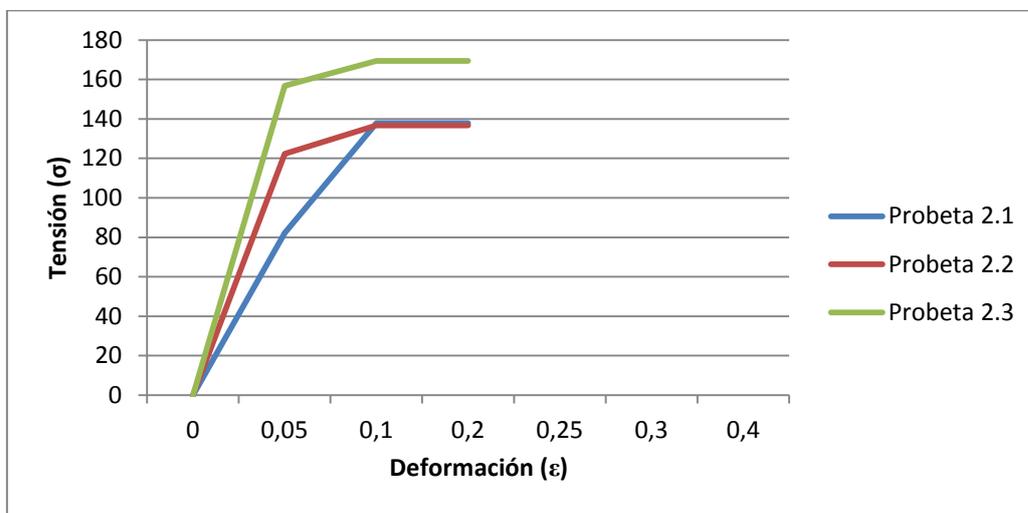


Fig 57. Probeta 2.

FUNDICIÓN GRIS PRECALENTADA A 450 °C

	PROBETA 3.1	PROBETA 3.2	PROBETA 3.3
Dimensiones (bxh) (mm)	15.8x6.4	17x6.2	14.5x5.6
Sección (mm ²)	101.12	105.4	81.2
F_r (kp)	2340	2800	2290
σ_r (Mpa)	231.41	265.65	282.02
σ_r media (MPa)	259.69 ± 25.82		
ε (%)	3.75	2.5	2.5
ε media (%)	2.92 ± 0.72		

Gráfica Tensión – Deformación de la probeta 3:

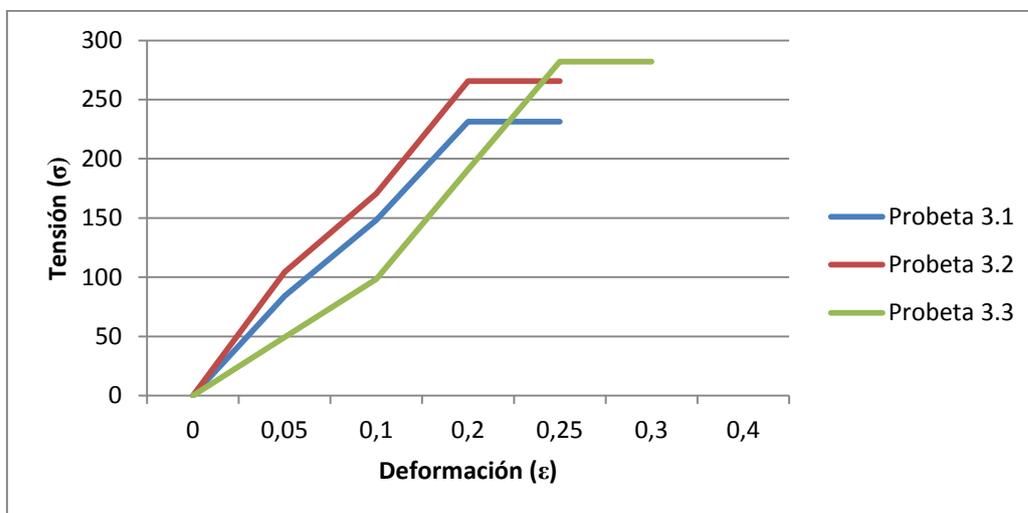


Fig 58. Probeta 3.

FUNDICIÓN GRIS PRECALENTADA A 450 °C Y RECOCIDA A 900 °C

	PROBETA 4.1	PROBETA 4.2	PROBETA 4.3
Dimensiones (bxe) (mm)	16x5.4	14x6.1	14x6.4
Sección (mm ²)	86.4	85.4	89.6
F_r (kp)	1460	1410	1500
σ_r (Mpa)	168.98	165.11	167.41
σ_r media (MPa)	167.17 ± 1.94		
ε (%)	0	2.5	3.75
ε media (%)	2.1 ± 1.91		

Gráfica Tensión – Deformación de la probeta 4:

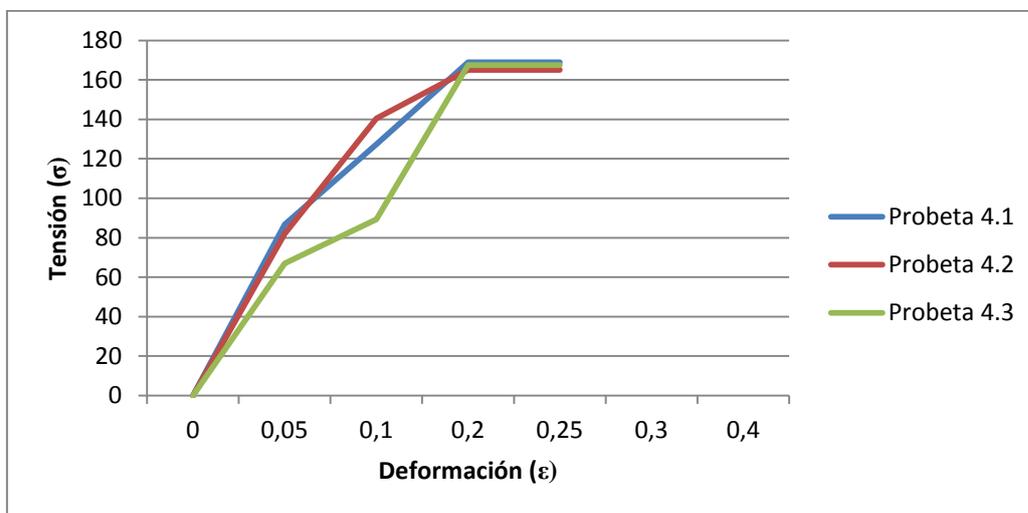


Fig 59. Probeta 4.

1.5.5. Ensayo de flexión

Un ensayo de flexión nos sirve para evaluar el comportamiento esfuerzo-deformación y la resistencia a la flexión de un material. Estos ensayos se llevan a cabo cuando el material es demasiado frágil para ser ensayado por deformación. Se denomina flexión al tipo de deformación que presenta un elemento estructural alargado en una dirección perpendicular a su eje longitudinal. El término “alargado” se aplica cuando una dimensión es preponderante frente a las otras. Un caso típico son las vigas, las que están diseñadas para trabajar, principalmente, por flexión

En nuestro proyecto, hemos realizado cuatro ensayos de flexión, uno por cada probeta con diferente tratamiento térmico. Los ensayos se han realizado en la misma máquina donde realizamos los ensayos de tracción, es decir, en la Máquina Universal de Ensayos.



Fig 60. Realización del Ensayo de Flexión.

Las fotos con las probetas que han sido sometidas a este ensayo, se muestran en el apartado anterior (Ensayo de tracción), correspondiendo de esta forma a las probetas número: 1.4, 2.4, 3.4 y 4.4.

Los resultados obtenidos de este ensayo se muestran a continuación:

	<i>Probeta 1.4</i>	<i>Probeta 2.4</i>	<i>Probeta 3.4</i>	<i>Probeta 4.4</i>
<i>Dimensiones (bxe) (mm)</i>	15x5.7	15.5x5.1	15.8x6.4	14x6.4
<i>Sección (mm²)</i>	85.5	79.05	101.12	89.6
<i>F_r (kp)</i>	250	180	175	120
<i>σ_r (Mpa)</i>	2.92	2.28	1.73	1.34

1.6. Conclusiones

- Respecto a la microestructura de cada probeta, hemos obtenido algunas probetas más duras pero frágiles y otras más dúctiles pero más blandas. Por lo tanto la utilización de cada una de ellas dependerá de la aplicación que vaya a tener el material. Si el material no va a sufrir deformaciones y va a tener que aguantar tensiones elevadas, escogeremos las probetas 1 (sin tratamiento térmico) o 3 (con precalentamiento a 450 °C). Si por el contrario lo que buscamos es un material que tenga mayor ductilidad, escogeremos cualquiera de las probetas que han sufrido un tratamiento térmico, aunque la probeta que mayor deformación ha obtenido ha sido la número 2 (tratamiento de recocido). Por último, si buscamos el material más económico, escogeremos la probeta 1 ya que al no tener que realizar ningún tratamiento térmico sobre ella, los costes son menores. Una de las advertencias que hay que tener en cuenta es que la probeta 1, al dar una microestructura de cementita columnar, puede dar problemas a la hora de soldar debido al agrietamiento que puede sufrir.
- Soldar las chapas con Níquel es más estable que si se soldara con varillas de fundición o acero al carbono, por eso escogemos este tipo de material.
- Como podemos observar en las gráficas de los ensayos de tracción, la tensión del límite elástico es prácticamente igual a la tensión de rotura. Esto se debe a que en las fundiciones grises el contenido de carbono está en forma de láminas y esto produce que sea frágil y quebradizo. Sin embargo, la resistencia a la compresión es mayor.



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA

E.T.S. de Ingeniería del Diseño
Universitat Politècnica de València



Capítulo II: PLIEGO DE CONDICIONES

CARACTERÍSTICAS MECÁNICAS Y MICROESTRUCTURALES
DE LA SOLDADURA DE FUNDICIÓN GRIS POR
PROCEDIMIENTO TIG CON APORTE DE VARILLA DE Ni AL
57% SOMETIDA A DISTINTOS TRATAMIENTOS TÉRMICOS

Pliego de condiciones

2.1. Fenómenos producidos por el encendido del arco y transporte del material

Saber encender el arco y mantener su continuidad es una de las bases de la soldadura eléctrica. Se enciende el arco, cuando la corriente eléctrica es obligada a saltar el espacio existente entre la punta del electrodo y el metal base, manteniendo una longitud adecuada, que permita formar un buen cordón de soldadura.

Para poder realizar un buen encendido del arco tenemos que seguir los pasos descritos a continuación:

1. Bajar el electrodo en posición vertical hacia el metal base.
2. Tan pronto como la punta del electrodo toque la pieza, se retira momentáneamente el electrodo hasta formar un arco largo y luego, inmediatamente, se baja a la longitud normal, que permita ejecutar un punto de soldadura o un cordón.
3. Realizamos el cordón de soldadura manteniendo la punta del electrodo a una distancia en la cual el arco este bien cebado y permita realizar el trabajo correctamente. Para ello tendremos que mantener el electrodo con un ángulo de inclinación de aproximadamente 60° .

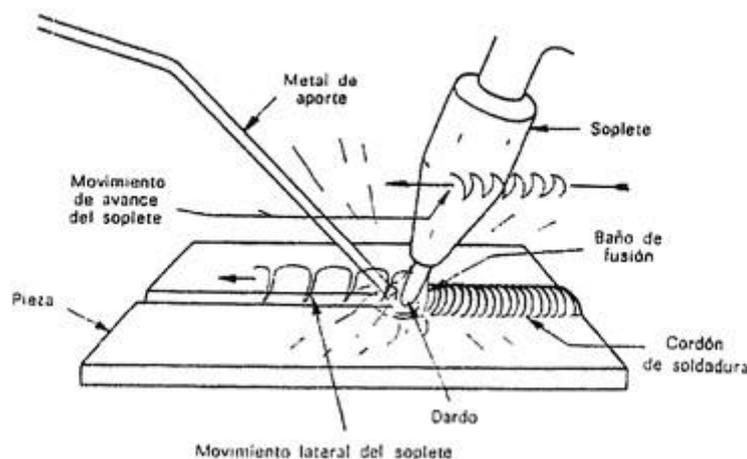


Fig 61. Procedimiento para realizar el cordón en soldadura TIG.

2.2. Defectos producidos en el cordón por la longitud del arco

Generalmente, la longitud del arco deberá ser aproximadamente igual al diámetro del electrodo. Si el arco está demasiado largo, el metal se derrite del electrodo en grandes glóbulos que oscilan de un lado al otro a medida que el arco oscila. Esto produce un depósito ancho, salpicado e irregular sin suficiente fusión entre el metal original y el metal depositado. Además, cuando el arco es demasiado largo, el calor del flujo de arco disipa rápidamente, causando salpicaduras considerables. Un arco largo puede reconocerse por un silbido continuo muy parecido al escape de vapor.

Un arco que está demasiado corto no genera suficiente calor para derretir correctamente el metal que se tiene que soldar. Además, el electrodo se pegará frecuentemente y producirá depósitos desiguales con ondas irregulares. Un arco más corto normalmente es mejor para soldadura vertical porque se puede lograr mejor control de la mezcla de metales fundidos. El uso de un arco corto también evita la entrada de impurezas de la atmósfera en la soldadura. Cuando el electrodo, la corriente y la polaridad son correctos, un buen arco corto produce un sonido agudo de crepitación.

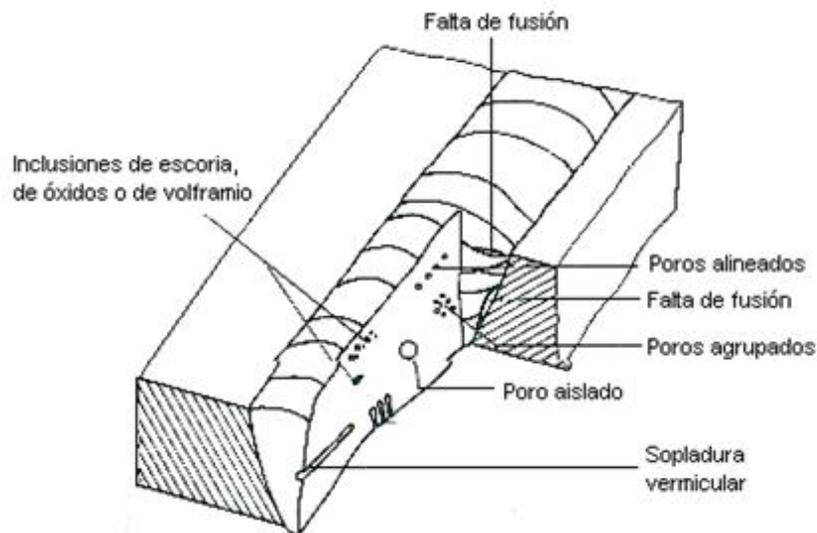


Fig 62. Defectos producidos en la soldadura por los efectos de la longitud del arco.

2.3. Acabado del extremo del electrodo

La forma del extremo del electrodo es muy importante pues, si no es la correcta, existe el riesgo de que el arco eléctrico sea inestable. En la siguiente imagen se muestra diferentes acabados del extremo del electrodo, indicándose las características peculiares de cada tipo. En general, es preferible seleccionar un electrodo tan fino como sea posible, con objeto de concentrar el arco y obtener de este modo un baño de fusión reducido.

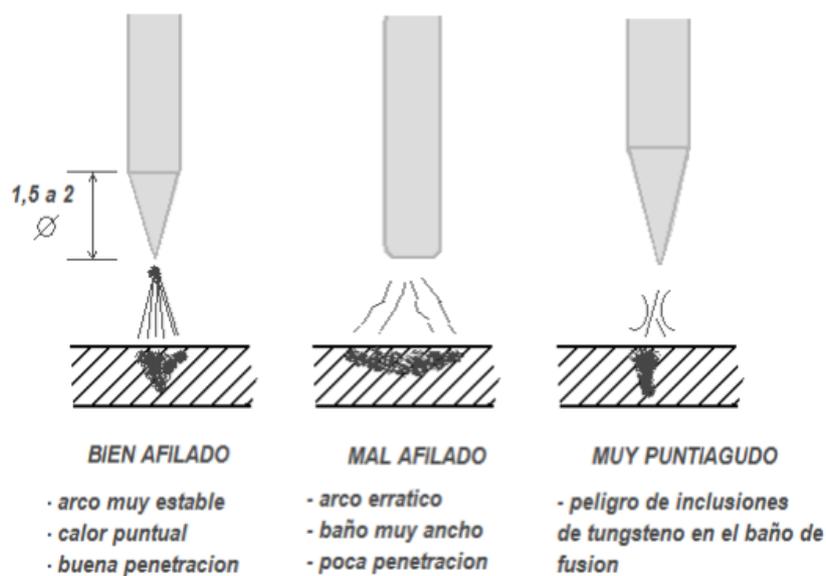


Fig 63. Formas de acabados de la punta del electrodo.

Los electrodos para soldeo con corriente continua deben tener punta. Es importante que el amolado se efectúe correctamente, éste debe hacerse en la dirección longitudinal del electrodo. Una longitud correcta de la punta del electrodo es dos veces el diámetro de éste. El extremo puntiagudo en exceso del electrodo debe ser eliminado con la piedra de amolar.

En el soldeo con corriente alterna el extremo de la punta debe estar ligeramente redondeado. La punta se redondea por sí sola si el electrodo es cuidadosamente sobrecargado, haciéndose innecesario amolarla.

2.4. Contaminación del electrodo

En la siguiente tabla se resumen las causas que pueden provocar la contaminación y sus soluciones.

Tipo de contaminación del electrodo	Causa de la contaminación	Soluciones
Por el metal de soldadura o el metal de aportación fundidos.	Contacto entre el electrodo y la varilla durante el soldeo o al introducir el electrodo en el baño de fusión.	Utilizar una buena técnica de soldeo evitando este tipo de contacto.
Por aire.	<ul style="list-style-type: none"> • Longitud del electrodo demasiado grande. • Caudal de gas de protección insuficiente. 	<ul style="list-style-type: none"> • Utilizar una longitud máxima del electrodo igual al diámetro de la boquilla. • No utilizar menos caudal de gas que el recomendado.
Por agua.	Fugas en la refrigeración.	Eliminar fugas.

2.5. Equipo de soldadura

El circuito de soldadura está compuesto principalmente por los siguientes elementos:

1. Generador de corriente
2. Soplete porta electrodo de tungsteno con haz de cables
3. Varilla de material de aporte
4. Bombona de gas con circuito de presión
5. Pinza con cable de masa



Fig 64. Equipo de soldadura.

1. Generador de corriente

El generador de corriente tiene la finalidad de alimentar el arco eléctrico que se crea entre el material base y el electrodo de tungsteno, a través de la salida de una cantidad de corriente suficiente para mantenerlo encendido.

En su interior normalmente se coloca un dispositivo de regulación de la corriente de soldadura, de tipo mecánico (shunt magnético) o electrónico (sistema de tiristores o inverter). Se pueden identificar dos categorías de pertenencia:

1.1. Generador de corriente alterna AC (alternating current)

La corriente que sale del generador asume la forma de una onda típicamente cuadrada, que cambia su polaridad con intervalos regulares, con una frecuencia de 20 a 200 ciclos por segundo (Hertz) o más, dependiendo del tipo de generador utilizado. Ésta se obtiene mediante uno o más dispositivos, cuya función es transformar la corriente sinusoidal de red en una corriente alterna de soldadura adecuada.

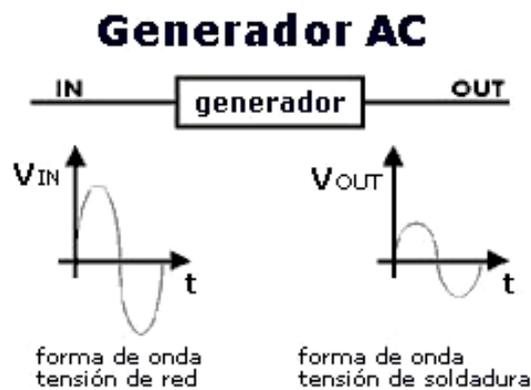


Fig 65. Corriente alterna.

1.2. Generador de corriente continua CC (direct current)

La corriente en salida del generador presenta una forma de onda continua, que se obtiene mediante dispositivos que permiten la conversión de la corriente de alterna a continua.

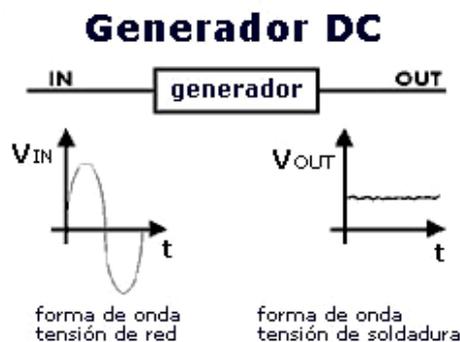


Fig 66. Corriente continua.

En el caso que el circuito de soldadura esté formado por un generador de corriente continua (CC) puede introducirse una ulterior clasificación en función de la modalidad de conexión de los polos de la fuente de soldadura al material a soldar o de la forma de onda de la corriente de soldadura:

1.2.1. Corriente continua con conexión en polaridad directa

Con la polaridad directa el soplete, con el relativo cable, se conecta al polo negativo y el material a soldar al polo positivo de la fuente distribuidora; en este caso los electrones fluyen del electrodo hacia la pieza provocando la fusión.

Es el tipo de corriente más utilizada con el sistema TIG y garantiza una buena soldabilidad en casi todos los metales y las aleaciones comúnmente soldables, con excepción del aluminio. La corriente continua con polaridad directa produce un baño de fusión estrecho y profundo así como una penetración muy superior a la que se obtiene con la polaridad inversa.

1.2.2. Corriente continua con conexión en polaridad inversa

Soldando con esta polaridad el soplete, con el relativo cable, se conecta al polo positivo y la pieza al polo negativo de la máquina distribuidora.

Este tipo de alimentación es escasamente utilizado porque produce un baño plano con escasa penetración. La polaridad inversa causa por sí misma un excesivo calentamiento del electrodo; para conseguir que éste no se quemara deben emplearse intensidades de corriente más bien reducidas. De esta manera se justifica su limitado empleo.

2. Soplete porta electrodo de tungsteno con haz de cables

El soplete porta electrodo es un dispositivo que engloba el electrodo de tungsteno, y está conectado a algunos cables conectados al generador, los cuales tiene como tarea alimentarlo eléctricamente y distribuir el gas de protección.

En función del tipo de empleo, puede haber sopletes con enfriamiento natural, a través del gas de protección, si son necesarias intensidades bajas de corriente, y sopletes con enfriamiento por agua, cuando son necesarias corrientes elevadas (200-500 A) y soldaduras frecuentes.

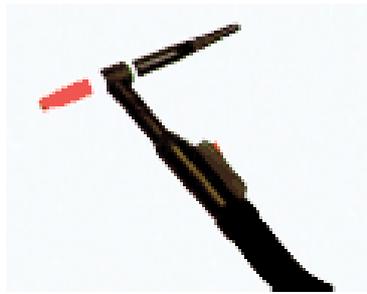


Fig 67. Soplete porta electrodo de tungsteno.

3. Varilla de material de aporte

El espesor del material, el tipo de junta y las características de soldadura deseadas influyen en la necesidad de usar o no un metal de aporte a añadir al baño. El añadido del metal de aporte en la soldadura manual se efectúa inmergiendo una varilla de material en la zona del arco, lateralmente al baño de fusión.

El metal de aporte es a menudo similar al metal base y con frecuencia se añaden limitadas cantidades de desoldantes u otros elementos que mejoran las propiedades de la zona fundida.

4. Bombona de gas con circuito de presión

La bombona de gas con circuito de presión está compuesta de:

- Una bombona que contiene el gas o los gases de protección. Los gases más utilizados para la protección del arco son helio o argón, o una mezcla de los dos.

- Un manómetro, instrumento utilizado para indicar la cantidad de gas en el interior de la bombona.
- Un reductor de presión.
- Una electro-válvula, presente en el caso que el soplete esté dotado de pulsador de cebado, controlada por el mismo pulsador, el cual abre y cierra el flujo de gas dependiendo de las necesidades del operador.

5. Pinza con cable de masa

La pinza con cable de masa permite la conexión eléctrica entre el generador de corriente y el material base a soldar. El cable debe tener un tamaño y una longitud en función del amperaje máximo de la fuente de soldadura.

2.6. Agentes químicos presentes en la soldadura

Los agentes químicos que pueden estar presentes en las tareas de soldadura descritas son:

2.6.1. Procedentes del material base.

1. Compuestos de cromo (III)
2. Compuestos de cromo (VI)
3. Compuestos inorgánicos insolubles de níquel
4. Óxido de hierro (III): Fe_2O_3
5. Óxido de manganeso (IV): MnO_2

2.6.2. Procedentes de las varillas de aportación.

En general, serán los mismos agentes presentes en el material base aunque también podrían contener pequeños porcentajes de otros materiales incluidos para mejorar características específicas.

2.6.3. Procedente de la acción de la radiación ultravioleta del arco sobre el oxígeno del aire.

6. Ozono: O_3

2.7. Factores de riesgo más importantes

- Ausencia de equipos de ventilación o deficiencias en el diseño o funcionamiento de éstos.
- Adiestramiento deficiente de los trabajadores en el uso de los equipos de ventilación.

- Ausencia de formación en el uso de pantalla de soldadura, concretada en la elección de un ocular muy oscuro que obligue al trabajador a acercarse mucho al punto de soldadura.
- Realización del trabajo en posiciones desfavorables: soldadura de suelo, de techo o soldadura horizontal con excesiva proximidad al punto de soldadura.
- Ausencia de protección individual respiratoria en las que resulte necesaria.

2.8. Prevención de riesgos

2.8.1. Medidas de reducción y control de riesgo

2.8.1.1. Ventilación por extracción localizada

Para las operaciones de soldadura, con la única posible excepción de las que tengan carácter puntual o excepcional, se utilizará siempre ventilación por extracción localizada en cada puesto de trabajo.

2.8.1.2. Ventilación general

La ventilación general del recinto donde se ubican los puestos de soldadura debe proporcionar un caudal suficiente de aire para diluir la contaminación residual hasta niveles insignificantes, con un barrido completo, y garantizar una compensación rápida con aire limpio exterior del aire extraído mediante los equipos de aspiración, para evitar que una depresión excesiva del local cause un mal funcionamiento de estos equipos.

2.8.1.3. Medidas de mantenimiento del sistema de control técnico

Se realizará el mantenimiento de los equipos de ventilación por extracción localizada siguiendo las instrucciones del fabricante.

2.8.1.4. Medidas de seguimiento del sistema de control técnico

Se debería realizar una inspección visual de los equipos de ventilación antes de cada uso en busca de signos externos de daño, como conductos rotos, campanas deformadas, etc. Cuando se detecten se comunicarán inmediatamente para que puedan ser subsanados.

Es recomendable comprobar periódicamente (al menos cada seis meses) el funcionamiento de los equipos, midiendo los parámetros fundamentales y comparando los datos con los valores de diseño. Se registrarán los resultados de estas comprobaciones y conviene que se guarden por lo menos durante cinco años.

2.8.1.5. Delimitación, señalización y restricción de acceso

Las zonas en las que se desarrollen los trabajos de soldadura de acero inoxidable deben ser delimitadas y disponer de señalización que alerte del peligro que supone para la salud respirar los humos de soldadura, debido a la posible presencia de compuestos de cromo y níquel. Sólo se permitirá el acceso a las mismas al personal que deba operar en ellas.

2.8.1.6. Medidas específicas para espacios confinados

Hasta donde sea posible deberían organizarse los trabajos de soldadura de acero inoxidable para evitar realizarlos en espacios confinados. Cuando fuera imprescindible llevarlos a cabo, las medidas de control deberían consistir en una combinación de ventilación forzada, protección individual respiratoria y rotación de los soldadores.

La ventilación forzada, preferiblemente por impulsión mediante conductos flexibles conectados a ventiladores situados en el exterior, ha de dispersar los humos alejándolos de la cara del soldador, diluirlos, y garantizar la llegada de aire limpio a todos los puestos de trabajo, cuidando de que las corrientes inducidas no perturben el flujo del gas de protección.

La protección individual, que ha de usarse durante todo el tiempo de permanencia en el espacio confinado, debería consistir en una pantalla de soldadura de cabeza cerrada con aportación de aire filtrado a la cara que, al crear una sobrepresión dentro de la pantalla, impide la entrada de los contaminantes generados. Este tipo de protección respiratoria debe complementarse con cristales de protección ocular de oscurecimiento automático al recibir la primera radiación del arco de soldadura, ya que ello permite la utilización permanente de la protección respiratoria, es decir, incluso durante las pausas de soldeo. La rotación de los soldadores será de obligada consideración para trabajos de duración prolongada.

Las medidas de mantenimiento y seguimiento de los dos apartados anteriores se extenderán también a los equipos de impulsión utilizados.

En cualquier caso, en espacios confinados estas tareas deben realizarse siempre con permiso expreso de trabajo, tras la verificación por un responsable competente de las condiciones en que van a llevarse a cabo.

2.8.2. Medidas de protección individual

2.8.2.1. Protección individual respiratoria

Salvo en situaciones de exposición excepcionales o de muy corta duración, no resultará aceptable confiar todo el control del riesgo a la utilización por el trabajador de un equipo de protección individual (EPI) respiratoria. No obstante, en los trabajos de soldadura de aceros inoxidables o de aceros altamente aleados con cromo o níquel, dada la gravedad de los daños que pueden producirse, el empresario pondrá a disposición de los trabajadores expuestos, que los soliciten, equipos adecuados de protección respiratoria incluso si las medidas técnicas de control existentes han mostrado

fehacientemente su suficiencia. En tal caso el uso de los equipos será voluntario para los trabajadores.

Si en alguna tarea, pese a utilizar las mejores medidas técnicas y organizativas de control disponibles, no fuera posible conseguir que la exposición de los trabajadores estuviera por debajo del valor límite, la utilización de protección individual respiratoria será obligatoria y, si hubiera de emplearse por periodos prolongados, se recurrirá preferentemente a equipos de suministro de aire y a medidas organizativas de rotación de los trabajadores. En estos casos habrá de considerarse obligada para los trabajadores la vigilancia de la salud.

En realidad, en todos los casos en que haya que usar protección individual respiratoria (exposiciones ocasionales o puntuales, insuficiencia de las medidas de protección colectiva pese a su buen diseño e implantación e, incluso, utilización voluntaria por los trabajadores) es más que recomendable recurrir a pantallas de soldadura cerradas con aportación de aire filtrado, por su indudable mayor comodidad y por la dificultad que presenta hacer compatibles otros equipos de protección con las pantallas de soldadura de cabeza, que son siempre preferibles a las de mano.

El mal uso de los EPI puede ocasionar un daño grave a la salud de los trabajadores, por lo que el empresario se asegurará de que estos reciban una información y adiestramiento suficientes sobre su utilización correcta, con especial atención a su ajuste a las vías respiratorias, así como sobre la limpieza, conservación, almacenamiento y necesidad de sustitución. A estos efectos, entre otras fuentes, se tendrán en cuenta las instrucciones del fabricante.

2.8.2.2. Protección personal

Los elementos de Protección Personal (EPP), son equipos o dispositivos para ser utilizados por el soldador durante su jornada de trabajo. Lo protegen de enfermedades profesionales ante la presencia de riesgos específicos que no pueden ser aislados o eliminados, aumentando su seguridad y salud en el trabajo.

- **Máscara o careta de soldar:** Este tipo de casco es esencial para realizar una soldadura. Su finalidad es la de proteger los ojos, la cara y el cuello de las

radiaciones que existen durante el proceso de soldadura. Esta máscara debe estar dotada de filtros inactivos de acuerdo al proceso e intensidad de corriente que se emplea en la soldadura.



Fig 68. Máscara para soldar.

- **Gafas de seguridad:** Este tipo de gafas se utilizan en todos aquellos momentos en los que te encuentras expuesto a la proyección de partículas. Se suelen poner debajo de la máscara protectora.



Fig 69. Gafas de seguridad.

- **Gorro:** Este elemento sirve para proteger la cabeza de cualquier tipo de proyección que pueda desprenderse de la soldadura.

- **Guantes de cuero:** Imprescindibles para manejar piezas que han sido soldadas y que por lo tanto están a altas temperaturas.



Fig 70. Operario con guantes y máscara de soldeo.

- **Delantal de cuero:** Sirve para proteger el torso de posibles salpicaduras o proyección de la soldadura así como para proteger el cuerpo de la exposición a los rayos ultravioletas.
- **Botas de cuero:** Botas que poseen una punta de acero para proteger los pies ante un posible desprendimiento de piezas metálicas con las que se está maquinando.

2.9. Ensayo de dureza bajo la norma UNE 7-054-73

Para la realización del ensayo de dureza Vickers, se han aplicado los diferentes aspectos que establece la norma UNE 7-054-73. Dicho ensayo se ha realizado mediante un durómetro Vickers, situado en el laboratorio del Edificio de Ciencia de los Materiales en la Universidad Politécnica de Valencia. Gracias a esta máquina hemos podido obtener las diferentes durezas de las probetas a ensayar.

2.10. Ensayo de tracción bajo la norma ASTM E8

Esta norma otorga los procedimientos que hay que seguir para ensayar metales a tracción. En nuestro caso, hemos realizado el ensayo de tracción para las cuatro probetas con diferentes tratamientos térmicos, a través de una Máquina Universal de Ensayos situada en el laboratorio que pertenece al Edificio de Ciencias de los Materiales de la Universidad Politécnica de Valencia. Dichos ensayos nos han servido para obtener datos sobre las características mecánicas de la fundición gris sometida a una soldadura TIG con aporte de varilla de Ni al 57 %.

2.11. Ensayo de flexión bajo la norma EN ISO 178

Esta norma nos permite conocer los diferentes aspectos que tenemos que tener en cuenta para realizar un ensayo de flexión. Al igual que el ensayo de tracción, el ensayo de flexión se realiza en la Máquina Universal de Ensayos, también disponible en el laboratorio anteriormente citado. Con este ensayo hemos podido determinar la carga máxima de flexión que soporta cada probeta.

2.12. Norma UNE EN-ISO 3834-1

Esta norma establece todos los requisitos de calidad que debemos tener presentes para el soldeo.



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA

E.T.S. de Ingeniería del Diseño
Universitat Politècnica de València



Capítulo III: PRESUPUESTO

CARACTERÍSTICAS MECÁNICAS Y MICROESTRUCTURALES
DE LA SOLDADURA DE FUNDICIÓN GRIS POR
PROCEDIMIENTO TIG CON APORTE DE VARILLA DE Ni AL
57% SOMETIDA A DISTINTOS TRATAMIENTOS TÉRMICOS

Presupuestos

3.1. Introducción

Para la elaboración de este proyecto, se ha realizado un presupuesto a través de una serie de cuadros esquemáticos con los precios unitarios y descompuestos del proceso de soldadura realizado en los diferentes ensayos de los que se compone este trabajo final de grado. A continuación se detallan tanto los precios como las actividades realizadas en el ensayo en cuestión.

3.2. Cuadro de precios

A. MATERIALES					
Ref.	Descripción	Ud.	Cant.	Precio [€/Ud]	Precio Total [€]
A.1.	Dos placas de fundición gris obtenidas en bruto de colada de dimensiones 300x100x5 mm	Kg	3	5.39	16.17
A.2.	Varilla de Níquel al 57%.	Uds	10	6	60
TOTAL A.					76.17

B. TRATAMIENTOS TÉRMICOS					
Ref.	Descripción	Ud.	Cant.	Precio [€/Ud]	Precio Total [€]
B.1.	Recocido a 900 °C	h	4	20	80
B.2.	Pre calentamiento a 450 °C	h	2	20	40
B.3.	Pre calentamiento a 450 °C + Recocido a 900 °C	h	6	40	240
TOTAL B.					360

C. PROCESO DE SOLDEO					
Ref.	Descripción	Ud.	Cant.	Precio [€/Ud]	Precio Total [€]
C.1.	Energía consumida para el proceso de soldeo TIG.	KWh	35.71	0.14	5
C.2.	Gas Argón utilizado para soldar mediante procedimiento TIG.	Litros	11.1	1.8	20
C.3.	Mano de obra de la soldadura.	h	10	50	500
TOTAL B.					525

D. PROCESOS DE MECANIZADO						
Ref.	Descripción	Nº piezas	Tiempo [min]		Precio Operario [€/h]	Precio Total [€]
			Pieza	Total		
D.1.	Proceso de corte de cuatro placas de fundición gris en 16 probetas de dimensiones 80x15x5 mm mediante una sierra de banda.	16	7	120	40	80
D.2.	Proceso de embutir las probetas.	4	20	80	40	53.33
D.3.	Proceso de desbastado y pulido de las probetas embutidas.	4	60	240	40	160
TOTAL C.						293.33

E. ENSAYOS						
Ref.	Descripción	Nº piezas	Tiempo [min]		Precio Operario [€/h]	Precio Total [€]
			Pieza	Total		
E.1.	Ensayo de dureza Vickers	4	20	80	50	66.66
E.2.	Ensayo de tracción	12	15	180	50	150
E.3.	Ensayo de flexión	4	15	60	50	50
TOTAL D.						266.66

3.3. Resumen del presupuesto final

<i>Descripción</i>	<i>Coste Total [€]</i>
A. MATERIALES	76.17
B. TRATAMIENTOS TÉRMICOS	360
C. PROCESO DE SOLDEO	525
D. PROCESOS DE MECANIZADO	293.33
E. ENSAYOS	266.66
TOTAL PRESUPUESTO (+IVA 21%)	1840.6



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA

E.T.S. de Ingeniería del Diseño
Universitat Politècnica de València



Capítulo IV: BIBLIOGRAFÍA

CARACTERÍSTICAS MECÁNICAS Y MICROESTRUCTURALES
DE LA SOLDADURA DE FUNDICIÓN GRIS POR
PROCEDIMIENTO TIG CON APORTE DE VARILLA DE Ni AL
57% SOMETIDA A DISTINTOS TRATAMIENTOS TÉRMICOS

Bibliografía

-Apuntes de la asignatura de soldadura del segundo curso del Grado en Ingeniería Mecánica.

- Conocimientos suministrados por el profesor y director del TFG Manuel Pascual Guillamón.

Consultas en Internet:

<https://ingemecanica.com/tutorialsemanal/tutorialn108.html> (Fundición gris)

<https://estudioyensayo.files.wordpress.com/2008/11/fundicion-gris.pdf> (Fundición gris; Características)

https://www.ecured.cu/Fundici%C3%B3n_gris (Fundición gris)

<http://www.areatecnologia.com/tipos-de-soldadura.html> (Soldadura; Tipos)

<https://www.lincolnelectric.com/es-mx/support/process-and-theory/Pages/arc-welding-detail.aspx> (Soldadura por arco eléctrico)

<http://www.telwin.com/es/telwin-academy/saldatura/tig-welding/> (Soldadura TIG)

https://www.ecured.cu/Soldadura_por_arco_el%C3%A9ctrico (Soldadura TIG)

<https://ingemecanica.com/tutorialsemanal/tutorialn40.html> (Soldadura TIG)

<http://www.areatecnologia.com/materiales/ensayo-de-traccion.html> (Ensayo tracción)

https://www.ecured.cu/Ensayo_a_la_dureza_Vickers (Ensayo de dureza)

<https://rodas5.us.es/items/202507ce-80cd-de00-adeb-3cfc45af189d/2/viewscorm.jsp>
(Ensayo de flexión)

<http://stp.insht.es:86/stp/basequim/011-soldadura-manual-tig-de-aceros-inoxidables-y-de-alta-aleaci%C3%B3n-con-cromo-o-n%C3%ADquel-exposi> (Prevención de riesgos)

<https://sparkweld.wordpress.com/2016/11/28/elementos-de-proteccion-personal-epp-para-el-soldador/> (EPIs)

https://www.upv.es/materiales/Fcm/Fcm02/pfcm2_7_2.html (Norma UNE dureza)

<http://www.instron.es/es-es/testing-solutions/by-material/metals/tension/astm-e8---shoulder-specimen> (Norma UNE tracción)

<https://www.aimplas.es/analisis-ensayos/tipos-de-ensayos/propiedades-mecanicas/ensayo-flexion> (Norma UNE flexión)

<https://www.seas.es/soldadura/curso-soldadura-tig> (Norma UNE soldadura)