

TRABAJO FINAL DE GRADO

SOLDADURA DE FUNDICIÓN NODULAR
(DÚCTIL) CON ELECTRODOS DE APORTE
DE NI-FE PARA LA RAÍZ DE LA SOLDADURA
Y NI-CU EN LA SOLDADURA DE RELLENO,
PARA REPARACIONES DE GRANDES
VÁLVULAS SUBTERRANEAS OBTENIDAS
POR MOLDEO

Autor: Rubén Martínez García

Tutor: Manuel Pascual Guillamón

GRADO INGENIERÍA MECÁNICA

CURSO ACADÉMICO 2020-2021

Índice

1. OBJETIVO.....	3
2. INTRODUCCIÓN.....	4
3. SOLDEO Y SOLDADURA.....	4
4. MÉTODOS DE SOLDEO.....	6
4.1 Arco eléctrico con electrodo.....	6
4.2 TIG (Tungsten Inert Gas).....	6
4.3 MIG/MAG (Metal Inert Gas/Metal Active Gas).....	8
4.4 Soldeo por oxigás.....	9
4.5 Soldadura por resistencia.....	10
5. MATERIALES UTILIZADOS.....	11
6. PROCESO DE SOLDADURA.....	13
6.1 PREPARACION DE PIEZAS.....	13
6.2 PRECALENTAMIENTO PIEZA.....	14
6.3 SOLDADURA DE RAIZ.....	15
6.4 SOLDADURA DE RELLENO.....	15
6.5 POST-TRATAMIENTO.....	16
7. DEFECTOS DEL PROCESO DE SOLDADURA.....	17
7.1 Deformaciones y/o alabeos.....	17
7.2 Falta de alineación.....	17
7.3 Mordedura.....	18
7.4 Descuelgue.....	18
7.5 Porosidades.....	19
8. ELABORACIÓN DE PROBETAS PARA ENSAYO A TRACCION.....	19
9. ENSAYO DE TRACCION.....	20
9.1 Equipo de ensayo a traccion.....	20
9.2 Tensión de Rotura.....	23
9.3 Elongación.....	23
9.4 Módulo de Young.....	24
9.5 Resultados.....	24
10. ELABORACION DE PROBETAS DE METALOGRAFÍA.....	26
10.1 EMBUTIR LA PIEZA.....	27

10.2	DESBASTE CON AGUA.....	28
10.3	PULIDO	30
10.4	ATAQUE	31
10.5	ANÁLISIS DE MICRODUREZAS	31
11.	6 PROCESO.....	32
12.	ANÁLISIS MICROGRAFÍAS.....	35
12.1	SIN TRATAMIENTO TÉRMICO.....	36
12.2	RECOCIDO A 600°C.....	38
12.3	RECOCIDO A 900°C.....	40
13.	PLIEGO DE CONDICIONES TÉCNICAS	42
13.1	Proceso de soldadura	42
13.2	Proceso de corte y preparado piezas.....	43
10.3	Ensayo de tracción.....	44
10.5	Micrografías y microdurezas.....	44
14.	PRESUPUESTO	45
14.1	Material	45
14.2	Maquinaria de trabajo.....	46
14.3	Mano de obra.....	46
15.	CONCLUSIONES.....	47

1. OBJETIVO

El trabajo de final de grado, que a continuación se expone, tiene como finalidad la realizar un estudio sobre el comportamiento y los cambios estructurales y de las propiedades mecánicas de una soldadura.

En nuestro caso, vamos a estudiar la viabilidad de realizar reparaciones de válvulas de fundición dúctil de gran tamaño, realizando diferentes tratamientos térmicos y realizando una serie de ensayos y pruebas para comprobar los resultados de dichos tratamientos.

Todas las piezas serán soldadas de la misma forma, una soldadura se realiza entre dos chapas mediante el método de soldadura de tipo TIG, aplicando dos tipos de varilla como material de aporte: Níquel - Hierro para la raíz, y Níquel - Cobre para el resto del relleno, tantas pasadas como sean necesarias.

Las soldaduras con aleaciones de Níquel aportan propiedades como la resistencia a la corrosión, la alta resistencia mecánica manteniendo sus propiedades a temperaturas elevadas, y gran tenacidad, ductilidad y resiliencia incluso a muy bajas temperaturas.

Es muy importante mantener la zona de soldadura con aleación de Níquel, muy limpia, ya que la aparición de azufres (contenido en casi todas las grasas y aceites) provoca la formación de grietas. Además, la pieza debe ser soldada en estado de recocido, elevando la temperatura a 500°C.

La mayor complicación en cuanto a técnica de soldeo que encontramos en el caso de las aleaciones de Níquel, es que este es un material con un punto de fusión mucho más alto que la fundición nodular, lo que hace que en muchos casos (especialmente con la aleación de Ni-Cu), cuesta mucho hacer transcurrir el material fundido del electrodo por el material base consiguiendo que se unan y formen una mezcla lo suficientemente homogénea como para conseguir un resultado de soldeo óptimo.

Las chapas se someterán a diferentes post-tratamientos: un precalentamiento de 500°C, para que, a la hora de ser soldadas, estén a una temperatura de entre 400 y 450°C. Una de ellas se dejará enfriar a temperatura ambiente, la segunda se realizará un recocido a 600°C y la tercera y última se recocerá elevando la temperatura a 900°C.

Por último, para verificar los diferentes tratamientos aplicados y diferenciar la forma en que han influido en la estructura de nuestra soldadura, se realizarán tres ensayos:

1. Ensayo a tracción
2. Ensayo de microdurezas
3. Metalografías

En conclusión, la finalidad del proyecto se basa en analizar el comportamiento de la soldadura en una fundición dúctil, dependiendo del post-tratamiento al que sometamos a cada una de las piezas soldadas.

2. INTRODUCCIÓN

La fundición es el proceso mediante el cual se fabrican aleaciones de hierro, carbono y silicio utilizando la técnica de colada por molde.

La fundición dúctil o nodular, la cual vamos a utilizar para nuestro trabajo, es una fundición en la cual la precipitación del carbono se produce en forma de esferas. Además, es un material moldeable y que como su propio nombre indica, es muy dúctil.

Estas formas del carbono, son muy importantes estructuralmente hablando, ya que no acumulan tantos puntos de tensión y hace que sea un material capaz de soportar grandes tensiones y deformaciones antes de la rotura.

Esta ductilidad es una propiedad esencial a la hora del transporte de agua a presión. Es por eso, que este estudio se va a basar en la reparación de válvulas de gran tamaño construidas en fundición nodular.

3. SOLDEO Y SOLDADURA

El soldeo es el proceso de unión entre dos piezas, con o sin calentamiento, con o sin aplicación de presión y con o sin aportación de material.

Es importante saber la diferencia entre soldeo y soldadura. Por lo tanto, hablamos de soldeo cuando nos referimos a la serie acciones a realizar para conseguir la unión de dos piezas, y

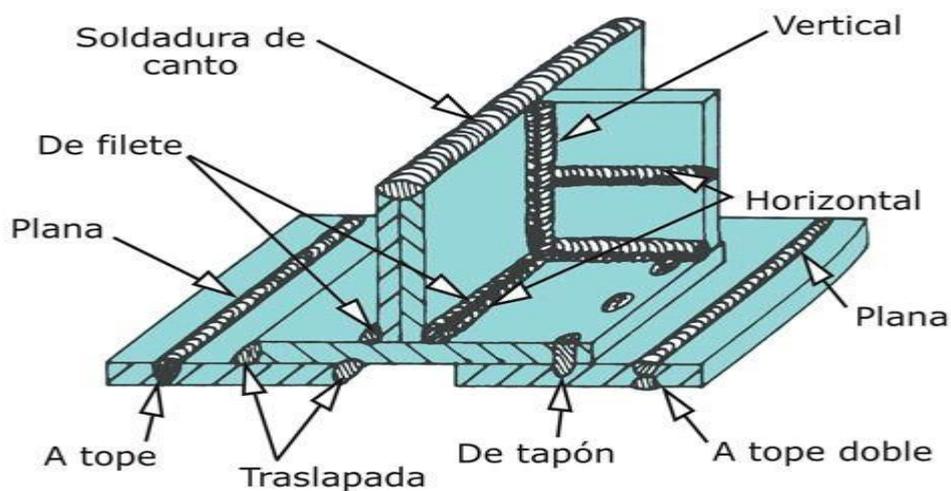
hablamos de soldadura cuando nos referimos a la unión que se obtiene como resultado de una acción de soldeo.

Dentro de la soldadura podemos diferenciar entre dos grandes grupos: la soldadura homogénea y la heterogénea.

La soldadura homogénea es la que se obtiene de la unión de dos piezas de acero con similar composición, sin utilizar material de aporte, o en caso de utilizarlo, que este sea de la misma naturaleza que las piezas a unir.

La soldadura heterogénea es aquella en la cual, para unir dos piezas, se utiliza como material de aporte una aleación de níquel. Además, también se llama soldadura heterogénea cuando sueldas dos materiales de diferente composición con un tercero, a su vez, también distinto a estos.

En nuestro caso vamos a realizar una soldadura heterogénea, soldando dos piezas de un mismo material, con un material de aporte de formado en parte por Níquel, entre otros materiales que más adelante describiremos.

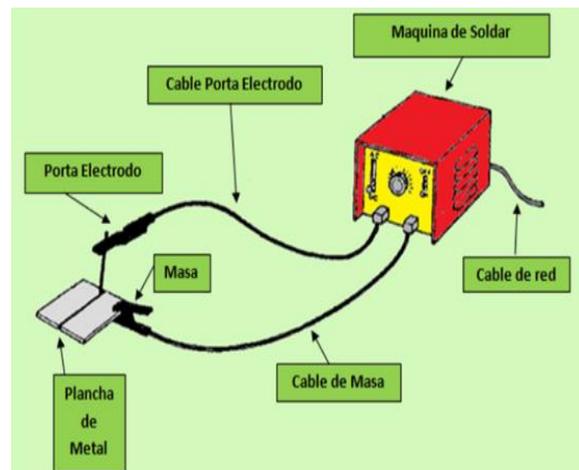


4. MÉTODOS DE SOLDEO

4.1 Arco eléctrico con electrodo

El soldeo por arco está basado en la fusión del metal a causa de la aportación de calor generado por un arco eléctrico. Este arco eléctrico se forma gracias al cortocircuito generado por el metal base y el electrodo de aportación al entrar en contacto.

Como podemos ver en la figura 1.1, el núcleo del electrodo se funde en forma de pequeñas gotas, siendo así el material de aportación. El revestimiento del electrodo se descompone haciendo de gas protector. Una vez finalizado el proceso, es necesario sanear la soldadura eliminando la escoria solidificada superficialmente.



Es un proceso no muy caro, relativamente sencillo (aunque requiere gran habilidad del soldador) y portátil. Pero su baja tasa de deposición y la necesidad de sanear la soldadura tras cada proceso ha hecho que se le haya sustituido en muchas aplicaciones por otros métodos.

4.2 TIG (Tungsten Inert Gas)

El soldeo TIG es un proceso de soldeo por arco eléctrico bajo la protección de un gas inerte, normalmente Argón, gracias a su estabilidad de arco y precio. El arco se forma entre la pieza a soldar y el electrodo (no consumible) de tungsteno que, protegido por el gas inerte, nos permite

aplicar el material en forma de varillas logrando un cordón de soldadura de gran calidad y sin producción de escoria.



El manejo del TIG es una técnica sencilla y que se asemeja a la de soldadura por llama, aportando calor hasta llegar al punto de fusión de la pieza sobre la que se trabaja, pero en este caso, aportando el material necesario. Esta técnica no es recomendada para grandes espesores (>6-8mm). Sin embargo, al poseer de las virtudes necesarias para obtener soldaduras de muy alta calidad, se utiliza para efectuar una pasada de raíz, empleando a continuación otros procesos de mayor productividad a la hora de realizar las pasadas relleno.

El acabado de esta técnica es muy limpio, ya que además de no producir escoria, también:

- No hay proyecciones.
- No hay prácticamente humo, lo que permite una visión clara.

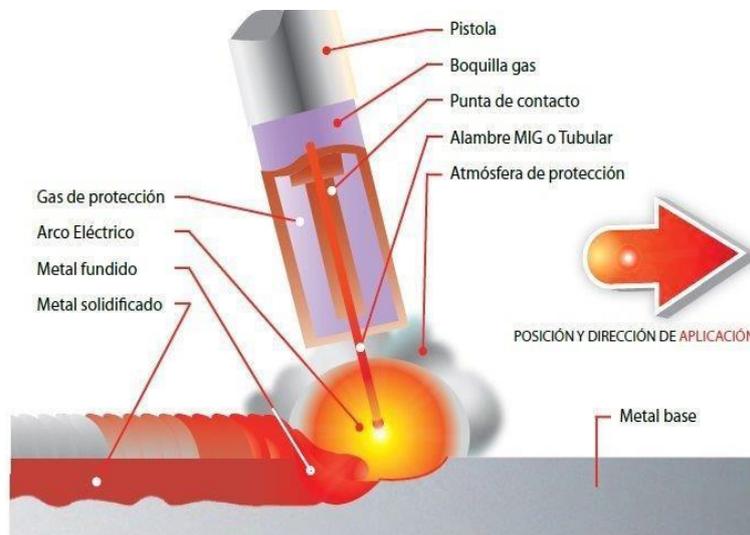


4.3 MIG/MAG (Metal Inert Gas/Metal Active Gas)

El soldeo MIG/MAG es un proceso mediante arco eléctrico con protección bajos gas, ya sea un gas inerte (MIG) como en el caso del TIG, o bien con un gas activo (MAG). En este caso, el electrodo es un alambre sin revestimiento, que se va alimentando automáticamente con una pistola de forma continua.

Este método de autoalimentación hace que sea una técnica de soldadura bastante sencilla, cómoda y rápida, ya que no debemos estar cambiando de electrodo constantemente y cebándolo. Además, no es necesario limpiar el cordón después del proceso, ya que, al estar protegido por el gas, no se contamina el cordón de material depositado. Ofrece buenos acabados, con pocas salpicaduras, y es una técnica que permite soldar en cualquier posición.

Como inconvenientes, se podría hacer referencia a la complejidad del equipo, lo que hace que no sea un equipo transportable y sea necesario llevar la pieza a soldar al punto de trabajo donde tengamos la instalación (botellas de gas, sistema de refrigeración). Además, es sensible a corrientes de aire, a la corrosión y la humedad.

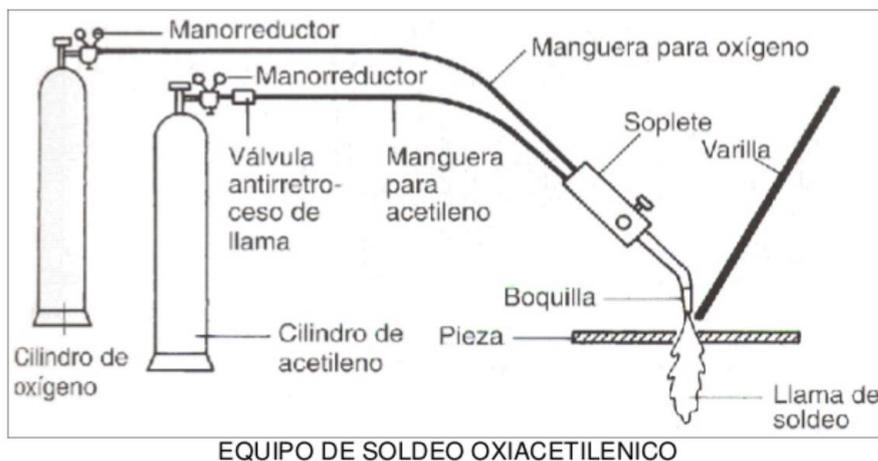


4.4 Soldeo por oxigás

El soldeo por oxigás es un proceso de soldeos por fusión, donde se la pieza se calienta por una llama obtenida por un proceso de combustión (gas + oxígeno). De esta forma se funde el material base y cabe la posibilidad de utilizar un material de aportación(varilla).

La combustión anteriormente mencionada está compuesta por 2 gases:

- Comburente: Oxígeno
- Combustible: Gas natural, propano, acetileno



Es un proceso de baja productividad y muy lento, lo que hace que la pieza alcance altas temperaturas y con ello, se produzcan grandes deformaciones y tensiones internas.

A pesar de ellos es un proceso de bajo coste con un equipo portátil, el cual, con pequeños cambios, puede ser utilizado para procesos de corte y resanado, precalentamiento, enderezado y muchos más procesos. Además, el soldador tiene la capacidad de controlar la temperatura y la aportación de calor de manera independiente.

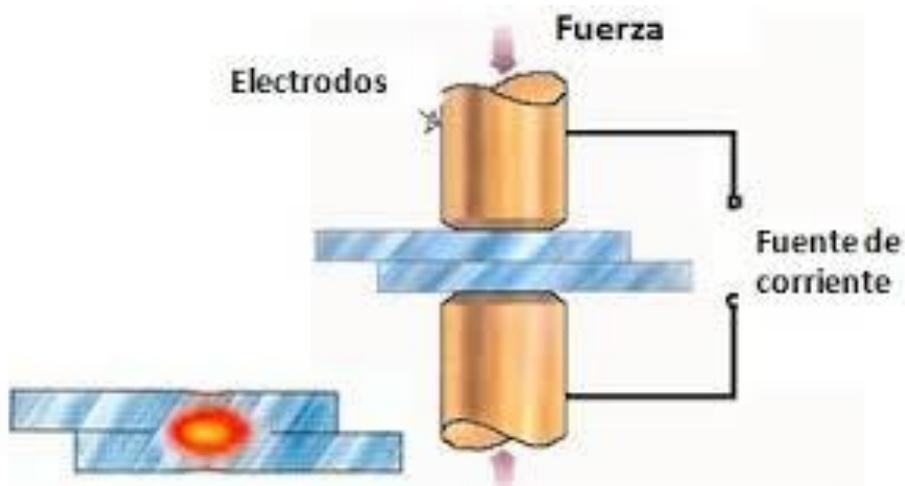


4.5 Soldadura por resistencia

El soldeo mediante el proceso de resistencia viene dado como su propio nombre indica, por una resistencia en forma de electrodos, la cual acumula gran cantidad de calor al pasar una elevada intensidad en un corto espacio de tiempo, lo que hace que el material se funda y se una sin necesidad de material de aporte.

Además de ser necesaria la gran corriente eléctrica, es necesario aplicar una presión en los puntos a unir durante el paso de dicha corriente. El tiempo de soldeo, la intensidad de corriente y resto de parámetros a tener en cuenta a la hora de llevar a cabo el proceso, vienen dados por el espesor de las piezas a soldar.

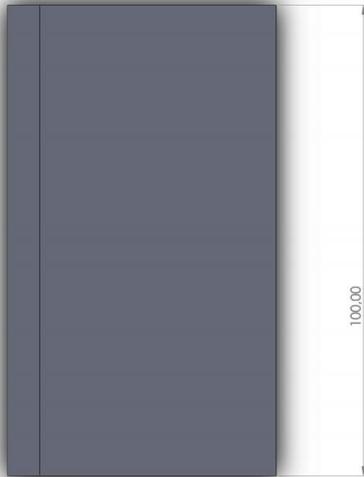
El método más común es por puntos, pero también existen por proyección, por chisporroteo, etc.



5. MATERIALES UTILIZADOS

Los elementos empleados fueron los siguientes:

- 6 chapas de 50x100 mm y de un espesor de 10 mm



Las chapas fueron cortadas previamente con una sierra de cinta, aplicando un ángulo de corte de 35°.

El material de aporte para la soldadura fueron 2 diferente:

1. Varilla de Fe-Ni con una concentración de níquel del 61%, de hierro del 38%, cobre del 0,9% y carbono del 0,1%.



2. Electrodo Ni-Cu con una concentración de Niquel del 65%, de cobre del 29% y una concentración de carbono menor del 0,05%, de medida 2,5x300.

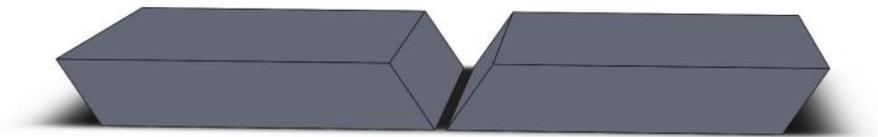
Finalmente, debido a los problemas para soldar con los equipos inverter, decidimos quitar el recubrimiento y utilizar el alma del electrodo como varilla para así poder utilizarlo con la máquina de TIG



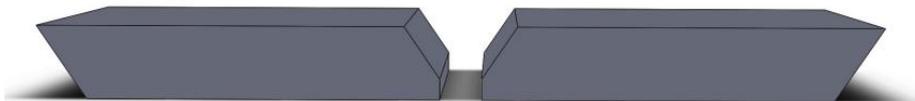
6. PROCESO DE SOLDADURA

6.1 PREPARACION DE PIEZAS

Para facilitar una mejor penetración del material de aporte durante el proceso de soldadura, se repasan los cantos inferiores utilizando una esmeriladora con un disco de piedra.



De esta manera, podemos hacer esta forma de embudo donde se asentará el material de aporte al hacer la raíz con la varilla de níquel-hierro.



Para poder hacer una buena soldadura es importante que las piezas estén estables y no puedan moverse durante el proceso. Para ello se utilizan gatos sargento apretando ambas piezas contra la mesa de trabajo, dejando una distancia entre piezas de unos 2mm aproximadamente.

Posteriormente se puntean los extremos de la garganta que va a ser rellenada con la varilla de raíz, para poder meterlos de una sola pieza al horno. Para realizar el punteo se recomienda aumentar la intensidad del aparato.



6.2 PRECALENTAMIENTO PIEZA

La pieza, previamente punteada, se mete al horno a 500°C y se deja durante horas para que toda la pieza se estabilice a dicha temperatura.



Una vez precalentada, se extrae del horno y mientras se coloca cuidadosamente en la mesa de trabajo y se amarra con los gatos sargento, la temperatura baja hasta los 400° aproximadamente, que comprobamos con un medidor laser.

Además, pasaremos un cepillo de púas de latón para limpiar la superficie y así evitar posibles defectos en la soldadura derivados de una contaminación superficial de la pieza a soldar.

6.3 SOLDADURA DE RAÍZ

La soldadura de raíz de una única pasada es uno de los pasos más importante en nuestro proceso de soldadura, ya que debe penetrar en la hendidura y hacer de base del cordón de soldadura.



La soldadura de raíz se realiza por TIG utilizando varilla de Níquel-Hierro, realizando un movimiento de derecha a izquierda. Técnicamente la técnica no es especialmente complicada, pero la viscosidad y poca fluidez que le da el Níquel al material de aporte, hace que se complique el proceso. Por lo tanto, es mejor calentar bastante la pieza base para que al caer el material de aporte fundido, continúe aumentando su temperatura y así su fluidez. Cuanto mayor fluidez, mejor se repartirá el material y por lo tanto mayor penetración.

6.4 SOLDADURA DE RELLENO

Previo a la soldadura de relleno, se vuelve a calentar la pieza en el horno, y volvemos a amarrarla a la mesa con los gatos sargento. La soldadura de relleno se realiza con varilla de Níquel-Cobre, de mayor viscosidad aún que la de Níquel-Hierro.

En este caso también se realiza con TIG, pero no se realiza de una sola tirada todo el cordón, sino que se realiza en 3 o 4 tramos. Importante calentar mucho la base para que se funda prácticamente y el material de aporte pueda correr bien. Tras cada tramo, golpeamos la soldadura con un martillo para liberar las tensiones. Una vez se completa el cordón, se da una

segunda pasada de relleno, cepillando previamente la zona a rellenar y siguiendo el mismo proceso que antes.



6.5 TRATAMIENTOS TÉRMICOS

Tras la soldadura, a cada una de las tres piezas soldadas se les aplica un tratamiento diferente.

- 1) La primera pieza simplemente se deja enfriar a temperatura ambiente.
- 2) La segunda pieza se mete de nuevo al horno a la misma temperatura a la que se elevaron las piezas antes de ser sometida al proceso de soldadura. Tras unas horas a 600°, el horno lo apagamos y sacamos la pieza recocida una vez se enfría totalmente el horno.
- 3) Por último, la tercera pieza también se mete al horno, pero en este caso se eleva la temperatura hasta los 900° unas horas y como en el anterior proceso, se apaga el horno con la pieza en su interior para así completar el proceso de recocido.

Estos tratamientos térmicos post-soldadura, son procedimientos que tienen como objetivo principal reducir las tensiones residuales. A causa de la alta temperatura alcanzada en la zona del cordón de la soldadura (temperatura de fusión), hay zonas cercanas a la grieta a soldar, donde las altas temperaturas generan dilataciones, y contracciones al enfriarse.

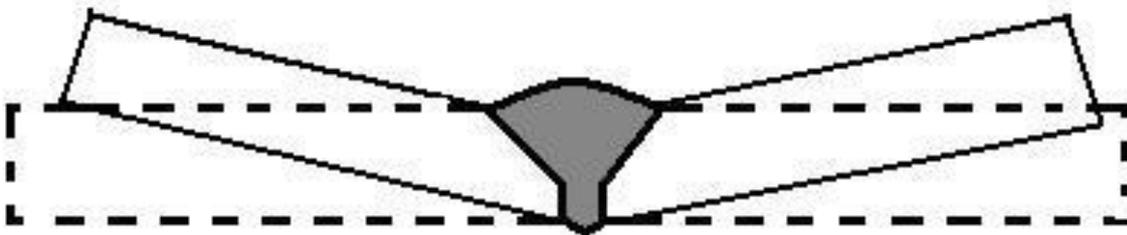
Por lo tanto, un tratamiento térmico va a permitir que la soldadura se ponga a una temperatura que se eliminen tensiones y distorsiones que previamente existían, reduciendo la posibilidad de agrietarse.

7. DEFECTOS DEL PROCESO DE SOLDADURA

Durante el proceso de soldadura pueden darse casos, por diferentes causas, en los que la soldadura no se realice correctamente, lo que nos dará lugar a una soldadura de peor calidad y por lo tanto que en nuestra soldadura se generen puntos de concentración de tensiones, lo que produzca una fragilidad en esta, lo cual repercutiría en los datos que obtendremos en los posteriores ensayos, falseándolos. A continuación, se comentan los casos más comunes:

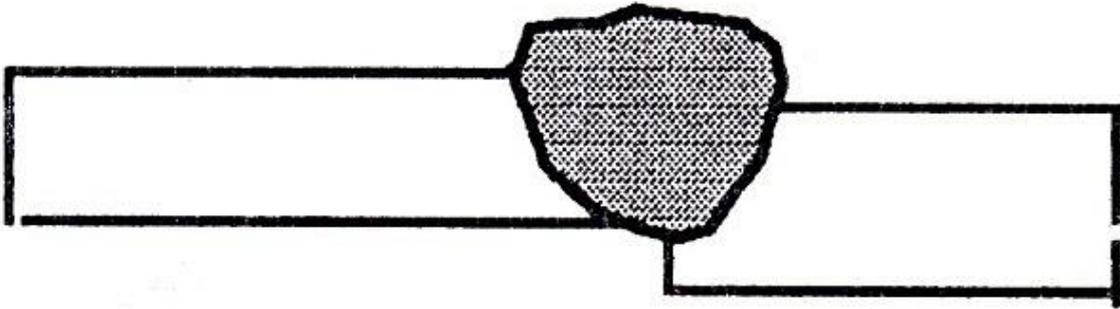
7.1 Deformaciones y/o alabeos

Las deformaciones y alabeos pueden darse por la aparición de tensiones residuales generadas por el gran aporte de calor a la hora de soldar. Una adecuada secuencia de soldeo, junto con el correcto amarre de las piezas a soldar la mejor forma de prevenir este problema, ya que una vez aparece, no tiene fácil solución.



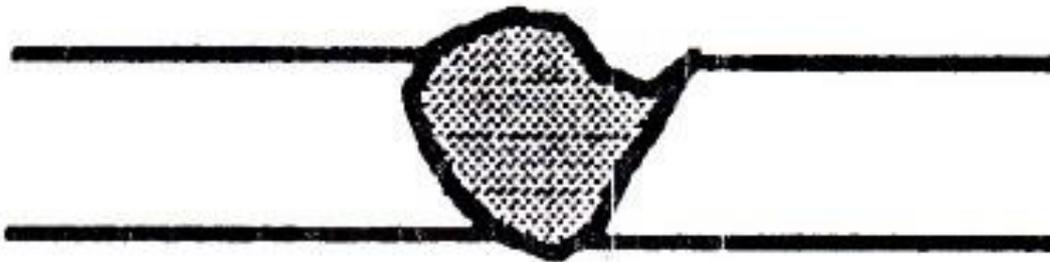
7.2 Falta de alineación

La falta de alineación se debe a una mala colocación de las piezas, se han de colocar en el mismo plano y realizar el proceso de punteado para que, comenzado el proceso de soldadura en un extremo de la pieza, el calor aportado no genere tensiones. Estas tensiones son las que generan deformaciones en los extremos opuestos al punto inicial de la soldadura (sin punteo previo).



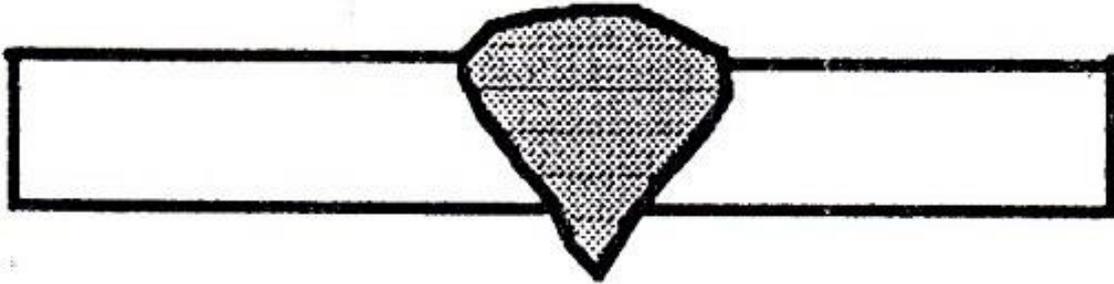
7.3 Mordedura

La mordedura es un defecto que presenta el cordón de soldadura, pudiendo apreciarse una asimetría en este. El error más común en estos casos es el empleo de una intensidad excesiva a la hora de soldar. En otros casos, también puede darse este efecto por el uso de un electrodo de diámetro más grande de lo adecuado o por una velocidad de avance no adecuada para dicho electrodo.



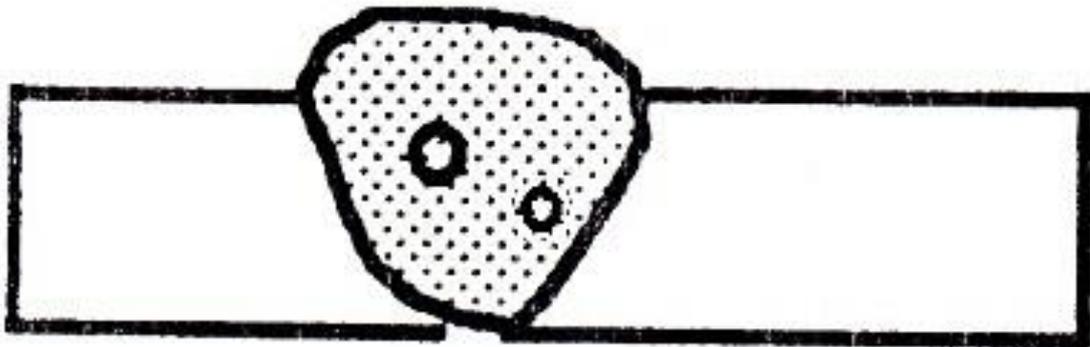
7.4 Descuelgue

Los descuelgues en los procesos de soldadura son principalmente a causa de un exceso de fusión del material de aporte, ya sea debido a una velocidad de avance excesivamente baja o una intensidad de corriente demasiado alta. Se recomienda que en caso de que se generen, se eliminen desbastándolos.



7.5 Porosidades

Las porosidades son huecos que se generan en el interior del cordón de soldadura. Estos huecos son realmente gases que se quedan en el interior de material fundido, a consecuencia de reacciones químicas que se producen por un posible enfriamiento más rápido de la cuenta. Hay numerosas causas por las que pueden producirse estas burbujas de gas, mala elección de electrodos, velocidad de soldeo demasiado alta, impurezas superficiales...



8. ELABORACIÓN DE PROBETAS PARA ENSAYO A TRACCION

Para poder estudiar las diferentes soldaduras realizamos 3 ensayos diferentes:

- 1) Ensayo a tracción
- 2) Análisis por microdurezas
- 3) Análisis por metalografía

Por lo tanto, necesitamos obtener al menos 3 probetas de cada soldadura para el ensayo a tracción, y una más que deberemos cortar más para embutir y que usaremos en los análisis por microdurezas y de metalografía.

Para realizar el corte de las chapas soldadas y así obtener las probetas se ha utilizado una sierra tronczadora cerrada y con refrigeración de taladrina, ya que, aunque las chapas eran de fundición dúctil, la zona del cordón costaba mucho de cortar.

Acabado

Por último, para poder sacar unas probetas lo más similares posible y con una sección uniforme, debemos la altura del cordón con el plano que forman las placas soldadas. Para hacerlo, utilizaremos una amoladora en la que montaremos un disco de láminas abrasivas y con el cual podremos desbastar el cordón hasta dejarlo al mismo nivel que las chapas de fundición soldadas.

9. ENSAYO DE TRACCION

Un ensayo a tracción es un ensayo de tipo destructivo en el cual se pueden medir las propiedades mecánicas de un material frente a la aplicación de 2 fuerzas opuestas.

La probeta de ensayo es amarrada por ambos extremos, sometiéndola a tracción, produciendo una deformación hasta el punto en el que llega al punto de rotura de la pieza (ensayo de tipo destructivo).

9.1 Equipo de ensayo a tracción

La maquina utilizada es una la máquina de ensayo de tracción Mohr & Federhaff es una máquina de ensayo universal hidráulica uniaxial para cargas de tracción-compresión cuasiestáticas de hasta 100 kN.



La maquina consta de dos cabezales con mordazas, para poder amarrar la probeta de ambos extremos y someterla al esfuerzo de tracción. El cabezal inferior es fijo y el superior recibe el esfuerzo del hidráulico ejerciendo la presión que se le ordena desde la palanca de accionamiento.



Una vez colocada la pieza con las mordazas apretadas, se pone en el cero la aguja que registra el máximo de fuerza y que acompaña a la aguja que marca la fuerza instantánea, apuntando el valor en el que se queda esta primera.

Colocando un rotulador fino en el soporte y colocando papel milimetrado, se dibujará como va deformándose la probeta, conforme se va aplicando de forma manual lentamente la carga. En la escala dibujada es indiferente el tiempo que tardemos en aplicar la carga, ya que este no se ve representado en la gráfica.



Dependiendo de la carga que se coloque, deberemos tener en cuenta una escala diferente en el papel milimetrado.

Por lo tanto, los pasos a seguir son:

1. Colocar pieza asegurándola bien con las mordazas.
2. Colocar el rotulador sobre el papel milimetrado.
3. Accionar la palanca poco a poco hasta que el esfuerzo provoque la rotura de la probeta.
4. Apuntar en el papel milimetrado el valor en el que se ha quedado la aguja de registro de máximo esfuerzo.
5. Aliviamos la tensión ejercida para poder sacar la probeta

Este proceso lo realizamos con 3 probetas de cada tipo, la sin tratamiento, la recocida a 600° y la recocida a 900°.

9.2 Tensión de Rotura

Cuando hablamos de tensión de rotura nos referimos la máxima tensión alcanzada justo antes de que la pieza rompa.

La tensión de rotura es el valor que obtenemos directamente de las lecturas de la maquina de ensayo a tracción, en el punto más alto de la gráfica. Sin embargo, si deseamos obtenerla de manera analítica, podemos hacerlo utilizando la ecuación que utiliza la sección de la probeta y la carga máxima.

FORMULA DE LA TENSION

$$\sigma_e = \frac{F}{A_0}$$

$$\sigma_e = \text{Tensión}$$

$$F = \text{Fuerza Aplicada}$$

$$A_0 = \text{Sección Inicial}$$

9.3 Elongación

La elongación es la propiedad mecánica con la que se comprueba la maleabilidad de un material y la capacidad de este de deformarse elásticamente cuando es sometido a un esfuerzo constante.

Por lo tanto, un material tiene una mayor elongación, cuanto mayor es la relación entre el alargamiento longitudinal y la reducción de la sección previo a la rotura. Para calcularla se utiliza esta ecuación:

ELONGACIÓN

$$EL = \frac{L_f - L_0}{L_0}$$

EL: Elongación

Lf: Longitud final

Lo: Longitud inicial

9.4 Módulo de Young

El módulo de Young o módulo de elasticidad es el parámetro que relaciona la deformación longitudinal con respecto al incremento de la tensión aplicada en nuestra probeta, en nuestro caso, a tracción.

Además, el módulo de Young se mantiene constante dentro de las zonas de comportamiento elástico del material.

Para obtener el módulo de elasticidad, se utiliza la siguiente expresión:

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

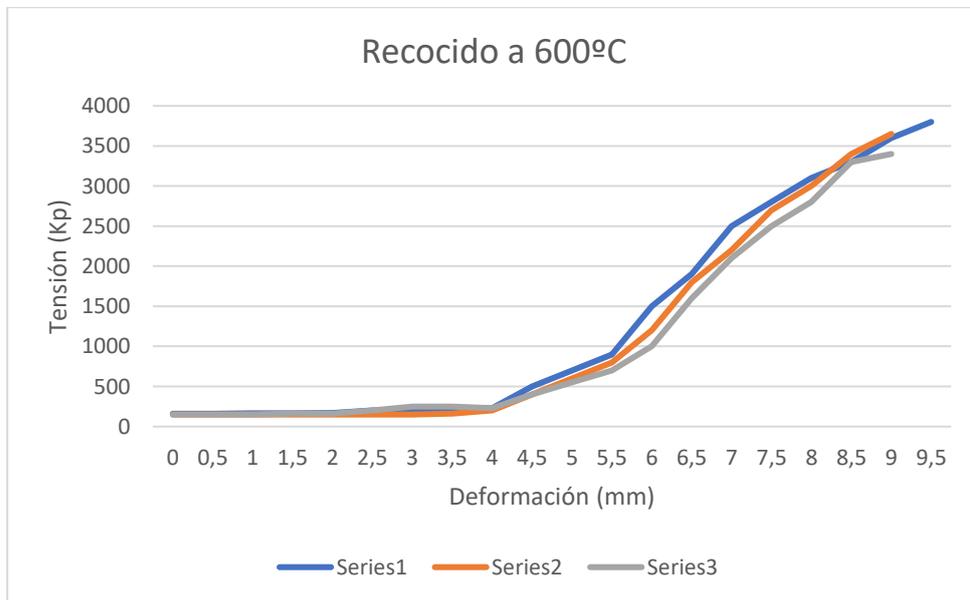
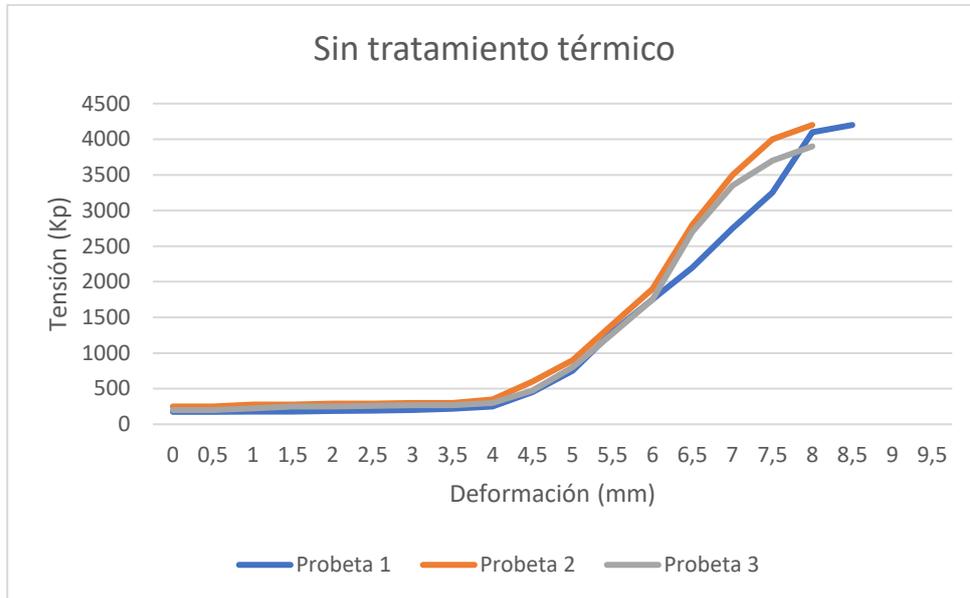
E: Módulo de Young

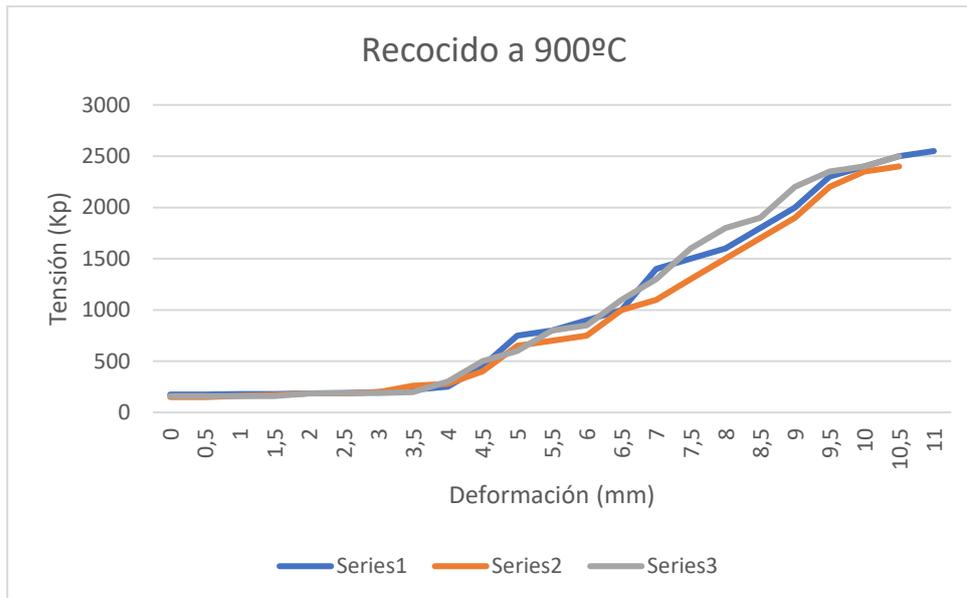
Fe: Carga elástica

Δl : Diferencia entre longitud inicial y final

A: Sección de la probeta

9.5 Resultados





Podemos ver como enfriando la pieza a temperatura ambiente, al hacerlo de forma más rápida, obtenemos una probeta más dura, pero de menor elasticidad y plasticidad.

Cuando nos vamos a una pieza recocida, obtenemos una mayor zona elástica y una mayor deformación previa a la rotura. En el caso de la recocida a 600°, todavía conservamos una

pieza con una alta resistencia a la rotura y con una capacidad de deformación mucho mayor a la de la pieza sin tratamiento.

En el caso de la pieza recocida a 900°, conseguimos todavía un poco más de capacidad de deformación de la pieza antes de la rotura, pero en este caso la tensión de rotura se reduce muy notablemente, haciéndola una pieza bastante más blanda.

10. ELABORACION DE PROBETAS DE METALOGRAFÍA

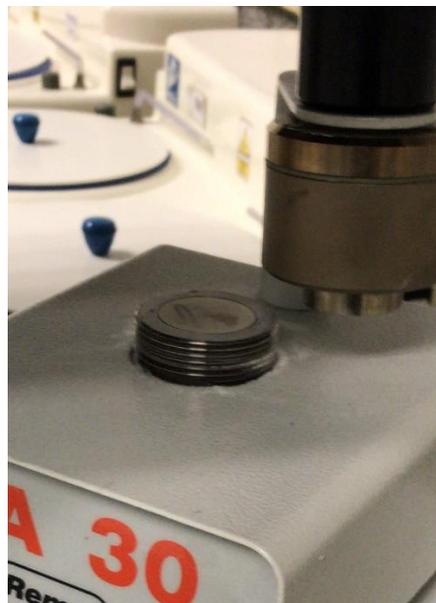
Para poder realizar los ensayos de microdurezas y de metalografía, no podemos usar probetas como las usadas para los ensayos de tracción, debido a que son demasiado grandes. Por lo tanto, necesitamos obtener una muestra pequeña cortando una probeta de unos 20-25 mm, desde el

centro del cordón de la soldadura, para así poder examinar las diferentes secciones desde el centro, soldado con Ni-Cu, hasta el acero de fundición pasando por todas las interfases que se han producido con la fusión, las cuales son las que más nos van a interesar para el estudio.

El proceso de corte se realiza de la misma forma con las que hemos obtenido las muestras del ensayo a tracción, con la tronzadora manual refrigerada por taladrina, y a ser posible, montar un disco de buena calidad (disco con tratamiento cerámico), ya que para cortar la zona del cordón de soldadura, los discos básicos de corindón se calientan en exceso y no cortan, hasta el punto de llegar a romperse si los forzamos.

10.1 EMBUTIR LA PIEZA

Una vez cortada la muestra, para poder trabajar con ella, se finaliza el montaje de la probeta, embutiéndola ,dentro de una pastilla formada por un termoplástico, con una maquina específica como es una empastilladora metalográfica marca REMET, modelo IPA 30 Evolution.



Como podemos observar en las imágenes, la empastilladora, dispone de un cabezal con una base de 30 milímetros, donde se coloca la muestra, con la cara a analizar hacia abajo. Una vez centrada la muestra, bajamos el pistón neumático que hace de base, teniendo en cuenta que se va a comprimir, rellenamos con polvos de montaje Transoptic, el hueco que queda sobre la base.

El Transoptic es un compuesto de montaje, el cual incluye resinas, polvo fenólico, polvo de montaje de compresión y premoldeados. Este es un tipo de compuesto específico para los casos en los que la transparencia de la muestra es útil.



Tras haber cubierto bien la pieza, se coloca el cabezal, enroscándolo a la base y subiendo el pistón para comenzar el proceso de calentamiento. Regulando la presión para aplicar la fuerza necesaria, comienza el proceso de calentamiento, el cual dura alrededor de 7 minutos, hasta que se pone en marcha el sistema de refrigeración de forma automática.

Una vez enfriada por completo la pieza, liberamos la presión ejercida por el pistón y quitamos el cabezal, obteniendo la pastilla translúcida, como podemos ver en la siguiente imagen:



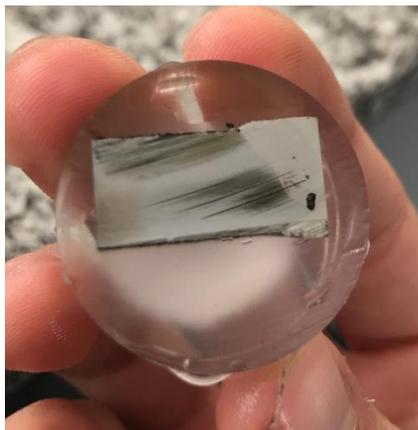
10.2 DESBASTE CON AGUA

El objetivo del proceso de desbaste es el de eliminar el material que sobre de la pieza. En nuestro caso, queremos eliminar las marcas provocadas por el disco a alta temperatura que no nos permiten visibilizar el material no contaminado.

Para realizar este proceso, nos ayudamos de una maquina desbastadora, compuesta por dos discos que funcionan sincronizadamente a 250 rpm, sobre los cuales montamos papel de lija. Esto nos ayuda a que el proceso sea mucho más rápido que a mano.



En primer lugar, pasamos la probeta por el disco con un papel de grano 180, para que quite las marcas más profundas. Posteriormente, haremos el mismo proceso, pero utilizando granos más finos, de 400 y de 1000. En las imágenes puede apreciarse como va cambiando el aspecto de la probeta a medida que desbastamos.



Es importante tener en cuenta durante el proceso, que este ha de realizarse siempre con agua y con la cara a desbastar lo mas paralela posible al disco, con el fin de no achaflanar la pieza, ya que sin una superficie totalmente plana, obtendremos imágenes parcialmente difusas cuando las observemos con el microscopio. Para que esto sea más fácil, debemos simplemente apoyar

la cara a desbastar paralela a la lija, sin hacer fuerza, practicamente dejándola caer sobre el disco.



Cuando quede un superficie sin ninguna raya, entoces habrá finalizado el proceso de debaste.

10.3 PULIDO

Para realizar el acabado superficial de la probeta, procedemos al pulido de la pieza. Este proceso se basa en la eliminación de las rayas más pequeñas y que no podemos ver a simple vista.

Este se realiza con la misma maquina de desbaste, pero en este caso se monata un disco de paño de pulir, sobre la que añadimos una pasta de diamante de 1 micra y unas gotas de

.....
.....

Esta vez, en lugar de dejarla caer, frotamos sobre el disco realizando circunferencias en sentido contrario al del giro del disco, durante alrededor de un minuto. Posteriormente, limpiamos con agua y lavavajillas y sumergimos en alcohol para que elimine los restos que puedan quedar, y secamos con un secador, sin paños que puedan rallar la pieza.

10.4 ATAQUE

El último paso de preparación de la probeta es el ataque. En nuestro caso, el ataque es químico, y es un proceso utilizado tras los procedimientos de esmerilado y pulido metalográficos, que mejora el contraste de las superficies que queremos visualizar.

Este ataque produce una influencia controlada en el perfil de la superficie y en los límites del grano, que junto con el uso de los filtros más adecuados del microscopio, nos permite adaptarse al objetivo de nuestro estudio.

En primer lugar, se sumerge la muestra a estudiar en el reactivo unos segundos. El reactivo en nuestro caso es Nital 3, una solución de alcohol y ácido nítrico al 4%. Es importante, por seguridad, preparar la zona de trabajo con todo lo necesario dentro de la campana extractora antes de realizar el ataque, ya que el Nital es un producto tóxico y que causa irritación severa en caso de contacto con la piel.

Tras los segundos de ataque, se lava bien con agua y se sumerge en alcohol enjuagándola, para secarla aplicando aire caliente con un secador.

Para saber si está suficientemente o excesivamente atacada, la observamos en el microscopio. Las zonas más oscuras son las que son atacadas con mayor rapidez, frente a las más claras. En caso de que no haya suficiente diferencia de tonalidad entre las diferentes zonas, debemos realizar de nuevo el proceso de ataque. Es mejor hacerlo en varias veces que atacar la muestra en exceso y que obtengamos una muestra muy oscura, en la que no podamos diferenciar las distintas estructuras.

10.5 ANALISIS DE MICRODUREZAS

Cuando hablamos de dureza, nos referimos a la resistencia que opone nuestro material a ser deformado superficialmente de forma permanente, bien por rayado o bien por penetración. Por lo que siempre se cumple que, la dureza es inversamente proporcional a la dureza.

Para determinar la dureza de las distintas zonas de nuestra muestra, vamos a emplear el conocido ensayo de dureza de Vickers, especialmente utilizado para materiales duros.

Para ello necesitamos un durómetro Vickers, que es una máquina dotada de un indentador con forma de pirámide, cuyas caras forman un ángulo de 136°. El indentador aplica la carga que le hayamos ordenado a la probeta, dejando una huella.

11.6 PROCESO

Colocamos la pieza en la base para observar con el microscopio. Con el objetivo de unos 10 aumentos es suficiente para poder observar y diferenciar las diferentes fases.

Debemos saber delimitar las diferentes zonas según las fases de la soldadura en las que vamos a realizar las aplicaciones de carga:

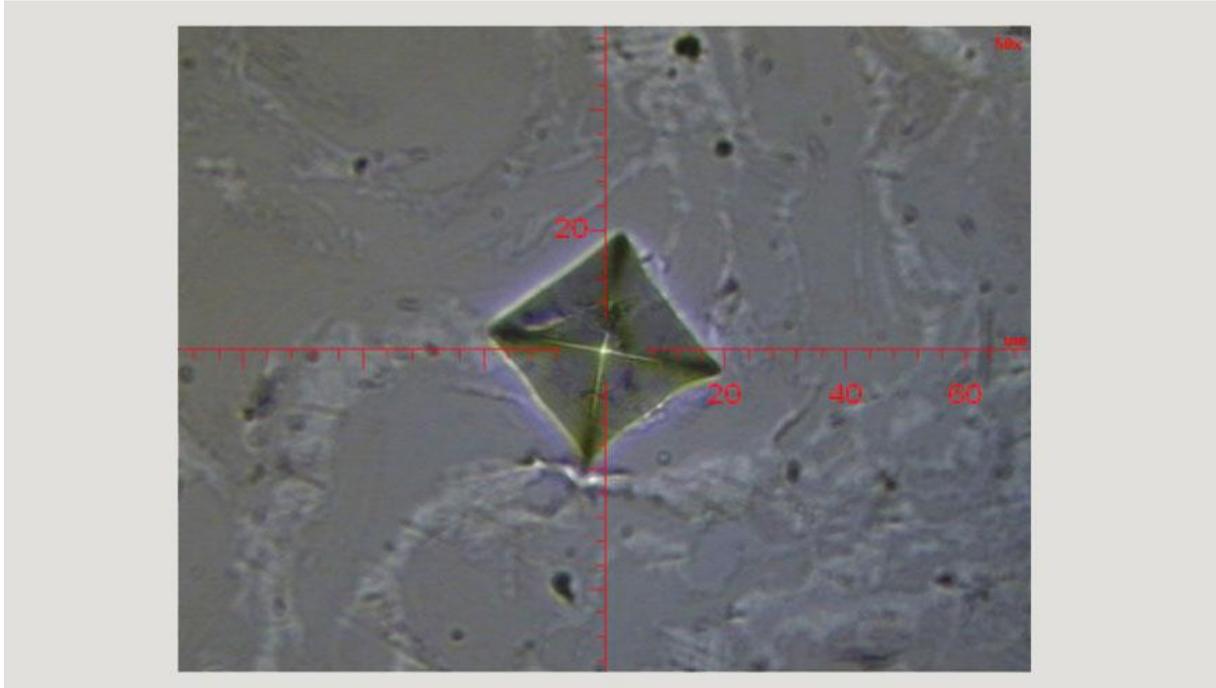
- 1- Material base, en nuestro caso la fundición, zona alejada de la soldadura.
- 2- Material base, en nuestro caso la fundición, zona alejada de la soldadura.
- 3- Interfase fundición con Níquel-Hierro
- 4- Interfase Níquel-Hierro con Níquel-Cobre
- 5- Centro soldadura Níquel-Cobre

Una vez diferenciadas las zonas, colocamos el objetivo de 100 aumentos y elegimos 3 puntos diferentes para aplicar la carga, con los cuales sacaremos la media de dureza.

Tras cada carga con el indentador, debemos de medir la huella ayudándonos de la base del durómetro y viendo el desplazamiento que desde una punta de la huella en diagonal hasta la punta opuesta. Al ser un rombo la huella que deja, las diagonales son prácticamente exactas.

Colocando esta medida, en sus debidas unidades, en la máquina, automáticamente nos hace el cálculo de la fórmula de Vickers dándonos la dureza.

$$HV = 1854.4 P/d^2$$



De estas aplicaciones de cargas en las 3 probetas hemos obtenido los siguientes datos:

MUESTA N°1 (ENFRIADA A Tª AMBIENTE)

Fuerza aplicación punzón = 2,942N (300g aprox)

	ZONA 1	ZONA 2	ZONA 3	ZONA 4	ZONA 5
MEDIDA 1 (ARRIBA)	163,5 HV (2290µm)	162,1 HV (2300µm)	279,9 HV (1750 µm)	196,3 HV (2090 µm)	177,1 HV (2200 µm)
MEDIDA 2 (MEDIO)	152,6 HV (2370µm)	138,3 HV (2490 µm)	523,3 HV (1280µm)	261,7 HV (1810 µm)	180,4 HV (2180 µm)
MEDIDA 3 (ABAJO)	162,1 HV (2300µm)	167,8 HV (2260µm)	413,4 HV (1440 µm)	450,2 HV (1380 µm)	167,8 HV (2260 µm)
MEDIA TOTAL	159,4 HV	156,1 HV	405,5 HV	302,7 HV	175,1 HV

Analizando los resultados, podemos corroborar como las zonas 1 y 2, donde pinchamos en la fundición nodular, podemos ver que la huella dejada es mayor y por lo tanto la dureza es menor.

Justo en la zona donde comienza la soldadura con Ni-Fe es la zona más dura, donde se genera una estructura martensítica debido al rápido enfriamiento, al igual que en el resto de la soldadura, pero siendo existiendo cada vez una dureza menor, ya que el centro está compuesto por material de aporte de Ni-Cu.

MUESTA N°2 (RECOCIDA A 600°C)

Fuerza aplicación punzón = 2,942N (300g aprox)

	ZONA 1	ZONA 2	ZONA 3	ZONA 4	ZONA 5
MEDIDA 1 (ARRIBA)	172,4 HV (2230µm)	180,4 HV (2180µm)	164,9HV (2280 µm)	178,7 HV (2190 µm)	169,3 HV (2250 µm)
MEDIDA 2 (MEDIO)	160,7 HV (2310µm)	175,5 HV (2210 µm)	242,6 HV (1880µm)	206 HV (2040 µm)	157,9 HV (2230 µm)
MEDIDA 3 (ABAJO)	164,9 HV (2280µm)	172,4 HV (2230µm)	456,8 HV (1370 µm)	167,8 HV (2260 µm)	166,4 HV (2270 µm)
MEDIA TOTAL	166 HV	176,1 HV	288,1 HV	184,2 HV	164,5 HV

En el caso de la muestra que fue elevada su temperatura a 600°C, podemos comprobar que las zonas tienen unas fluctuaciones de durezas similares a las de la muestra n° 1, pero menos acentuadas, ya que el recocido ha conseguido eliminar muchas tensiones.

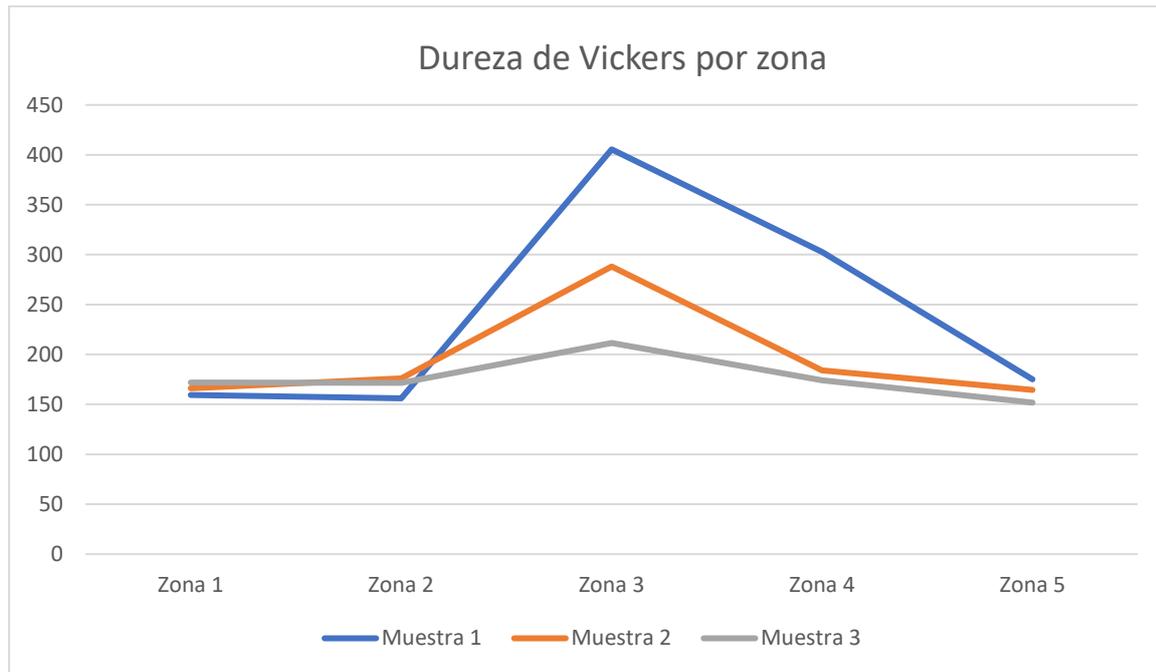
MUESTA N°3 (RECOCIDA A 900°C)

Fuerza aplicación punzón = 2,942N (300g aprox)

	ZONA 1	ZONA 2	ZONA 3	ZONA 4	ZONA 5
MEDIDA 1 (ARRIBA)	170,9 HV (2240 µm)	164,9HV (2280 µm)	223,2 HV (1960 µm)	172,4HV (2230 µm)	153,9 HV (2360 µm)
MEDIDA 2 (MEDIO)	169,3 HV (2250 µm)	177,1 HV (2200 µm)	218,7 HV (1980 µm)	210,1 HV (2020 µm)	146,4 HV (2420 µm)
MEDIDA 3 (ABAJO)	175,5 HV (2210 µm)	172,4 HV (2190 µm)	192,6 HV (2110 µm)	196,3 HV (2090 µm)	155,2 HV (2350 µm)
MEDIA TOTAL	171,9 HV	171,5 HV	211,5 HV	174 HV	151,8 HV

Por último, podemos ver que, al igual que en las dos anteriores muestras, la dureza en la interfase con el Ni-Fe aumenta, y disminuye conforme nos acercamos a la zona más blanda, que es la soldadura de Ni-Cu.

Los cambios de dureza por interfases son mucho menos acentuados, incluso que en la muestra n°2, ya que con el recocido a 900°, consiguen eliminarse prácticamente la totalidad de las tensiones formadas por la soldadura y las estructuras duras que pueden producirse debido a un enfriamiento rápido.



En el gráfico podemos apreciar lo descrito anteriormente, y como con los recocidos conseguimos una estructura con menores tensiones y menor dureza, pero con una mayor ductilidad.

12. ANALISIS MICROGRAFÍAS

Para realizar el análisis de las estructuras de las muestras encapsuladas, y poder comprobar en estas, la diferencias que se han producido a causa de los diferentes tratamientos térmicos, necesitamos de un microscopio con diferentes objetivos.

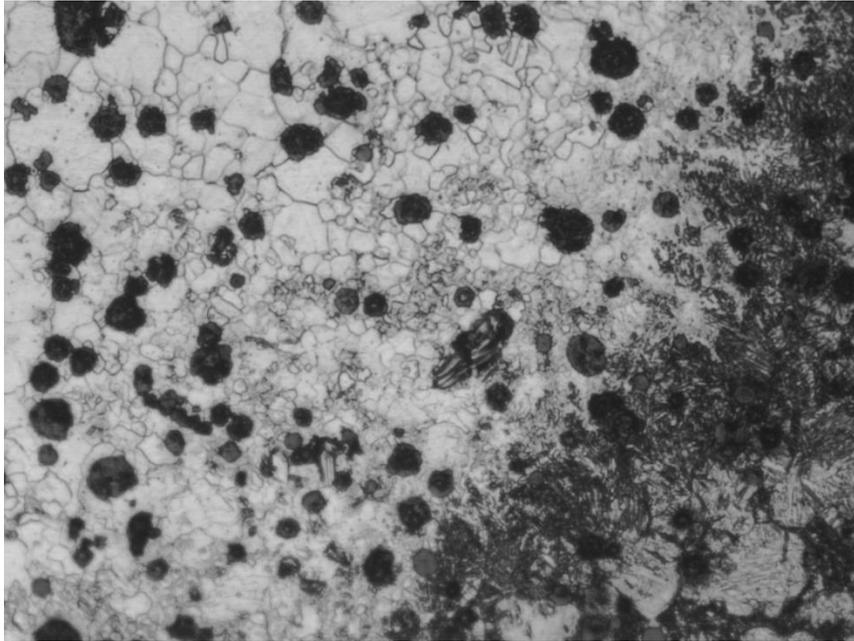
Primero, en el microscopio metalográfico, seleccionaremos el objetivo de 10 aumentos, para poder ver a grandes rasgos, si hemos conseguido eliminar todas las rayas tras el proceso de pulido. Tras esto, iremos enfocándonos aproximadamente en las interfases para poder tener una posición previa a la exploración de las microestructuras.

Tras esto, iremos jugando con las lentes de 100 y 200 aumentos, buscando la zona donde se puedan observar detalladamente las diferentes estructuras. Para capturar las imágenes, hay instalada una cámara Nikon FX35, con la cual realizaremos entre cuatro y cinco capturas de la zona deseada, enfocando en diferentes partes, ya que cuando logras cierta nitidez en una parte de la imagen, la pierdes en otras. Posteriormente, el programa del ordenador se encarga de coger

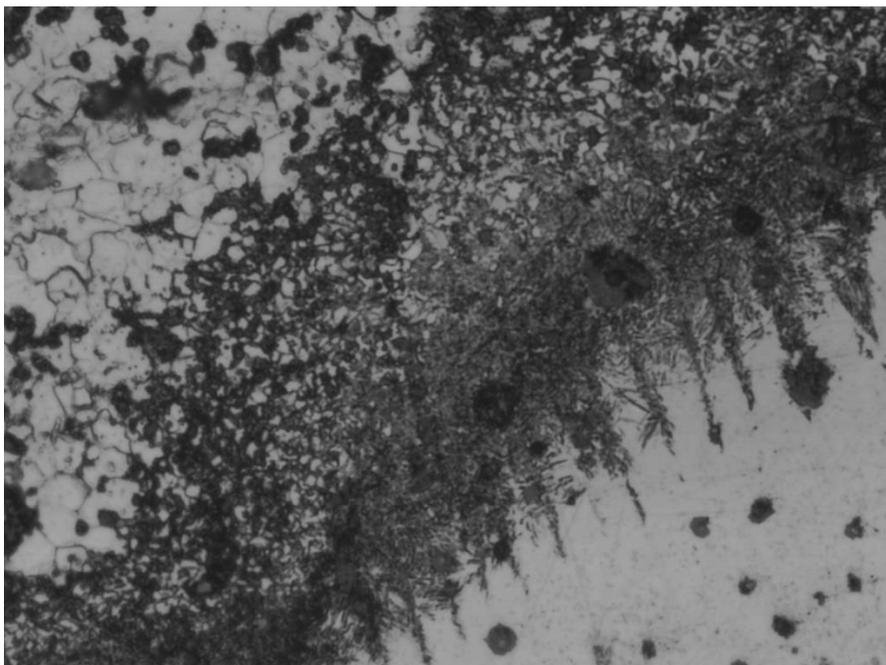
las partes más nítidas y mezclarlas en una imagen para así tener una captura totalmente nítida como las que veremos a continuación.

12.1 SIN TRATAMIENTO TERMICO

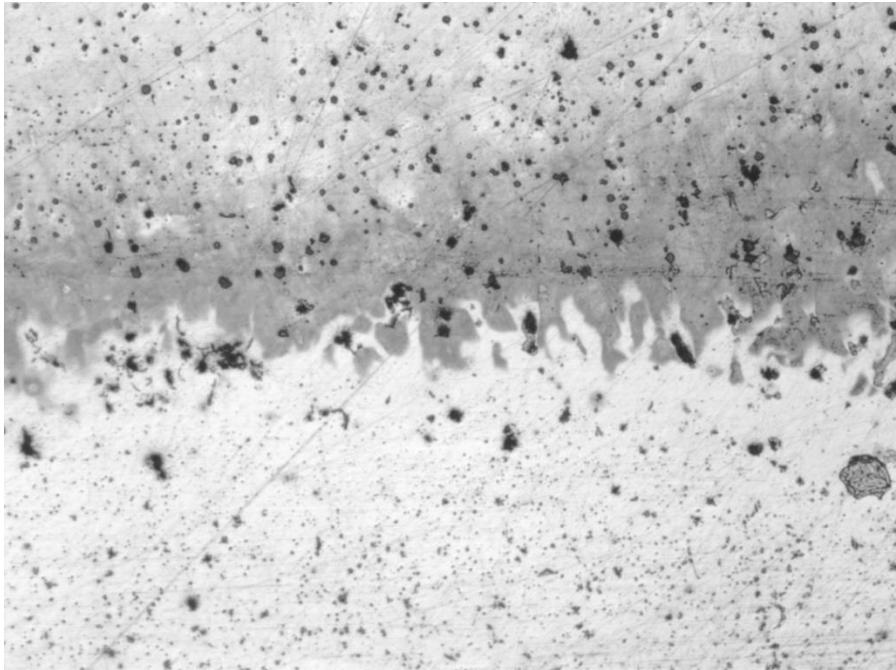
Fundición dúctil sin tratamiento térmico x200



Interfase Ni-Fe sin tratamiento térmico x400



Ni-Cu sin tratamiento térmico x100



Zona de interfase Ni-Fe estructura de perlita fina con algunos precipitados de martensita finamente distribuidos en zona próxima al material de aporte por influencia de la aleación Ni-Cu de aporte adyacente.

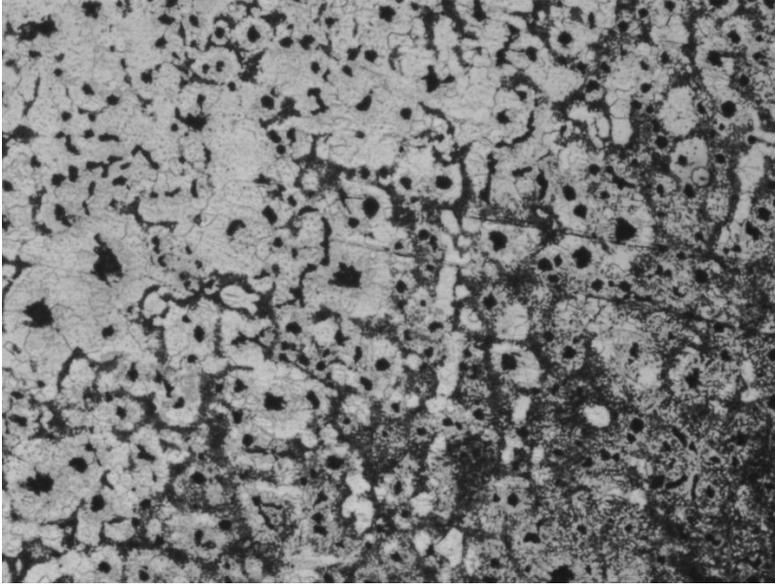
En la zona de interfase Ni-Cu elementos gammagenos que evitan la formación de fases duras, se puede observar una estructura ferrítica con formaciones de perlita finamente distribuida con distribución regular de nódulos de grafito en toda la interfase y de tamaño inferior al del material base y soldadura

En la zona de material base de grano ferrítico equiaxial con pequeñas formaciones perlíticas distribuidas regularmente entre los granos de ferrita y nódulos esféricos de formación uniformemente repartida.

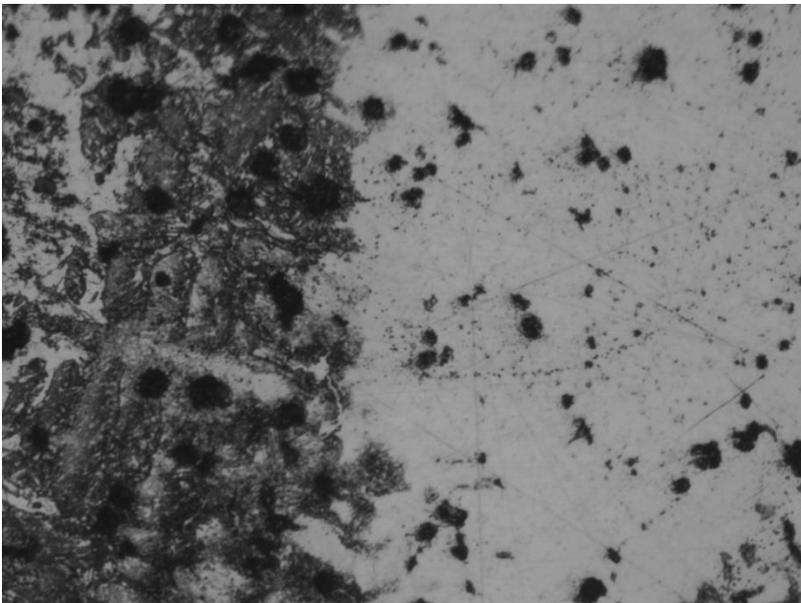
En la zona de soldadura hay distribución de nódulos de tamaño inferior al material base en estructura combinada entre equiaxial ferrítica y poligonal como consecuencia del Ni en el material de aporte.

12.2 RECOCIDO A 600°C

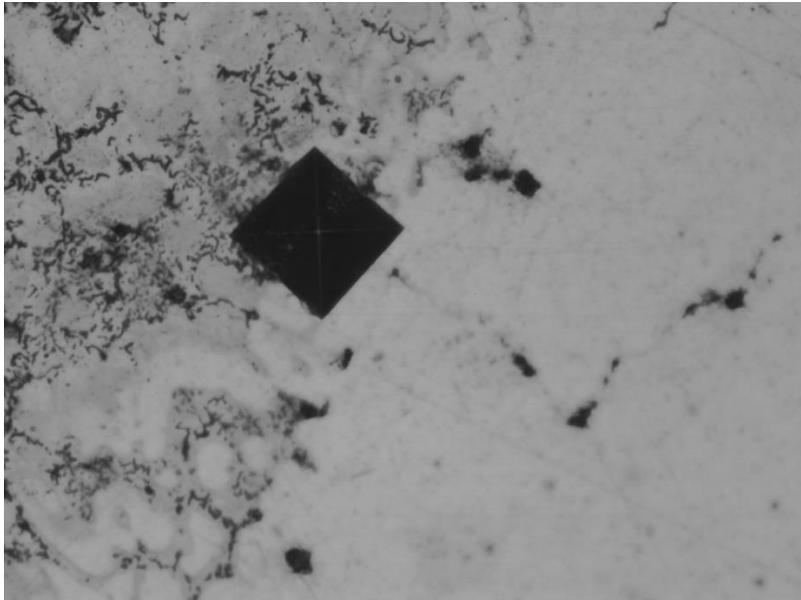
Fundición recocida a 600°C



Interfase Ni-Fe recocida a 600°C



Interfase Ni-Cu recocida a 600°C



En la interfase de unión Ni-Fe con fundición nodular, estructura ferrítica con una franja amplia de perlita en la propia zona de unión y distribución uniforme de nodulitos de grafito repartidos en zona correspondiente.

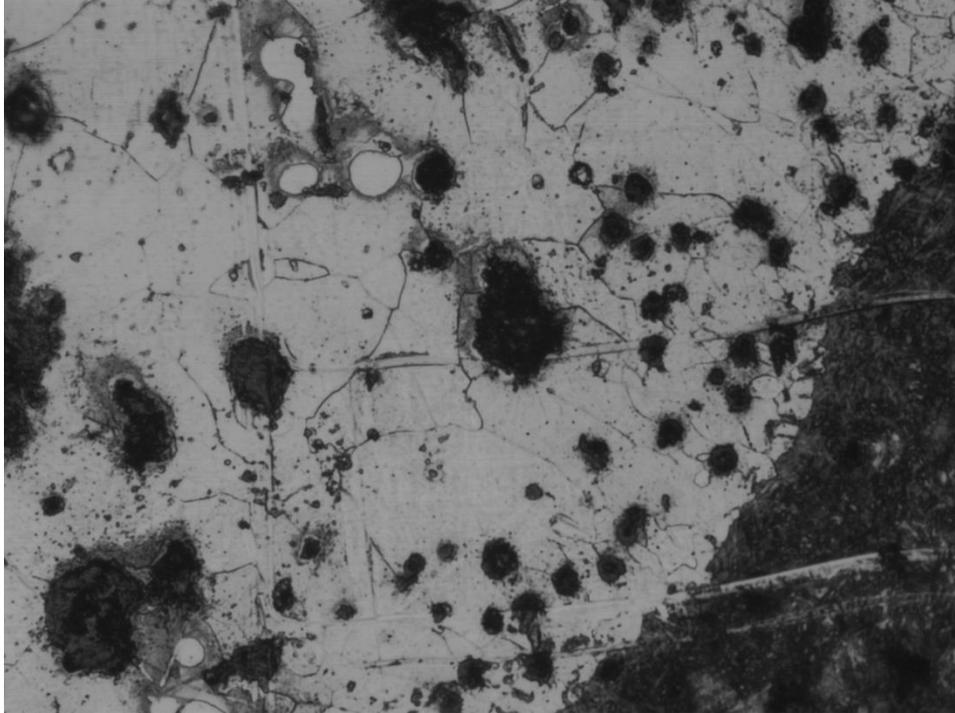
En la interfase de unión Ni-Cu con la fundición la estructura es ferrítica con formaciones de granos dentríticos muy poca perlita finamente distribuida entre ellos. Los nódulos de grafito se presentande igual forma en la interfase anterior.

En la zona del material base hay agrupaciones de granos de dentríticos de ferrita y formaciones de perlita entre ellos, los nódulos son más irregulares que los anteriores, pero de tamaño superior.

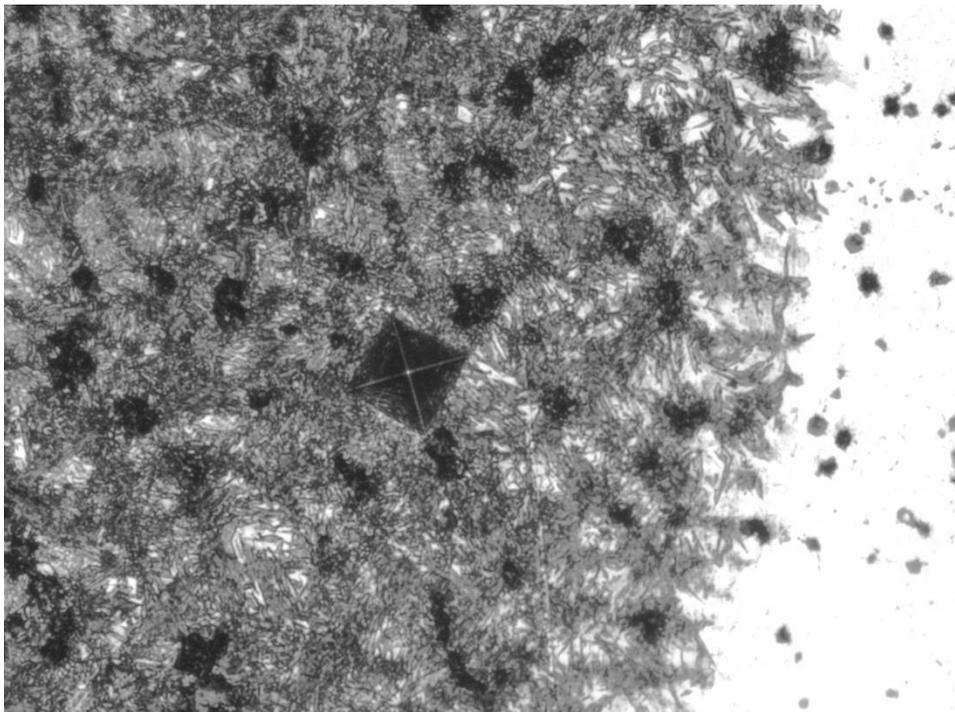
En la zona de materiales de aporte los granos son ferrita de tipo dentrítico con nódulos muy finamente distribuidos de pequeño tamaño.

12.3 RECOCIDO A 900°C

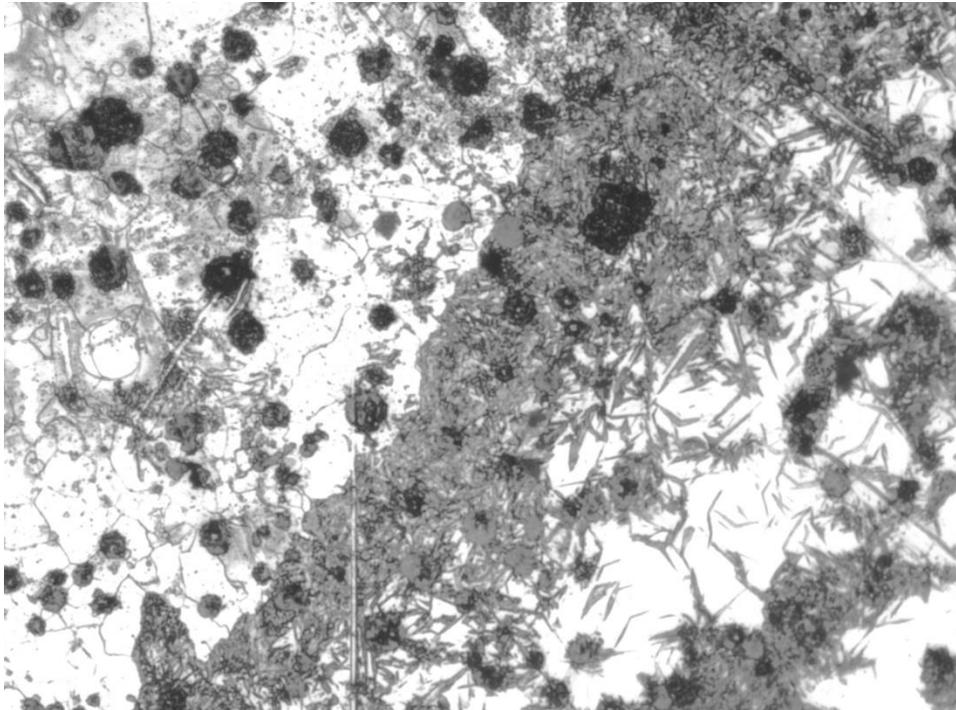
Fundición recocida a 900°C



Interfase Ni-Fe recocida a 900°C



Interfase Ni-Cu recocida a 900°C



Tratamiento térmico de recocido a 900°C

En la interfase tanto en aporte de Ni-Cu como en el aporte de Ni-Fe la estructura es ferrítica con granos equiaxiales con pequeñas formaciones de perlita en mayor cantidad en la unión de Ni-Fe con la fundición. Los nódulos de grafito son de tamaño inferior a los del material base.

En la soldadura se presenta una estructura similar a la anterior de granos de equiaxiales de ferrita con nódulos finamente distribuidos por toda la zona de tamaño superior al anterior.

En el material base la estructura es de fundición ferrítica y grano equiaxial tanto menor a medida que se acerca a la interfase, los nódulos de forma regular distribuidos uniformemente por todo el material.

13. PLIEGO DE CONDICIONES TECNICAS

El pliego de condiciones técnicas recoge de manera detallada la maquinaria, los materiales, los equipos de protección individual que hemos necesitado para realizar el trabajo, así como la normativa a la que obedecen.

13.1 Proceso de soldadura

Maquinaria

- Equipo de soldar Fronius
- Mesa de soldar
- Botella de Argón con manorreductor
- Tornillos de apriete (Gatos sargento)
- Cepillo latonado-
- Fundición nodular
- Maza
- Varilla de Ni-Fe (ANSI/AWS A5.14)
- Electrodo de Ni-Cu (ANSI/AWS A5.11)

Para el método de soldeo, se ha seguido la norma UNE-EN ISO 4063, proceso 131 (correspondiente al soldeo TIG con material de aporte macizo)

Para los materiales de aportación, clasificados en el grupo FM6 dentro del Informe Técnico ISO/TR 15608, se ha seguido la norma de aplicación ISO 18274 (Níquel y sus aleaciones)

La botella de argón obedece a la norma de gases de protección para el soldeo por fusión, que es la UNE-EN ISO 14175: 2009.

Equipos de protección

- Pantalla de soldar

EN149 Protección ocular ojos requisitos generales; EN169 Protección Ocular, filtros para soldadura; EN175 Equipos para protección de los ojos y cara durante soldadura; EN 379 Protección ocular, filtros automáticos para soldadura

- Guantes de soldador

EN 388 4123X Norma contra riesgos mecánicos y EN 407 413x4x Norma contra riesgos térmicos

- Chaqueta y polainas de serraje

Ropa de protección. Requisitos generales (ISO 13688:2013)

EN ISO 11611 Ropa de protección para soldadura y procesos afine

- Zapatos de seguridad

EN ISO 20345:2011

- Mascarilla contra gases de soldadura

EN149 A1+test dolomita

13.2 Proceso de corte y preparado piezas

Maquinaria

- Sierra de cinta accionamiento manual y amoladora angula con disco de láminas

UNE-EN 60745-2-20:2010 Herramientas manuales eléctricas accionadas por motor eléctrico. Seguridad. Parte 2-20: Requisitos particulares para sierras de cinta.

- Disco de láminas grano 60

EN 13743 Requisitos de seguridad para los productos abrasivos recubiertos

- Esmeriladora de banco

Siguiendo la Instrucción Operativa IOP PM 42(a), marcada por el Servicio de Prevención de Riesgos Laborales de la UPV.

Equipos de protección

- Gafas de seguridad

EN149 Protección ocular ojos requisitos generales

- Guantes de seguridad de piel flor

EN 420; EN-388 2132X

- Zapatos de seguridad

EN ISO 20345:2011

10.3 Ensayo de tracción

Maquinaria

- Máquina de ensayos de tracción

UNE-EN ISO 4136:2013 Ensayos destructivos de uniones soldadas en materiales metálicos. Ensayo de tracción transversal.

Equipos de protección

- Gafas de seguridad

EN149 Protección ocular ojos requisitos generales

- Guantes de seguridad de piel flor

EN 420; EN-388 2132X

- Zapatos de seguridad

EN ISO 20345:2011

10.5 Micrografías y microdurezas

- Sierra de accionamiento manual
- Embutidora REMET, modelo IPA 30 Evolution
- Desbastadora Struels Labopol-21
- Microscopio con cámara Nikon
- Compuesto Transoptic
- Hoja de lija de grano 200 y 1000
- Secador
- Pasta de diamante 3 μ m
- Alcohol etílico
- Nital 3

Seguida la norma UNE-EN ISO 643:2020 Aceros. Determinación micrográfica del tamaño de grano aparente.

Equipos de protección

- Gafas de seguridad

EN149 Protección ocular ojos requisitos generales

- Guantes de seguridad de piel flor

EN 420; EN-388 2132X

- Zapatos de seguridad

EN ISO 20345:2011

- Mascarilla FFP3 para manipulación del nital 3

EN 149 A1 + test dolomita

14. PRESUPUESTO

14.1 Material

	Producto	Cantidad	Precio/ud	Total
1.1	PLACA FUNDICION NODULAR	10 KG	3,50€/KG	35,00€
1.2	VARILLA NI-FE	0,5 KG	4,06€/KG	2,03€
1.3	ELECTRODO NI-CU	20 UDS	0,945€/UD	18,90€
1.4	ELECTRODO TUNGSTENO	1 UD	2,20€/UD	2,20€
1.5	GAS ARGON	200 LT	0,06€/LT	12,00€
1.6	DISCO LAMINAS AMOLADORA	1 UD	3,00€/UD	3,00€
1.7	DISCO CORTE 300-MM	1 UD	7,50€/UD	7,50€
1.8	DISCO TELA ESMERIL DIFERENTE GRANO	2 UD	2,90€/UD	5,80€
1.9	DISCO PULIDO	1 UD	12,00€/UD	12,00€
1.10	ALCOHOL ETÍLICO	1 LT	2,50€/LT	2,50€
1.11	POLVO TRANSOPTIC	100 GR	125,00€/KG	12,50€
1.12	TALADRINA	1LT	5,00€/LT	5,00€
1.13	NITAL 3	1 LT	6,00€/LT	6,00€
1.14	PASTA PULIDO DIAMANTE	1 LT	12,90€/ LT	12,90€
1.15	ACEITE PULIDO	1 LT	6,80€/LT	6,80€
1.16	HOJA SIERRA CINTA	1 UD	35€/UD	35,00€
TOTAL MATERIALES				179,13€

14.2 Maquinaria de trabajo

	Producto	Cantidad (horas)	Precio/hora	Total
2.1	SIERRA DE CINTA	1	40,00€	40,00€
2.2	HORNO TRATAMIENTO	18	15,00€	270,00€
2.3	GRUPO SOLDAR	3	50,00€	50,00€
2.4	TRONZADORA	1,5	40,00€	60,00€
2.5	MAQUINA EMBUTIR	1	50,00€	50,00€
2.6	MAQUINA DESBASTE Y PULIDO	3	40,00€	120,00€
2.7	AMOLADORA	0,5	15,00€	7,50€
2.8	MICRODUROMETRO	3	30,00€	90,00€
2.9	MICROSCOPIO	2	30,00€	60,00€
2.10	MAQUINA ENSAYO TRACCION	1,5	50,00€	75,00€
TOTAL MAQUINARIA				822,50€

14.3 Mano de obra

Ayudante laboratorio: 15€/h

Técnico Laboratorio: 20€/h

Soldador: 40€/h

	Producto	Cantidad (horas)	Precio/hora	Total
3.1	CORTE DE CHAPA	1	15,00€	15,00€
3.2	SOLDADOR	4	40,00	160,00€
3.3	PREPARACION PROBETAS	6	20,00€	120,00€
3.4	ENSAYO MICROGRAFIAS	2	20,00€	60,00€
3.5	ENSAYO MICRODUREZAS	3	20,00€	120,00€
3.6	ENSAYO TRACCION	1,5	20,00€	30,00€
TOTAL MAQUINARIA				505,50€

PROYECTO	IMPORTE	IVA	TOTAL
MATERIALES	179,13€	37,62€	216,75€
MAQUINARIA	822,50€	172,73€	995,23€
MANO DE OBRA	505,50€	106,16€	611,66 €
TOTAL			1823,64€

Por lo tanto, podemos concluir con que el presupuesto final del proyecto es de mil ochocientos veintitrés euros con sesentaicuatro céntimos.

15. CONCLUSIONES

Basándonos en los resultados obtenidos de los diversos ensayos realizador, podemos sacar las conclusiones de cual es el tratamiento térmico más conveniente en la soldadura de fundición dúctil con Ni-Fe de raíz y Ni-Cu de relleno a la hora de aplicarlo en la reparación de válvulas subterráneas de gran tamaño.

En nuestro caso, tratándose de estudiar la soldadura para estudiar la posibilidad de aplicarla en la reparación de grandes válvulas de subterráneas obtenidas por moldeo, habría que verlos desde distintos puntos de vista.

La reparación de válvulas por método de soldeo TIG, es una posibilidad económica y rápida, que puede darlos una efectiva solución y que, viendo los resultados obtenidos, sería una solución viable ante un agrietamiento o rotura parcial.

Viendo los resultados obtenidos, podemos afirmar la que la probeta de 900°C nos ha dado los mejores datos en cuanto a ductilidad y elasticidad. Esto se debe a los cambios estructurales que produce el recocido, haciendo que adquiera una mayor homogeneidad estructural que provoqué esa mayor plasticidad previa a la rotura.

La probeta que no ha sido tratada térmicamente es la que peores resultados nos ofrece, ya que la temperatura a la que se ha sometido durante la soldadura ha creado una estructura con gran acumulación tensional a lo largo del hilo de la soldadura. Esa acumulación tensional hace que la pieza sea mucho más dura y frágil. Teniendo una zona elástica menor que las probetas recocidas, ha obtenido los valores más altos de resistencia a la tracción.

Por último, los resultados de la probeta recocida a 600°C han sido algo intermedio a los otros dos tratamientos. Conseguimos unos valores de resistencia a la tracción bastante altos, casi tanto como los de la probeta sin tratamiento térmico. Sin embargo, el recocido a 600°C, ha conseguido darle una ductilidad muy cercana también a la del recocido a 900°C, además de eliminar en gran parte las tensiones que generaban estructuras de gran dureza y fragilidad.



Ahora, también debemos de ver los inconvenientes de esta posible reparación, que realmente aparecen en los casos en los que nos encontrásemos en la necesidad de realidad un recocido a la válvula:

1. En caso de ser una válvula de gran tamaño, para asegurarnos de poder aplicar un recocido en caso de que sea necesario, necesitamos disponer de un horno de grandes dimensiones.
2. En caso de disponer de poco tiempo para la reparación, el tratamiento de recocido nos hace perder bastante tiempo, ya que necesitaremos disponer de la pieza fuera de su punto de funcionamiento durante un periodo de al menos unas 48h hasta poder volver a montarla.

En definitiva, podemos concluir, que en caso de que sea posible, la opción más interesante en la reparación de grandes válvulas de paso, sería el recocido a 600°, ya que podrían soportar mejor las deformaciones provocadas por los cambios de presión durante la conducción de agua por su interior.

Por último, me gustaría finalizar agradeciendo a la Universidad y en especial al departamento de Ingeniería Mecánica y Materiales, los medios que han puesto a mi disposición para poder realizar el trabajo, y sobre todo, dar las gracias a mi tutor y todo el grupo de técnicos y profesores del departamento por la ayuda que me han dado y las facilidades para realizar el trabajo a pesar de las complicaciones que han ido surgiendo a lo largo de esta etapa.

14. BIBLIOGRAFÍA

<https://www.construtec.com/que-es-la-fundicion-ductil-que-quiere-decir-ductil/>

“Manual del soldador” por Germán Hernández Riesco 26ª Edición CESOL

<https://refiningcommunity.com/wp-content/uploads/2017/07/Tratamiento-termico-post-soldadura-de-coke-drums-en-servicio-y-de-nueva-fabricacion-Kovach-Boswell-Martinez-Couso-Stress-Engineering-Services-Idesa-DCU-Rio-de-Janiero-2009.pdf>

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

<https://www.buehler.com.es/compression-mounting-compounds.php>

<https://www.struers.com/es-ES/Knowledge/Etching#>

<https://ingemecanica.com/tutorialsemanal/tutorialn218.html>

<https://blog.utp.edu.co/metalografia/page/4/>

<https://www.ewm-group.com/es/fachwissen/schutzgase.html>