

# CONSIDERACIONES TEORICAS Y TECNOLOGICAS PARA LAS APLICACIONES DE LA SOLDADURA DE LOS HIERROS FUNDIDOS.



Dr. C. Osmundo Héctor Rodríguez Pérez  
Profesor Departamento Procesos Tecnológicos  
Universidad de Holguín

## RESUMEN

En el artículo se estudian algunos aspectos teórico prácticos que se presentan durante la soldadura de los hierros fundidos en lo que respecta a problemas en su soldabilidad debido a la baja plasticidad que tienen estos, formación de la cementina, infundibilidad en las piezas que están en contacto durante mucho tiempo con grasas, aceites o agua de mar, quemado de estos materiales, formación de poros, crecimiento de los hierros fundidos, etc.

Se brindan los principios del precalentamiento en los hierros fundidos, las recomendaciones de las temperaturas para el calentamiento de diferentes tipos de piezas y la forma de realizar estas operaciones.

En el trabajo se dan pasos tecnológicos fundamentales para realizar la recuperación de piezas de diferentes tipos de piezas de uso común en la práctica industrial.

## INTRODUCCIÓN

Los hierros fundidos son unos de los materiales que mayores dificultades presentan para la reparación de los mismos mediante los procesos de soldadura; por esta razón es que se estudian los diferentes problemas que tienen, para posteriormente dictaminar las recomendaciones para su recuperación por soldadura.

En el artículo se analizan las propiedades de los diferentes tipos de hierros fundidos, los problemas de su soldabilidad, principios del precalentamiento y se dan las recomendaciones para la soldadura en frío y en caliente de los diferentes tipos de estos materiales y también los pasos tecnológicos para la recuperación de piezas de acuerdo al tipo de rotura, o sea: defectos de

fundición, fracturas, roturas con huecos, etc.

## DESARROLLO

### Definición y particularidades de los hierros fundidos

Los hierros fundidos son aleaciones de hierro y carbono, en los cuales el contenido de este último varía teóricamente entre 2 y 6,7%, aunque en la práctica es de aproximadamente 2,6 y 3,7%. Los elementos que siempre se encuentran presentes en los hierros fundidos son: C, Mn, Si, P y S, aunque en algunos tipos se pueden encontrar: Ni, Cr, Cu, etc.

Al igual que los aceros, los hierros fundidos son aleaciones de hierro y carbono, pero se diferencian de estos en los

siguientes aspectos:

- Mayor contenido de carbono.
- En su estructura puede aparecer la ledeburita, perlita, ferrita y grafito.
- Mayor contenido de Si, Mn, P y S.
- Menor punto de fusión 1 150 °C, lo que provoca una mayor fluidez.
- Poca capacidad a la deformación.

Existen diferentes tipos de hierros fundidos de acuerdo al método de obtención de los mismos y a la forma en que se encuentre el carbono, estos son: hierros fundidos grises, de alta resistencia (nodular), blancos, maleables, con grafito compactado y aleados con cromo, níquel, etc.

### Composición Química

La composición química tiene una influencia determinante sobre la estructura y propiedades de los hierros fundidos, la presencia de los elementos tales como: C, Si y Ni, favorecen la grafitización de estos, mientras que el Mn y Cr dan lugar a la formación de la cementina. Al aumentar el contenido de Si en valores iguales o superiores al 2% comienza a deformarse una cantidad de grafito a expensas del carbono combinado en forma de cementita. Este efecto conjunto entre el C y el Si actúa sobre la estructura de los hierros fundidos.

### Velocidad de enfriamiento

La cantidad de carbono en forma de grafito o de cementita depende

de la velocidad de enfriamiento, de manera tal que con velocidades lentas se obtiene el carbono en forma libre y si se enfría rápidamente el carbono se combina y se obtiene la cementita. En el primer caso se obtiene el hierro gris y en el segundo el blanco.

La velocidad de enfriamiento esta relacionada con el espesor de la pieza en cuestión, de manera que mientras mayor sea el espesor de la pieza, menor será la velocidad de enfriamiento, en el caso de los procesos de fundición.

### Tratamientos térmicos

Los tratamientos térmicos de los hierros fundidos se dan para eliminar tensiones internas, disminuir dureza y mejorar la microestructura, estos son los siguientes: recocido para eliminar tensiones internas, recocido para la disminución de la dureza y normalizado para mejorar la microestructura.

### PROBLEMAS EN LA SOLDABILIDAD DE LOS HIERROS FUNDIDOS.

La aplicación del proceso de soldadura a los hierros fundidos es un caso especial, debido a que en la generalidad de estos es un método de reparación de piezas y en muy pocos de fabricación de las mismas, por esta razón no solamente será necesario analizar los problemas en la soldabilidad de los hierros fundidos como material en si, sino también las condiciones de trabajo previas a la reparación de la pieza, las cuales dificultan su recuperación

mediante los procesos de soldadura. Exceptuando los hierros fundidos blancos que prácticamente no son soldables, se presentan problemas fundamentales y secundarios en la soldabilidad de los hierros fundidos.

### Problemas fundamentales en la soldabilidad de los hierros fundidos.

a) El surgimiento de grietas debido a las características físico-químicas del material (plasticidad casi nula), lo cual se estudia mas adelante con mayor detenimiento en el calentamiento y enfriamiento de los hierros fundidos y su relación con las propiedades mecánicas. Esto constituye un problema específico en la soldadura de hierros fundidos.

La presencia del grafito en forma laminar constituye un factor que favorece el desarrollo del agrietamiento.

b) La formación mas o menos localizada de cementina ( $Fe_3C$ ) se puede presentar, tanto en la zona fundida como en la de influencia térmica lo cual constituye un factor de concentración de tensiones y también dificulta la maquinabilidad de los hierros fundidos, cuestión en muchas ocasiones necesaria en la reparación de algunas piezas de estos materiales.

Este problema tiene lugar al quemarse el silicio el cual favorece el fenómeno de la grafitización y también debido a la rápida velocidad de enfriamiento.

### "Relación entre el calentamiento, el enfriamiento y las propiedades mecánicas en los hierros fundidos"

Los hierros fundidos tienen baja resistencia a la flexión, la deformación unitaria es nula con excepción de los hierros fundidos maleables, la forjabilidad sólo es posible a elevadas temperaturas y a la gran fragilidad, especialmente del hierro fundido laminar perlítico, constituyen dificultades en la soldadura de los hierros fundidos, pero por ser la plasticidad la propiedad que más problemas presenta en la soldadura de los hierros fundidos, especialmente en los grises, es que se analiza con mayor detenimiento.

La plasticidad es tan baja que en algunas ocasiones es casi nula a temperatura ambiente y la misma provoca el desarrollo de tensiones internas en el material y por lo tanto, el agrietamiento durante el proceso de soldadura.

Con el calentamiento local en una pequeña masa de material tal y como ocurre en los procesos de soldadura con calor (fusión) (figura 1), se producen dilataciones en todas las direcciones y las fibras del material adyacente a esa masa calentada o fundida se encuentran sometidas a tensiones de comprensión. Durante el enfriamiento se producen contracciones y entonces las tensiones a que está sometida dicha masa son de tracción.

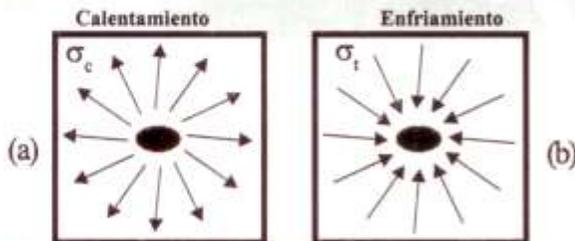


Figura 1. Proceso de calentamiento y enfriamiento del material base.

En la soldadura sin precalentamiento, el material tiende a aumentar de volumen uniformemente en el punto caliente, la masa del material alrededor de este punto caliente evita este aumento de volumen debido a su resistencia y se crean de esta forma tensiones de compresión ( $\sigma_c$ ), que aumentan en todas las direcciones (figura 1.a). Durante todo este proceso aún no existe problema, porque los hierros fundidos tienen una cierta resistencia a la compresión y además con el aumento de la temperatura, aumenta la plasticidad de los mismos, pero durante el enfriamiento el material que se calentó, ahora se enfría y las fibras que anteriormente se encontraban a compresión, entonces se encuentran a tracción ( $\sigma_t$ ), tal y como se observa en la (figura 1.b), conjugándose entonces dos cuestiones críticas en los hierros fundidos, una que el hierro fundido tiene una baja resistencia a la tracción y otra que con la disminución de la temperatura disminuye la plasticidad de estos materiales, ocasionando esto el surgimiento de grietas, tanto en la zona fundida como en la zona de influencia térmica, la cual constituye la problemática fundamental en la recuperación de piezas por soldadura de los hierros fundidos.

Si el material es plástico, como en el caso de los aceros, sucede todo el proceso descrito anteriormente, pero el material no se agrieta debido a que los aceros tienen buena resistencia a la tracción y mayor plasticidad que los hierros fundidos, lo cual permite soportar el valor de las tensiones que se desarrollan en el proceso de calentamiento, aunque después todo esto, en la pieza permanezcan estas tensiones internas y puedan disminuirse o eliminarse por tratamiento térmico posterior.

Las magnitudes de las tensiones de compresión y tracción dependen de dos factores, que son:

**-Diferencia de calentamiento (temperatura) entre la masa calentada y la zona adyacente.**

**-Cantidad de la masa calentada.**

Si se efectúa un determinado precalentamiento total a toda la zona adyacente de la masa calentada, las magnitudes de las tensiones disminuyen debido a que entonces la misma y su zona adyacente aumentan y disminuyen de dimensiones de una manera más uniforme. Este es el principio en el cual se fundamentan los métodos de "soldadura en caliente" de los hierros fundidos.

Mientras mayor sea la cantidad de la masa calentada, las magnitudes de las tensiones de compresión y tracción crecen, por lo tanto otra posibilidad sería tratar de disminuir ésta de manera tal que las tensiones que se producen sean soportables por la resistencia del material, o sea depositando pequeñas cantidades de material. Este es el principio en el cual se fundamentan los métodos de "soldadura en frío" de los hierros fundidos.

### Problemas secundarios en la soldabilidad de los hierros fundidos.

a) La formación de poros en la zona fundida, debido a que por el alto contenido de carbono en estos materiales, se forman óxidos de carbono ( $\text{CO}$ ,  $\text{CO}_2$ ), que no tienen tiempo de escapar del baño fundido por su rápido enfriamiento.

b) La formación de una película refractaria de óxidos de silicio y manganeso durante el proceso de soldadura, la cual tiene un alto punto de fusión con respecto al metal base.

c) La alta fluidez de los hierros fundidos que es necesaria desde el punto de vista de la fabricación de los mismos, ocasiona la dificultad de soldar estos materiales en posiciones inclinadas, verticales y sobrecabezas.

### Condiciones previas a la reparación en piezas de hierro fundido.

En algunas ocasiones las condiciones de trabajo de la pieza, previas al proceso de

recuperación mediante los procesos de soldadura, ocasionan problemas que dificultan su reparación, estas son:

## **a) Crecimiento del hierro fundido.**

El fenómeno del crecimiento de estos materiales se presenta cuando la pieza trabaja durante largos períodos de tiempo por encima de los 400°C, o sufre calentamientos reiterados por encima de esta temperatura y muy especialmente por sobre 800°C, lo cual ocasiona un aumento del volumen y un gran desarrollo de tensiones internas en la pieza, como por ejemplo sucede en las puertas de hornos, turbinas de vapor, motores de combustión interna, etc.

La causa del crecimiento de estos materiales es la descomposición de la cementita ( $Fe_3C$ ) en hierro ( $Fe$ ) y carbono ( $C$ ), lo cual ocasiona el aumento del volumen del material y como consecuencia el desarrollo de tensiones internas que tiene como resultado final la insoldabilidad de estas piezas.

## **b) Infundibilidad.**

Este fenómeno se presenta en piezas que han estado en contacto con aceites, grasas y agua de mar durante largo tiempo, debido a que las mismas se embeben o empapan con estas sustancias y luego con el calor localizado del proceso de soldadura, ellas salen a la superficie y evitan fundir el

metal y ocasionar la infundibilidad del mismo. De esta forma no se logra un baño de soldadura correcto y las gotas del metal de aporte se disgregan o resbalan por la superficie de la pieza o bordes de soldadura.

La soldadura de estas piezas se realiza de varias formas, la más común es precalentando con llama oxiacetilénica el lugar donde se va a soldar durante determinado período, para facilitar la salida de estas sustancias de los bordes de soldadura, luego se suelda sin que se presente el fenómeno de infundibilidad, mas adelante se brindan otras formas de solucionar este problema.

## **c) Quemado.**

El quemado de las piezas de hierro fundido consiste en la oxidación tanto superficial como interna en el material y ocurre cuando éstas trabajan a altas temperaturas (400°C).

Los hierros fundidos quemados se caracterizan por una superficie con óxidos visibles ( $Fe_2O_3$ ,  $Fe_3O_4$  y  $FeO$ ) y una oxidación interna. El óxido de hierro tiene mayor volumen que el hierro puro y entonces se aumenta la dureza del material, todo lo anteriormente expuesto sumado a la suciedad y rugosidad superficial traen como consecuencia que la soldadura de estas piezas sea difícil.

## **PRINCIPIOS DEL PRECALENTAMIENTO EN LA SOLDADURA DE LOS HIERROS FUNDIDOS.**

En el dominio de la tecnología de recuperación de piezas por procesos de soldadura de los hierros fundidos no es necesario sólo conocer el proceso de fusión del metal base y de aporte, la forma correcta del cordón, etc., sino también determinar el proceso tecnológico más adecuado para obtener una unión soldada de calidad, donde el precalentamiento juega un papel fundamental. Por esta razón se estudian a continuación los principios del precalentamiento, sus formas y la selección de la temperatura de precalentamiento.

### **Principios del Precalentamiento.**

El precalentamiento de los hierros fundidos se define por los siguientes principios:

- a) Se debe analizar si se suelda con o sin precalentamiento,
- b) Si se precalienta, se debe analizar de qué forma se realiza si local o totalmente.
- c) El precalentamiento se utiliza sólo cuando es indispensable y hasta la temperatura a que es necesario.

En el precalentamiento de los hierros fundidos se decide en primer lugar, los problemas relacionados con la baja

plasticidad y en segundo lugar, los relacionados con los problemas metalúrgicos puros, o sea, la tendencia a la formación de la cementita ( $Fe_3C$ ).

En la selección del precalentamiento de una forma local o total será necesario analizar si durante el calentamiento existe la libre dilatación tal como se observa en la figura 2, es decir, la no aparición de las tensiones de compresión ( $\sigma_c$ ) y de tracción ( $\sigma_t$ ).

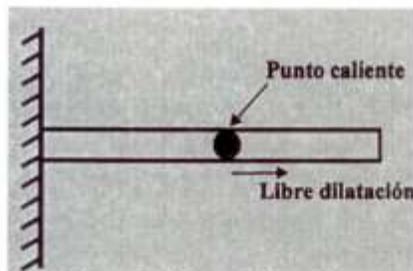


Figura 2. Libre Dilatación.

Desde el punto de vista de las propiedades mecánicas de los hierros fundidos no será necesario el precalentamiento de las piezas cuando existe la libre dilatación, pero sin embargo, para evitar la formación de la cementita se le aplica un ligero precalentamiento local. En piezas de hierro fundidos rígidas, es decir, cuerpos huecos reforzados, con nervios, etc. el calentamiento local es inútil y entonces es indispensable el calentamiento total, el cual debe ser uniforme en todas las dimensiones y secciones.

En la soldadura de piezas grandes se aplica un precalentamiento local, mantenido durante el proceso de soldadura para lograr la libre

dilatación de la pieza, sin embargo, este precalentamiento debe darse de acuerdo con la forma de la pieza y el lugar de la rotura para poder obtener la libre dilatación, tal como se aplica en las partes B y C de la pieza que se ilustra en la figura 3, la cual tiene una rotura en el punto A.

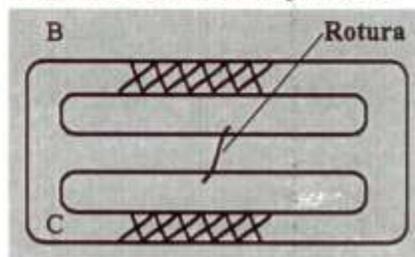


Figura 3. Precalentamiento en puntos necesarios.

## SOLDABILIDAD DE LOS HIERROS FUNDIDOS

La soldadura de los hierros fundidos se puede ejecutar mediante el procedimiento de soldadura manual por arco eléctrico y con llama oxiacetilénica.

En la soldadura manual por arco eléctrico y con llama oxiacetilénica se pueden obtener uniones soldadas de buena calidad en hierros fundidos grises, maleables nodulares, etc.

### Tecnología de soldadura manual por arco eléctrico.

En la soldadura y recuperación de piezas mediante el procedimiento de soldadura manual por arco eléctrico se emplea en la mayoría de las ocasiones la soldadura en frío.

### Soldadura en frío.

En la soldadura en frío se debe aplicar una tecnología tal que

garantice una temperatura aproximada a los  $60^{\circ}C$  (tibia) en la pieza con la cual se trabaja de manera tal que se pueda soportar (medir) por las manos del operario. A continuación se dan las principales recomendaciones en lo que respecta a la preparación de las piezas, proceso de soldadura y enfriamiento.

### Preparación de la pieza.

1. Las superficies de las piezas que se van a soldar deben estar libres de aceites, grasas, suciedades, pinturas, etc.
2. Todo el material sucio debe ser eliminado con disco abrasivo o en su defecto con cincel hasta obtener el brillo metálico.
3. Para eliminar grasas y aceites se puede utilizar tetracloruro de carbono o tricloro etileno, en los casos que se requiera.
4. En el caso de eliminación de grietas se deben observar bien las superficies con ayuda de una lupa para precisar los finales de éstas y luego taladrar en estos lugares con una broca.
5. Las grietas o rajaduras se deben eliminar con discos abrasivos o con electrodos de ranurar.
6. En el caso de roturas, la preparación de bordes se debe realizar sin cantos agudos (vivos).

### Proceso de soldadura.

7. Se debe aplicar un pequeño precalentamiento para lograr una temperatura en la pieza aproximadamente de  $60^{\circ}C$ .
8. Se debe soldar en posición plana aunque en los casos que esto no sea posible, la soldadura en frío permite otras posiciones.
9. Se debe soldar con electrodos

de pequeño diámetro.

10. Se debe emplear la corriente directa con polaridad invertida (CDPI) a menos que el fabricante del electrodo especifique lo contrario.

11. Se debe mantener un arco corto.

12. Los cordones se depositan con una longitud máxima de 10 veces el diámetro y un ancho de 2 veces. Deben ser rectos y se deben depositar de forma alterna (salteada).

13. Los cordones se deben martillar en caliente.

14. En el caso de cordones simples en línea recta se debe usar la técnica de cordón por detrás, tal y como se muestra en la fig 4.

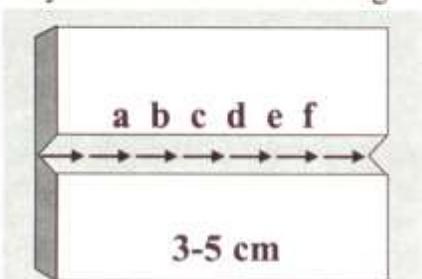


Fig. 4. Técnica del cordón por detrás

15. El lugar donde se efectúa el proceso de soldadura debe estar libre de corriente de aire.

16. Se deben obtener cordones sin poros y si éstos surgen, deben eliminarse.

17. Se deben seleccionar electrodos a base de níquel, níquel-hierro, níquel cobre y acero inoxidable.

18. La combinación de electrodos basándose en níquel puro y níquel-hierro, aumenta las propiedades mecánicas.

19. La soldadura en frío se puede realizar en posiciones en los casos en que no sea posible colocar la pieza horizontalmente.

### Enfriamiento

20. Se debe garantizar al final de la operación de soldadura un enfriamiento lento.

21. En ocasiones antes del enfriamiento se aplica un tratamiento térmico para disminuir tensiones y dureza. Esto es beneficioso cuando se emplean electrodos a base de hierro.

### Soldadura en Caliente

La soldadura en caliente se emplea con más frecuencia en los procesos de soldadura con llama oxiacetilénica con excepción de los casos de piezas compactas y de espesores grandes donde se puede analizar la posibilidad del empleo de la soldadura manual con electrodos a base de níquel-hierro y a temperatura de precalentamiento que no excedan los 350°C. Es obligatorio un enfriamiento lento del cordón.

### Tecnología de soldadura manual con llama oxiacetilénica.

#### Soldadura en caliente

En el desarrollo de la soldadura en caliente se deben tener en cuenta las siguientes recomendaciones en lo que respecta a la preparación de las piezas, proceso de soldadura y enfriamiento.

#### Preparación de las piezas

Se deben tener en cuenta los mismos pasos tecnológicos 1,2,3 y 4 que en la tecnología de soldadura manual por arco eléctrico.

5. La preparación de los bordes en uniones a tope debe realizarse a 90°C.

### Proceso de soldadura

6. Se debe utilizar una llama neutra (reductora) o ligeramente carburante.

7. La pieza debe calentarse durante todo el desarrollo del proceso a (250-500)°C.

8. Se recomienda el método de soldadura a izquierdas.

9. Los materiales de aporte recomendados pueden ser hierros fundidos y aleaciones a base de cobre.

10. Debe emplearse el fundente adecuado.

11. No deben existir corrientes de aire.

### Enfriamiento

12. Se debe garantizar al final de la operación de soldadura un enfriamiento lento.

13. En algunas ocasiones antes del enfriamiento se le puede dar un tratamiento térmico para la eliminación o disminución de las tensiones a las piezas soldadas.

## APLICACIONES

### Aplicaciones en piezas

#### 1) Rellenado de defectos de fundición.

Se necesita rellenar el defecto de fundición en el buje de hierro fundido gris que se ilustra, con la composición química siguiente:

$C = (3.1-3.4)\%$ ,  $MN =$

$(0.5-0.7)\%$ ,  $Si = (1.9-2.2)\%$

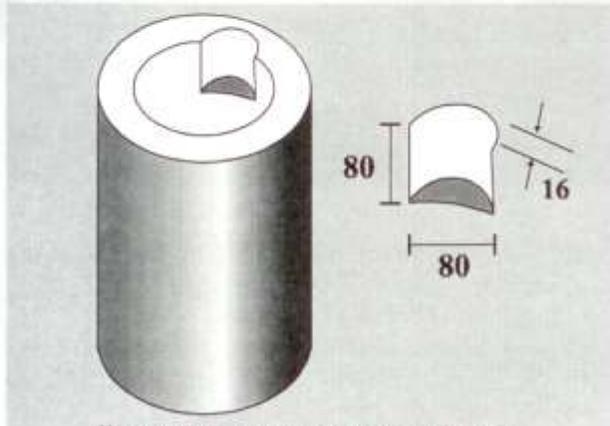


Figura 5. Buje de hierro fundido gris.

### Preparación de la pieza

1. Se deben eliminar de costras, óxidos, etc., las superficies del defecto a rellenar con cincel hasta obtener el brillo metálico.

### Proceso de soldadura

(Se debe utilizar el proceso de soldadura manual por arco eléctrico)

2. Aplicar un ligero precalentamiento inicial de 60°C.
3. Se debe rellenar el defecto en posición horizontal.
4. Se debe emplear un electrodo a base de níquel.
5. Se selecciona un diámetro de 3.2 mm para soldar con 80 A 0
6. Mantener un arco corto.
7. La longitud máxima del cordón debe ser de 30 mm y de ancho de 6 mm.
8. Los cordones se deben depositar en forma alterna y rectos.
9. Aplicar un martillado en caliente.
10. El lugar donde se efectúa el proceso de soldadura debe estar libre de corrientes de aire.

### Enfriamiento

11. Después de rellenar el defecto se debe garantizar un enfriamiento lento.

## 2) RECUPERACION DE UNA TAMBORA DE FRENO.

Se necesita recuperar la tambora de freno en la cual se han presentado grietas y desgaste superficial debido al calentamiento que producen las zapatas durante la operación de frenado. Estas

piezas son de hierro fundido gris con la siguiente composición química:

$C = 2.9\%$ ,  $Mn = 0.7\%$ ,  $Si = (1.8-1.9)\%$

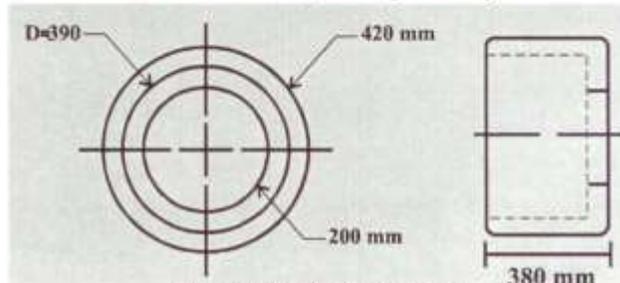


Figura 6 tambora de freno.

### Preparación de la pieza

1. Las grietas se deben biselar con electrodos de ranura y disco abrasivo.
2. Las partes que van a ser rellenadas se deben limpiar bien de suciedades, grasas, aceites, etc.
3. Se debe efectuar una buena limpieza con cepillo metálico.

### Proceso de soldadura

(Se debe utilizar el proceso de soldadura manual por arco eléctrico)

4. Se debe aplicar un precalentamiento inicial de 60°C.
5. Se debe soldar en posición plana.
6. Para el llenado de las grietas se selecciona el electrodo UTP 8 de 3.2 mm de diámetro y para el rellenado de superficies desgastadas el UTP 88 H del mismo diámetro.
7. Se debe mantener el arco corto.
8. La longitud máxima de los cordones debe ser de 30mm y el ancho de 6 mm.
9. Los cordones se depositan en forma alterna y rectos.
10. Se deben martillar los cordones en caliente.
11. El lugar donde se efectúe el proceso de soldadura debe estar libre de corrientes de aire.

### Enfriamiento

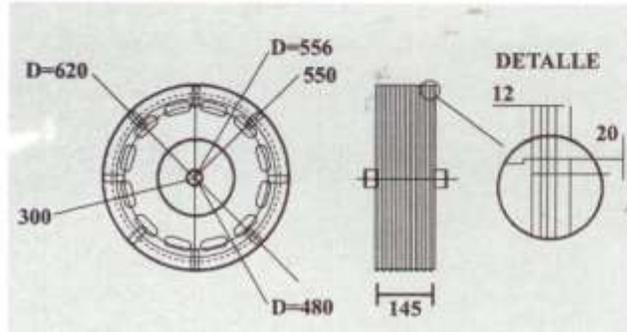
12. Se debe garantizar un enfriamiento lento.

## 3) RECUPERACION DE UNA POLEA RANURADA.

La polea ranurada que se ilustra se ha desgastado y es necesario restituirla al proceso de producción; el material es de hierro fundido gris de la composición

química siguiente:

**C = 3%, Mn = 0.6% y Si = 2%**



**Figura 7. polea ranurada.**

### Preparación de la pieza

1. Se deben limpiar con cepillo metálico las partes sucias.
2. Eliminar grasas y aceites con solventes (tetracloruro de carbono o tricloro etileno).

### Proceso de soldadura

(Se debe utilizar el proceso de soldadura manual por arco eléctrico).

3. Se debe aplicar un precalentamiento inicial de 100°C.
4. El proceso de soldadura se debe realizar en posición plana.
5. El diámetro del electrodo se recomienda que sea de 3 mm y la mínima intensidad de corriente eléctrica.
6. Se debe emplear la corriente directa polaridad invertida o la que especifique el electrodo seleccionado.
7. El arco debe ser corto.
8. La longitud de los cordones debe ser como máximo de 30 mm y de ancho de 6 mm; éstos se deben depositar de forma alterna.
9. los cordones se deben martillar en caliente.
10. El lugar donde se efectúa el proceso de soldadura debe estar libre de corrientes de aire.

### Enfriamiento

11. Se debe garantizar al final de la operación de soldadura un enfriamiento lento, cubriendo la pieza con asbesto o cal.

## CONCLUSIONES

### Las principales conclusiones del trabajo son:

- a) Se realiza un estudio teórico de los principales problemas que presenta los hierros fundidos para luego aplicar estos en las tecnologías de la soldadura de estos materiales y desarrollarlos en problemas directos a la producción en la industria metal mecánica.
- b) Se brindan los pasos tecnológicos para la soldadura en frío y en caliente en la soldadura manual por arco eléctrico y con llama oxiacetilénica.
- c) Se dan ejemplos de aplicación práctica desarrollados en diferentes industrias de la rama de la mecánica.

## BIBLIOGRAFIA

- AGA. Guía de electrodos y aleaciones especiales. 122p. 1988 México, s/a.
- ANONIMO, BRAZING. Welding Desing and Frabrication. (13-69)p. junio. 1993. EUA.
- ASM. Handbook Committee, Welding Handbook 8 ed. Vol.6. 734 p. ASM Handbook Committee, EUA, 1971.
- AWS. Welding Handbook Metal and their weldability. 583 p. EUA, 1966.
- BASISTA, M; Plamen v. Opravarstve. 378p. Bratislava.
- CIME. Manual de recuperación de piezas. 403 p. Cuba 1993.
- ESAB. The ESAB Stainless Welding Handbook. 46. p. 1989. Suecia.
- ESAB. Welding of cast iron 8 p. Suecia, 1990.
- RODRIGUEZ H.; AVILA R., GARCIA R. ELECSIST: Software para la selección automatizada de los materiales de aporte de la soldadura y reparación de piezas de hierros fundidos. 1994.
- RODRIGUEZ H., Metalurgia de la soldadura. 613 p. Editorial pueblo y educación. Habana. Cuba. 1983
- RODRIGUEZ H., Soldabilidad de los hierros fundidos. Conferencia dictada en la escuela superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica. México. D.F. 1992.
- RODRIGUEZ H., Soldabilidad de los hierros fundidos. 51 p. 1977. Cuba.
- THE WELDING HANDBOOK COMMITTEE. Welding Handbook.6ed. t.1 875 p. American Welding society publishers. EUA, 1968.
- UTP., UTP en la industria azucarera. 95 p. 1995 México.
- UTP., Soldadura de hierro fundido. 11p. 1995. México.