



UNIVERSIDAD NACIONAL  
AUTONOMA DE MEXICO



Facultad de Estudios Superiores  
"Cuautitlán"

Departamento de  
Exámenes Profesionales

"SOLDABILIDAD Y COMPARACION DE LA  
SOLDADURA AL ALTO CROMO-ALTO CARBONO"

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE,  
INGENIERO QUIMICO  
P R E S E N T A N:  
RAMON SANCHEZ REYES  
HECTOR RAMON HERNANDEZ LUA

Asesor: I.Q.M. Rafael Sampere Morales

CUAUTITLAN IZCALLI, EDO. DE MEX.

1993

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN



Universidad Nacional  
Autónoma de México



## **UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso**

### **DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis está protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

	PAG.
Objetivos .....	1
Introducción .....	3
Cap. 1 Historia y tipos de soldadura .....	6
1.1 Inicios de la soldabilidad .....	7
1.2 Diagrama maestro de los procesos de soldadura .....	10
1.3 Tipos de soldadura .....	14
Cap. 2 Diagrama de equilibrio Hierro - Carburo de Hierro .....	25
2.1 Diagrama de Hierro - Carburo de Hierro .....	26
2.2 Definición de estructuras .....	32
2.3 Tipos de hierro fundido .....	34
2.4 Hierro fundido blanco .....	36
Cap. 3 Hierros fundidos blancos alto Cromo .....	39
3.1 Efectos de la microestructura .....	41
3.2 Selección de la matriz .....	42
3.3 Composición y tratamiento técnico de hierros fundidos alto Cromo-Molibdeno .....	45
3.4 Carburo estable .....	46
3.5 Procedimiento de calado .....	47

	3.6 Efecto del tamaño de la sección .....	49
	3.7 Disminución de la Dureza .....	50
	3.8 Retención de la Austenita .....	52
<b>Cap. 4</b>	<b>Propiedades físico-mecánicas de los hierros blancos alto Cromo</b>	<b>53</b>
	4.1 Temperatura de templado .....	54
	4.2 Tratamiento térmico .....	56
	4.3 Propiedades no magnéticas .....	58
	4.4 Maquinabilidad .....	59
	4.5 Dureza final .....	60
<b>Cap. 5</b>	<b>Aleaciones de recubrimientos duros</b>	<b>61</b>
	5.1 Factores de desgaste .....	65
	5.2 Tipos de abrasión .....	69
	5.3 Tipos de aleaciones de superficies duras .....	71
<b>Cap. 6</b>	<b>Descripción de las normas empleadas en soldadura</b>	<b>77</b>
	6.1 Breve descripción de las normas empleadas en soldadura .....	78
	6.2 Normas sobre electrodos, material de aportación y fundentes .....	80
	6.3 Norma A.W.S 5.13 para recubrimientos duros .....	86
<b>Cap. 7</b>	<b>Características de los electrodos y recubrimientos</b>	<b>99</b>
	7.1 Funciones de los revestimientos .....	101

7.2	Tipos de revestimientos en base a su composición .....	104
7.3	Fundentes .....	107
Cap. 8	<b>Aplicaciones de la soldadura de recubrimientos duros</b>	<b>108</b>
8.1	Electrodos seleccionados para su aplicación .....	110
8.2	Fundamentos del Trabajo experimental .....	112
8.3	Parametros que se consideraron en el desarrollo experimental .....	113
8.4	Tabulación de datos y observaciones .....	114
	<b>Conclusiones</b>	<b>129</b>
	<b>Bibliografía</b>	<b>132</b>

## OBJETIVOS

## OBJETIVOS

- Comparar los diferentes tipos de soldabilidad de los recubrimientos duros bajo las mismas condiciones experimentales.
- Determinación y comparación de la dureza entre los electrodos utilizados y la reportada por los fabricantes.
- Como influye la variación del amperaje con respecto a los depositos hechos.

## INTRODUCCION

## INTRODUCCION

En el panorama general de desarrollo tecnológico moderno no es posible descuidar de ningun modo la evolución que se ha desarrollado en el terreno de los materiales resistentes a la abrasión.

En la industria química es importante aumentar la productividad incrementando la duración de equipos, piezas y herramientas industriales, evitar costosos paros de producción y al mismo tiempo reducir la dependencia en piezas de recambio costosas las que a menudo no están disponibles o son difíciles de obtener, reducir el consumo antieconómico de recursos naturales y de energía utilizados en producir piezas de recambio.

El Ingeniero Químico, el cuál está en continuo contacto con equipo de proceso que esta sujeto al desgaste por abrasión,

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

(Ataque químico, fatiga mecánica, fricción, calor, etc.) necesita por lo tanto un mejor conocimiento de las diversas aleaciones disponibles en el mercado para ser capaz de escoger el material mas adecuado para una situación dada. Para lograr ese objetivo, se propuso este trabajo en el cual se desarrollan temas básicos de soldabilidad, como una breve historia de la mismas, tipos de soldadura, composiciones y normatividad. Posteriormente se abordan las bases teóricas para el entendimiento de los recubrimientos duros: sus características fisicomecánicas y microestructurales. En el aspecto práctico se hicieron depositos de tres marcas comerciales de soldadura alto cromo-carbono y se hicieron pruebas de dureza, a los resultados obtenidos se les dió un tratamiento estadístico, obteniendose observaciones interesantes.

Entre algunas industrias en donde se aplica la soldadura de alto cromo-carbono estan las siguientes: química, minera, papel, cemento, plásticos, azucarera, siderúrgica, vidrio, construcción, etc.

Algunas aplicaciones en gusanos transportadores, impulsores de bomba, paletas de mezclador, bombas de draga, molinos azucareros, levas, barrenos, rodillos, pulverizadores, etc.

## **CAPITULO 1**

### **BREVE HISTORIA DE LA SOLDABILIDAD**

## 1.1 INICIOS DE LA SOLDABILIDAD.

1.1 Las técnicas de soldadura han llegado a ser tan variadas que resulta difícil definir con exactitud que es la soldabilidad, antiguamente la soldabilidad se definía como la unión de materiales por fusión, pero actualmente esta definición no es correcta. Si bien los métodos en los que se utiliza la fusión, son los más comúnmente usados, no son utilizados siempre.

No solo los metales se pueden soldar, sino también una gran variedad de plásticos, además hay procedimientos de soldadura en los cuales no es preciso aportar calor. Cuando un pedazo de metal se desliza con presión sobre una herramienta de corte de un torno, a menudo quedan pequeñas porciones soldadas en el borde de la herramienta. Este tipo de soldadura conocida como soldadura fría a presión es en algunos casos un método rutinario de soldadura.

Además de este tipo de soldadura por presión se utiliza hoy la soldadura producida por sonido, y con la luz producida por el famoso rayo laser.

En vista de que la diversidad de los procedimientos aumenta año con año se considera adecuada la definición de Patton (1). Quién considera la soldadura como la unión de metales y plásticos por el método que no precisan dispositivos de sujeción.

La unión de metales por procedimientos que no necesitan dispositivos de sujeción es un arte tan viejo como la herrería. los herreros soldaban metales por el procedimiento casi olvidado conocido como soldadura por forja.



No obstante, la soldadura considerada como procedimiento de fabricación no se había desarrollado hasta el siglo XX. Hacia el año de 1880 se usaban lámparas de arco de carbón para el alumbrado en las calles, en aquel tiempo se veía que la lámpara de arco de carbón, como todas las demás producía más calor que luz, por lo que fué este el primer artificio usado para soldar metales, siendo perfeccionado posteriormente hacia finales del siglo pasado.

Hacia el año 1900 hicieron su aparición los electrodos en forma de barras finas y la soldadura oxiacetilénica.

La soldadura fué usada solamente en reparaciones y operaciones de mantenimiento hasta la Primera Guerra Mundial.

El examen de las soldaduras por Rayos X se generalizó más tarde, y se dió lugar a una mayor confianza en las uniones soldadas.

La Segunda Guerra Mundial que favoreció al progreso de todas las ramas de la tecnología favoreció el desarrollo de los anteriores métodos de soldadura, dando lugar a procedimientos nuevos como el de la soldadura bajo atmósfera de gas inerte. De entonces a la fecha los métodos de soldadura se han perfeccionado, hasta el punto en que es difícil encontrar otra técnica que haya progresado tan rápidamente, ni siquiera la electrónica ( que debe su privilegiada posición al desarrollo de la soldadura ).

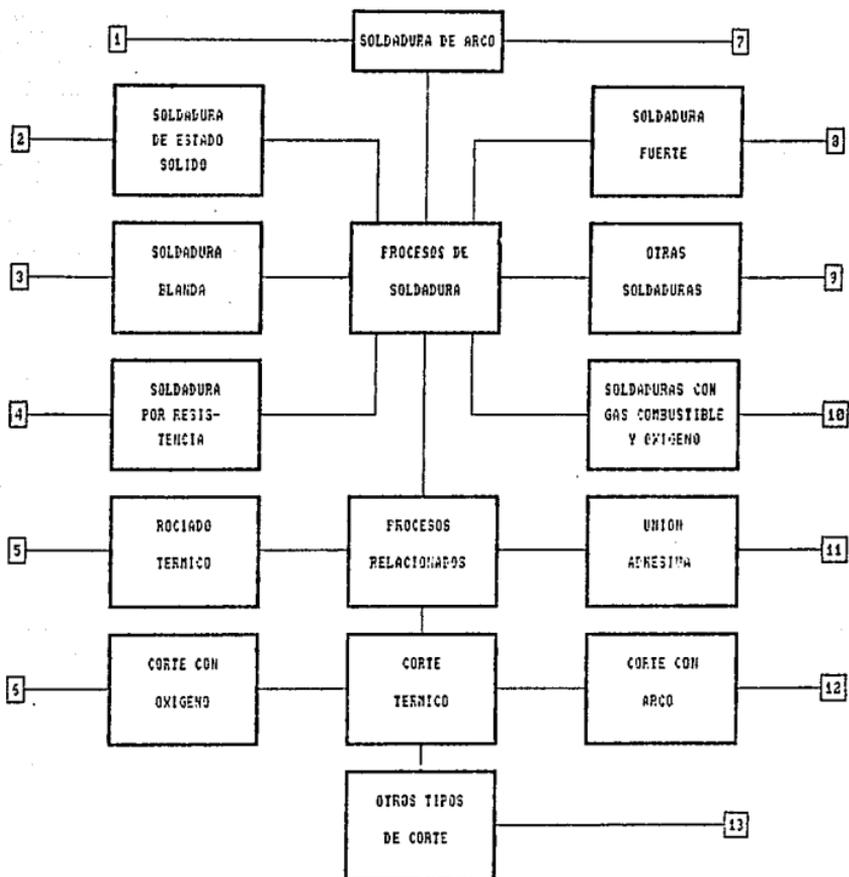
Podemos definir a la soldabilidad como una coalescencia localizada de metal que se produce mediante el calentamiento a temperaturas convenientes con aplicación de presión o sin ella, y

TESES CON  
FALLA DE ORIGEN

con utilización de metal de relleno o sin él; estas diferencias da lugar a diferentes procesos de soldabilidad.

Estos procesos se pueden observar de una forma breve en la carta maestra de la soldabilidad. Diagrama 1.2

1.2 DIAGRAMA MAESTRO DE LOS PROCESOS DE SOLDADURA Y OTROS PROCESOS RELACIONADOS.



## PROCESOS DE SOLDADURA DEL DIAGRAMA MAESTRO

1. Soldadura con hidrógeno atómico.  
Soldadura de arco metálico con electrodo desnudo.  
Soldadura con arco de carbón.  
Soldadura con gas:  
    Con arco protegido  
    Con arcos gemelos  
Soldadura de arco con núcleo fundente.
2. Soldadura en frío.  
Soldadura por difusión.  
Soldadura por explosión.  
Soldadura por forjado.  
Soldadura por fricción.  
Soldadura por presión en caliente.  
Soldadura con rodillos.  
Soldadura ultrasónica.
3. Soldadura blanda por inmersión.  
Soldadura blanda en horno.  
Soldadura blanda por inducción.  
Soldadura blanda por infrarrojo.  
Soldadura blanda por resistencia.  
Soldadura blanda con soplete.  
Soldadura blanda por ondas.
4. Soldadura por arco con presión.  
Soldadura por resistencia con alta frecuencia.  
Soldadura por percusión.  
Soldadura de resalto.  
Soldadura de costura por resistencia.  
Soldadura de puntos por resistencia.  
Soldadura por recalada.

5. Rociado con arco eléctrico.  
Rociado a la llama.  
Rociado con plasma.
  
6. Corte con fundente químico.  
Corte con polvo metálico.  
Corte con gas combustible y oxígeno  
    Oxiacetileno  
    Oxihidrógeno  
    Con oxígeno y gas natural
  
7. Soldadura con arco metálico y gas  
    Electrogas  
    Arco pulsado  
    Arco de corto circuito  
Soldadura de arco de tungsteno y gas.  
Soldadura de arco con plasma.  
Soldadura de arco metálico protegido.  
Soldadura de arco de espárragos.  
Soldadura de arco sumergido en serie.
  
8. Soldadura fuerte de arco.  
Soldadura fuerte de bloques.  
Soldadura fuerte por difusión.  
Soldadura fuerte por inmersión.  
Soldadura fuerte de fluido.  
Soldadura fuerte en horno.  
Soldadura fuerte por inducción.  
Soldadura fuerte infrarroja.  
Soldadura fuerte por resistencia.  
Soldadura fuerte a soplete.  
Soldadura fuerte con arco de carbones gemelos.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

9. Soldadura por gas de electrones.  
Soldadura de electroescoria.  
Soldadura de flujo.  
Soldadura por induccion.  
Soldadura por haz de rayos laser.  
Soldadura por termita.
  
10. Soldadura con aire y acetileno.  
Soldadura oxiacetilánica.  
Soldadura con oxihidrógeno.  
Soldadura a gas con presión.
  
11. Corte con arco de carbón y aire.  
Corte con arco de carbon.  
Corte con arco metalico y gas.  
Corte de tungsteno y gas.  
Corte con arco metálico.  
Corte con arco y plasma.  
Corte con arco metálico protegido.
  
12. Corte con haz de electrones.  
Corte con haz de rayos laser.

No todos los procesos son posible describirlos, por lo que únicamente se verán los más usuales y a la vez los que dan un panorama más general de los principios de la soldabilidad.

TESIS CCN  
FALLA DE ORIGEN

### 1.3 TIPOS DE SOLDADURAS.

Fatton(1) considera que existen alrededor de 50 procedimientos de soldadura, sin intentar enumerarlos todos, se describirán someramente los mas utilizados, agrupandolos en 4 clases:

- a). Soldadura con soplete
- b). Soldadura por resistencia eléctrica.
- c). Procedimientos especiales.
- d). Soldadura de arco eléctrico.

Las clases b). y c). constituyen los comunmente llamados procedimientos eléctricos, si bien entre los procedimientos especiales hay algunos que también emplean electricidad como energía para la soldadura.

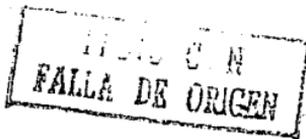
#### SOLDADURA CON SOPLETE (AUTOGENA U OXIACETILENICA)

En este tipo de soldadura, se utiliza la energía de combustión de un gas, ardiendo en el aire y en oxígeno puro.

Los gases combustibles usados mas comunmente son: acetileno, hidrógeno, gas natural, butano.

Estos gases son quemados mas corrientemente en el seno del oxígeno puro que en el aire. El aire esta compuesto por 78% de nitrógeno y un 21% de oxígeno puro.

La gran cantidad de nitrógeno existente en el aire, no tiene influencia alguna en los procesos de soldadura y absorbe en cambio una gran parte de calor de la combustión, por lo que disminuye sensiblemente la temperatura de la llama. Son pocos los metales que



consiguen soldarse con la baja temperatura que se consigue quemando estos gases en el seno del aire.

La llama más utilizada es la del acetileno, que con su temperatura superior a los 3000°C, es ligeramente superior a la temperatura de fusión de todos los metales, excepto del wolframio.

Con ningún otro gas combustible se alcanza esta temperatura. El calor obtenido de esta llama funde con facilidad los bordes de la unión a soldar y también la varilla del material de aporte que se deposita en la unión.

Todos los gases mencionados anteriormente, contienen carbono e hidrógeno, y todos se queman con oxígeno. Por lo tanto, la soldadura con soplete no puede utilizarse para soldar metales que resulten perjudicados por la presencia de carbono, hidrógeno u oxígeno como por ejemplo el titanio.

La soldadura con soplete tiene otras desventajas es lenta y a veces ineficaz, y con ella no se puede concentrar el calor en la estrecha franja de la soldadura. Este procedimiento, además, produce más distorsión en el metal a soldar que en ningún otro método de soldadura. En consecuencia, la soldadura con soplete se usa muy raramente como procedimiento de prefabricación.

Fese a todo estos inconvenientes de la soldadura con soplete, no debe desocharse ya que tiene la estimable ventaja de requerir muy poco equipo.

Las temperaturas de las llamas de los sopletes son inferiores a las temperaturas de arco eléctrico. Esto hace preferible la soldadura con soplete a la soldadura con arco cuando los metales a soldar son de bajo punto de fusión, como por ejemplo, el plomo y metales no ferrosos.

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**

La soldadura con soplete se emplea habitualmente para trabajos tales como instalaciones de refrigeración, reparaciones generales y mantenimiento, reparaciones automotrices, fontanería, etc.

Ciertos tipos de soldadura tales como la soldadura TIG (Tungsten Inert Gas), MIG (Metal Inert Gas) y soldadura con soplete de plasma, son una combinación de soldadura eléctrica y con soplete ya que utilizan un arco eléctrico mantenido a través de un gas de composición especial.

En la soldadura TIG, para proteger el metal de la soldadura, el revestimiento del electrodo se sustituye por un gas inerte mientras los revestimientos son relativamente baratos el gas argón o helio resultan bastante caros, así aunque la soldadura TIG produce soldadura de calidad muy superior a la de electrodos revestidos, resulte más cara por metro de soldadura. Sin embargo, el TIG también tiene ciertas ventajas económicas: el costo del trabajo de quitar la escoria de la costura no es despreciable y se evita con la soldadura TIG.

En general, la soldadura TIG no es adecuada para trabajos fuera del taller o zonas con corrientes de aire.

La soldadura TIG es aplicable en cualquier posición, el método se ha empleado en materiales tan finos como 0.12mm, la soldadura con electrodos revestidos esta limitada a espesores 0.8mm.

La soldadura MIG emplea una varilla de aportación mas fina que el núcleo de los electrodos revestidos por lo que los cordones son mas estrechos y penetrantes. Esto hace posible menores separaciones de bordes y hendiduras mas estrechas en la preparación de estos. De esta forma se adquiere menos metal y aporte para completar las uniones.

TELIS CON  
FALLA DE ORIGEN

## SOLDADURA POR RESISTENCIA ELECTRICA

En la soldadura por resistencia se sueldan dos o mas piezas de material, por presión y calor, obteniendose generalmente una soldadura a traslape.

Frecuentemente, esta soldadura o resistencia, es regulada por un interruptor de pedal y un conector de tiempo para controlar la duración de la corriente. la duración de un impulso de corriente es de unos 5 ciclos, o sea, de una decima de segundo si la frecuencia es de unos 50 cps.

Antes de aplicar la corriente, el electrodo superior es presionado fuertemente contra la pieza. Después pasa la corriente desde el electrodo superior al electrodo inferior a través de la unión: el calor desarrollado por el paso de la corriente produce la soldadura de las piezas unidas, se levanta entonces el electrodo y se retira la pieza soldada.

## PROCEDIMIENTOS ESPECIALES DE SOLDADURA

En este grupo se incluyen los procedimientos que no emplea la energía obtenida de la combustión de un gas, ni la de un arco eléctrico, ni la resistencia. En un principio pueden utilizar la energía obtenida por cualquier procedimiento ya sea energía eléctrica, luminosa, acústica, de electrones acelerados, o cualquier otra clase de energía.

A la cabeza de la lista de procedimientos especiales de soldadura se haya la soldadura por haz electrónico, siendo el procedimiento ideal de soldadura.



El fundamento del procedimiento de soldadura por haz de electrones está explicado en la figura 1.1.

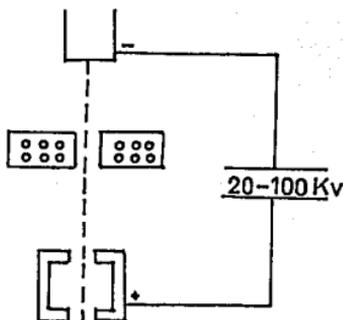


fig.1.1

Soldadura por haz de electrones acelerados.

Un cañón electrónico compuesto básicamente de un filamento incandescente similar a los de las lámparas de incandescencia, produce una emisión de electrones libres.

Una fuente de alto voltaje es en realidad un transformador, se conecta entre el cañón electrónico y la pieza a soldar, la pieza es la terminal positiva y el cañón es negativo.

Debido al alto voltaje aplicado, 20000 volts o mas, los electrones negativos producidos por el cañón, son acelerados rápidamente hacia la pieza positiva, pudiéndose conseguir velocidades del orden de la mitad de la velocidad de la luz en el momento en el que los electrones alcanzan la pieza a soldar.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

proporcionando el calor necesario para efectuar la soldadura. No es necesario emplear material de aportación. En la figura 1.1 se muestra esquemáticamente un equipo de soldadura por electrones soldando dos perfiles en U los cuales se efectúa al mismo tiempo una soldadura superior y una inferior, aunque los dos perfiles aparecen separados, con el haz de electrones entre ellos no puede efectuarse la soldadura, a menos que los dos perfiles estén bien unidos.

En la soldadura por electrones solo se produce una zona de fusión muy estrecha y solo se calienta la unión soldada, no siendo afectado por el calor el material circundante. De este modo, se evitan los inconvenientes inherentes a la zona afectada térmicamente tales como endurecimiento y agrietamiento, simplemente por que no existe dicha zona afectada.

Este método tiene sin embargo, dos inconvenientes, la soldadura ha de hacerse en el vacío, y se producen rayos X durante el proceso, finalmente señalaremos que esos equipos de soldadura son sumamente costosos.

Hay dos procedimientos especiales, mas difíciles de comprender: la soldadura por inducción, y la soldadura con laser. En la soldadura por inducción se obtiene energía de un potente campo magnético.

La soldadura por laser usa algunos tipos de energía radiante tales como la radiación infrarrojo para producir calentamiento.

Algunos materiales delgados pueden soldarse por medio de energía acústica en el campo ultrasonico, por encima de 20000 cps. Esto recibe en nombre de soldadura por ultrasonidos. En este caso se envia un impulso de energía acústica al interior del metal, produciendose una soldadura en la unión.

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**

También pueden soldarse dos piezas de metal por medio de fuertes presiones por soldadura fría, en un proceso semejante a lo que ocurre cuando se incrustan virutas en una herramienta de corte en un taller mecanizado.

Un método especial de soldadura de interés histórico es la soldadura por forja, el método usado tradicionalmente por los herreros consiste en soldar dos piezas calentadas en una forja y martilladas en un yunque.

Evidentemente, existe muchos procedimientos para concentrar energía en la unión que se va a soldar. Los pocos métodos que acabamos de describir no agotan ni mucho menos todas las posibilidades, por lo que es lógico suponer que los métodos de soldadura proliferarán tan rápidamente en el futuro como lo han hecho en el pasado inmediato.

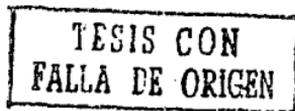
## SOLDADURA DE ARCO

La física moderna enseña que el arco es la manifestación de una emisión de electrones que provienen de un cátodo incandescente bombardeando el ánodo a gran velocidad. Este bombardeo provoca la ionización por choque de las moléculas neutras, originando una gran elevación de la temperatura.

### DESCRIPCION DEL ARCO

El arco de carbón, funcionando con corriente continua, presenta tres zonas (fig. 1.2).

- a). El cráter A en el extremo positivo del carbón, formando una cubeta.



- b). La punta incandescente en el extremo negativo del carbón, llamada mancha catódica; los electrones que salen del cátodo bombardean el ánodo A.
- c). Entre los dos electrodos, el arco B, de color violeta formando el puente que conecta los dos electrodos del carbón.
- d). Por último la aureola C o llama, que resulta de la combustión de partículas sólidas o gaseosas desprendidas de las puntas de carbón.

En los arcos aislados del aire la aureola desaparece así como la forma puntiaguda del cátodo.

El ánodo ( carbón + ) al consumirse mas rápidamente que el cátodo ( carbón - ), tiene un diametro mayor.

El arco metálico de soldadura (fig. 1.3), presenta el mismo aspecto:

- a). En el extremo del electrodo E, conectado al polo negativo, se forma una punta muy luminosa que constituye el punto de partida del arco ( mancha catódica ).
- b). Sobre la pieza a soldar F ( polo + ), existe una forma luminosa en forma de cubeta que constituye el cráter del arco donde el metal permanece en fusión.
- c). Un haz luminoso de pequeña sección que forma el arco entre el electrodo y el cráter constituye el núcleo del arco.
- d). Alrededor del núcleo del arco, existe una aureola o llama de forma irregular en estado de agitación continua, que puede ser desplazada por el campo magnético creado por la corriente. Esta llama coloreado por los óxidos de los metales fundidos ( verde



para el cobre ), parece ser el resultado de la combustión del metal del electrodo con el oxígeno del aire.

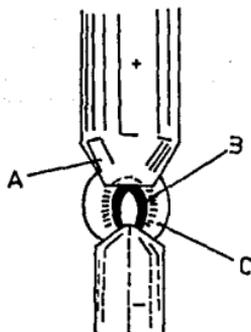


Figura 1.2  
Las diferentes zonas del arco de carbón

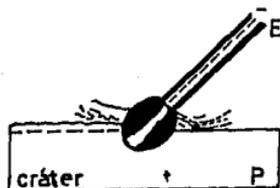


Figura 1.3  
Las diferentes zonas del arco metálico

En el inicio, el voltaje del arco tiene que vencer la barrera del aire que tiene una gran resistencia; pero, una vez iniciado los gases de la barrera se desintegran, se ionizan y se hacen conductores de forma que la resistencia se invierte y queda virtualmente en corto circuito.

Como en la soldadura por arco ordinaria solamente se dispone de unos 20 volts, el arco se hace saltar poniendo en contacto o cortocircuitando el electrodo de la pieza a soldar, y una vez iniciada la corriente se los separa ligeramente.

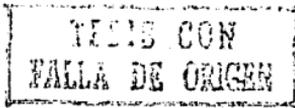
El arco de soldadura usa un solo electrodo propiamente dicho, el otro electrodo es la pieza a soldar.

El voltaje del arco es la caída del voltaje a través del arco entre electrodo y pieza.

Cada uno de los dos electrodos recibe un nombre especial. El ánodo es electrodo positivo. Como los electrodos son eléctricamente negativos, son atraídos hacia el ánodo. El cátodo es el electrodo negativo, cualquier partícula o ión positivamente cargados serán atraídos hacia él.

Si se usa corriente continua para soldar por arco, hay dos polaridades. Si la pieza a soldar es positiva se dice que es por la polaridad directa PDC. Si la pieza a soldar es negativa se dice entonces que es polaridad inversa PIC. Ambas son utilizadas en soldadura.

Cerca de dos tercios del calor producido por el arco se genera en el ánodo, y sólo un tercio en el cátodo. Esto significa que el efecto de calentamiento es más pronunciado en la pieza a soldar cuando se usa la PIC y que también será mayor en este caso la penetración en el metal soldado. En la soldadura por arco con corriente alterna, el calor de la soldadura se distribuye por igual



entre el electrodo y la pieza a soldar, ya que la corriente alterna supone un cambio continuo entre PDCC y PICC.

El metal fundido es transportado a través del arco, ya sea la tensión alternativa, PDCC o PICC. El metal de aportación es transportado incluso contra la fuerza de la gravedad, como cuando se suelda sobre cabeza.

El tipo de transferencia del metal desde el electrodo hasta la pieza depende de la intensidad de la corriente. Con corrientes muy elevadas el electrodo parece hervir ( el hierro hierve a temperatura de  $3260^{\circ}\text{C}$  ), aunque esto nunca se hace en la practica.

Con bajas intensidades el metal se transfiere en forma de pequeñas gotas de metal fundido. A medida que se continúa disminuyendo la intensidad de la corriente el metal se transfiere en forma de pequeñas glóbulos, y con intensidades todavía más pequeñas en glóbulos mayores.

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**

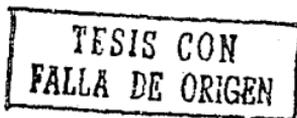
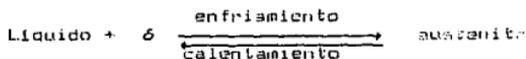
## CAPITULO 2

### DIAGRAMA DE EQUILIBRIO HIERRO-CARBURO DE HIERRO

## 2.1 DIAGRAMA HIERRO - CARBURO DE HIERRO

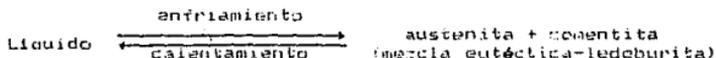
La temperatura a que tiene lugar los cambios alotrópicos en el hierro está influida por elementos de aleación, de los cuales el más importante es el carbono. La figura 2.1 muestra la porción de interés del sistema de aleación hierro-carbono. Está es la parte entre hierro puro y un compuesto intersticial, carburo de hierro,  $Fe_3C$ , que contiene 6.67 % de carbono por peso; por tanto esta porción se llamará diagrama de equilibrio hierro-carburo de hierro. Antes de estudiar este diagrama, es importante que el lector entienda que éste no es un verdadero diagrama de equilibrio, pues equilibrio implica que no hay cambio de fase con el tiempo; sin embargo, es un hecho que el compuesto de carburo de hierro se descompondrá en hierro y carbono (grafito), lo cual tomará un tiempo muy largo a temperatura ambiente, y aun a  $1500^{\circ}F$  tarda varios años en formar el grafito. El carburo de hierro se llama fase metaestable; por tanto, el diagrama de hierro-carburo de hierro, aunque técnicamente representa condiciones metaestables, puede considerarse como representante de cambios en equilibrio, bajo condiciones de calentamiento y enfriamiento relativamente lentos.

El diagrama muestra tres líneas horizontales que indican reacciones isotérmicas. En términos generales, la figura 2.1 se ha marcado con letras griegas para representar las soluciones sólidas; sin embargo, es práctica común dar nombres especiales a la mayoría de las estructuras que aparecen en el diagrama. La solución sólida  $\gamma$  se llama AUSTENITA. La figura 2.2 muestra ampliada la porción del diagrama de la esquina superior izquierda. Ésta se conoce como región DELTA, debido a la solución sólida  $\delta$ . El lector puede reconocer la línea horizontal a  $2720^{\circ}F$ , por ser una reacción peritética. La ecuación de la reacción peritética se puede escribir como:



La solubilidad máxima del carbono en Fe  $\delta$  b.c.c. es de 0.10 % L punto H), mientras que el Fe  $\gamma$  f.c.c. es mucho mayor. La presencia de carbono influye en el cambio alotrópico  $\delta \rightleftharpoons \gamma$ . Conforme se agrega carbono al hierro, la temperatura del cambio alotrópico aumenta de 2554 a 2720°F al 0.10 % de C. Considérese el significado de la línea NHFB. Al enfriar, la porción NM representa el principio del cambio de estructura cristalina de Fe $\delta$  b.c.c. a Fe  $\gamma$  f.c.c. para aleaciones que contienen menos del 0.10 % d.c.c. La porción NP representa el principio del cambio de estructura cristalina por medio de una reacción peritética para aleaciones entre 0.10 y 0.18% de C. Para aleaciones que contienen menos del 0.18 % de C al enfriar, el fin del cambio de estructura cristalina está dado por la línea NF. La porción FB representa el principio y el fin del cambio de estructura cristalina por medio de la reacción peritética. En otras palabras, para aleaciones entre 0.18 y 0.50 % de C, el cambio alotrópico empieza y termina a temperatura constante. Nótese que cualquier aleación que contiene más del 0.50 % de C cortará el diagrama a la derecha del punto B y solidificará en austenita directamente. La solución sólida delta y el cambio alotrópico no se estudiarán aquí. Como ningún tratamiento térmico comercial se hace en la región delta, no habrá razón para referirse nuevamente a esta porción del diagrama.

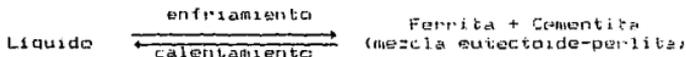
El diagrama de la figura 2.3 que tiene los nombres comunes insertados, muestra una reacción eutéctica a 2065°F. El punto eutéctico, E, está a 4.3 % de C y a 2065°F como la línea horizontal CED representa la reacción eutéctica, siempre que una aleación cruce esta línea, la reacción deberá ocurrir. Cualquier líquido que esté presente cuando esta línea se alcanza debe ahora solidificar en la muy fina mezcla íntima de las dos fases que están en cualquier extremo de la línea horizontal: austenita y carburo de hierro (llamada cementita). Esta mezcla eutéctica se llama LEDEBURITA, y la ecuación puede escribirse como:



TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

La mezcla eutéctica generalmente no se ve en la microestructura, ya que la austenita no es estable a temperatura ambiente y debe sufrir otra reacción durante el enfriamiento.

Hay una pequeña Área de solución sólida a la izquierda de la línea GH. Se sabe que a  $1666^{\circ}\text{F}$ . Representa el cambio en la estructura cristalina de hierro puro y f.c.c. a b.c.c. y se llama ferrita. El diagrama muestra una tercera línea horizontal HJL, que representa una reacción eutécticoide. El punto eutécticoide, J, está a 0.80 % de C y a  $1333^{\circ}\text{F}$ . Cualquier austenita presente debe ahora transformarse en la muy fina mezcla eutécticoide de ferrita y cementita, llamada perlita. La ecuación puede escribirse como:



Por debajo de la línea de temperatura eutécticoide, cada aleación consistirá de una mezcla de ferrita y cementita según lo indicado.

Si se toma como base el contenido de carbono, es práctica común dividir el diagrama Hierro-carburo de hierro en dos partes. Aquellas aleaciones que contienen menos del 2% de carbono se conocen como aceros, y aquellas que contienen más del 2% de carbono se conocen como hierros fundidos. El intervalo de acero se subdivide aún más en base al contenido de carbono eutécticoide (0.8% de C). Los aceros que contienen menos del 0.8% de C se llaman aceros hipoeutéctoides, en tanto que los que contienen de 0.8 - 2.0 % de C se llaman aceros hipereutéctoides. El intervalo de hierro fundido también puede subdividirse por el contenido de carbono eutéctico (4.3% de C). Los hierros fundidos que contienen menos del 4.3% de C se conocen como hierros fundidos hipoeutécticos, en tanto que los que contienen más del 4.3% de C se llaman hierros fundidos hipereutécticos.

YESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

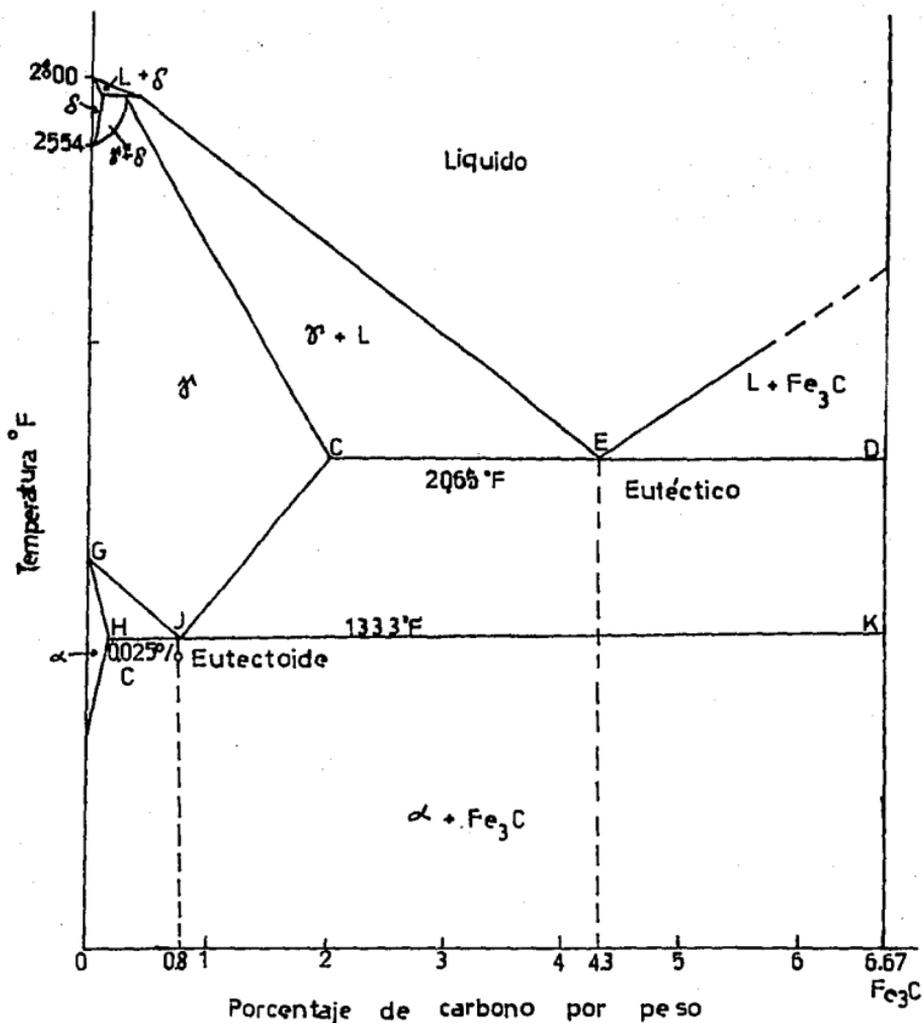


Fig. 21 Diagrama de equilibrio hierro-carburb de hierro  
 marcado en terminos generales

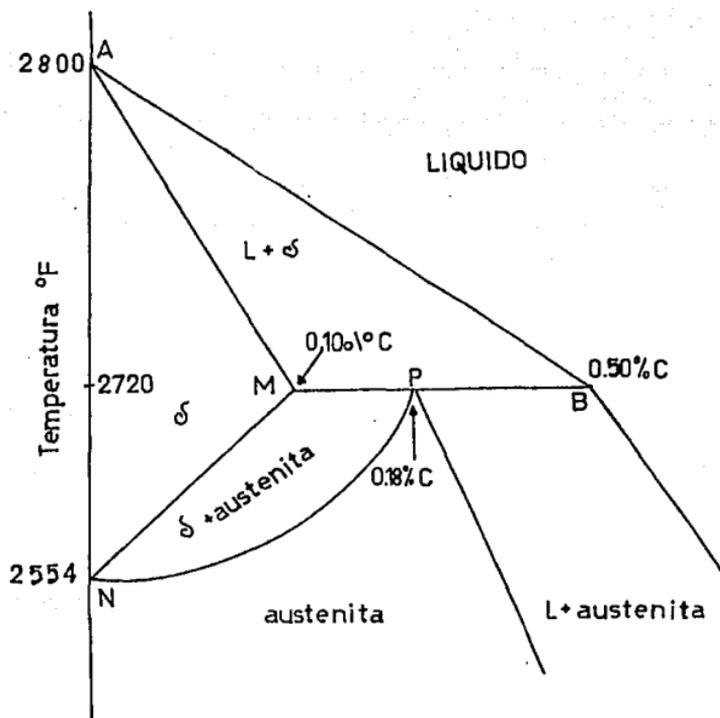


Fig. 2.2 Región delta del diagrama hierro-carburo de hierro

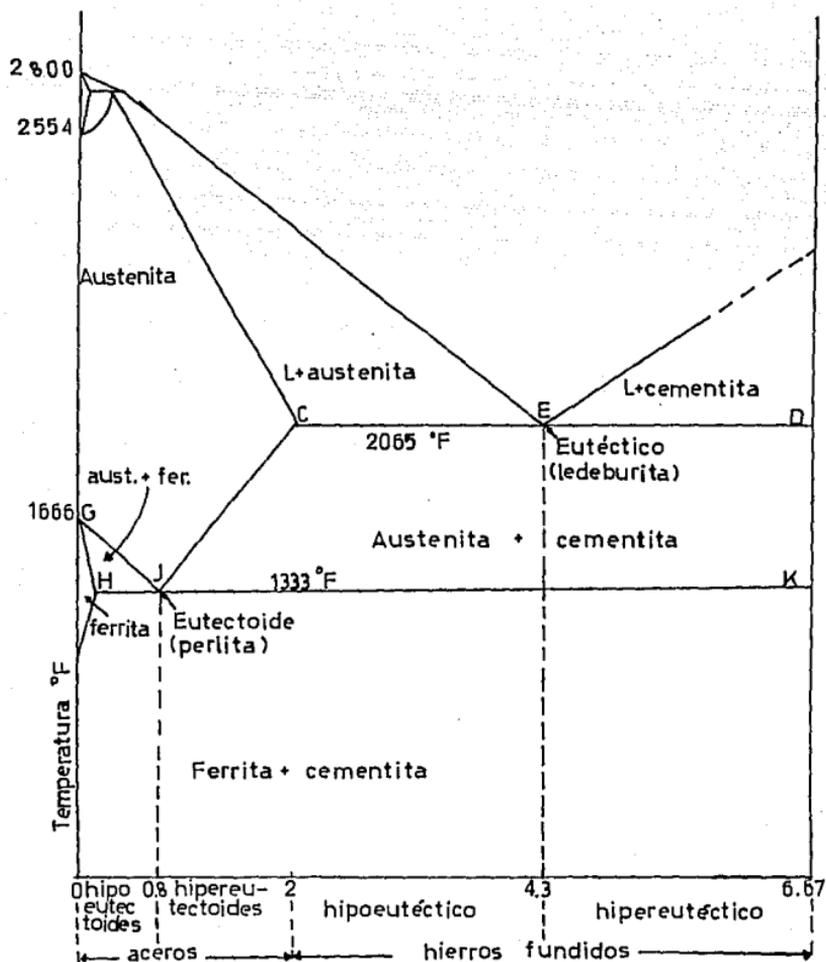


Fig. 2.3 Diagrama de equilibrio hierro-carburo de hierro marcado con los nombres comunes para las estructuras.

## 2.2 DEFINICION DE ESTRUCTURAS

Ahora se definirán los nombres que, por razones descriptivas o conmemorativas, se han asignado a las estructuras que aparecen en este diagrama.

La CEMENTITA o carburo de hierro, fórmula química  $Fe_3C$ , contiene 6.67% de C por peso. Es un compuesto intersticial típicamente duro y frágil de baja resistencia tensil (aprox. 5000 lb/in<sup>2</sup>), pero de alta resistencia compresiva. Es la estructura más dura que aparece en el diagrama. Su estructura cristalina es ortorrómbica.

AUSTENITA es el nombre dado a la solución sólida  $\gamma$ . Es una solución sólida intersticial de carbón disuelto en hierro  $\gamma$  (f.c.c.). La máxima solubilidad es del 2% de C a 2065°F (punto C). Las propiedades promedio son: resistencia tensil, 150 000 lb/in<sup>2</sup>; elongación, 10 por ciento de 2 pulgadas; dureza, Rockwell c 40, aproximadamente; y tenacidad, alta. Generalmente no es estable a temperatura ambiente. Bajo ciertas condiciones, es posible obtener austenita a temperatura ambiente.

LEDEBURITA es la mezcla eutéctica de austenita y cementita; contiene 4.3% de C y se forma a 2065°F.

FERRITA es el nombre dado a la solución sólida  $\alpha$ . Es una solución sólida intersticial de una pequeña cantidad de carbón disuelto en hierro  $\alpha$  (b.c.c.). La máxima solubilidad es de 0.025% de C a 1 333°F (punto H), y disuelve sólo 0.008% de C a temperatura ambiente. Es la estructura más suave que aparece en el diagrama. Las propiedades promedio son: resistencia tensil, 40 000 lb/in<sup>2</sup>; elongación, 40 por ciento en 2 pulgadas; dureza, menor que la Rockwell C ó que la Rockwell B90.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

PERLITA (punto j) es la mezcla eutécticoide que contiene 0.80% de C, y se forma a 1 333<sup>o</sup>F a un enfriamiento muy lento. Es una mezcla muy fina, tipo placa o laminar de ferrita y cementita. llamada perlita. La base o matriz ferrítica blanca que forma la mayoría de la mezcla eutécticoide contiene delgadas placas de cementita. Las propiedades promedio son: Resistencia tensil: 120 000 lb/in<sup>2</sup>, elongación, 20% en dos pulgadas; dureza: Rockwell C 20, Rockwell B 95-100 o BHN 250-300.

## 2.3 TIPOS DE HIERRO FUNDIDO

El mejor método para clasificar el hierro fundido es de acuerdo con su estructura metalográfica. Las variables a considerar que dan lugar a los diferentes tipos de hierros fundido son: El contenido de carbón, el contenido de aleación y de impurezas, la rapidez de enfriamiento durante o después del congelamiento, y el tratamiento térmico después de fundirse. Estas variables controlan la condición del carbono y también su forma física. El carbono puede estar combinado en forma de carburo de hierro en la cementita, o existir como carbono sin combinar (o libre) en forma de grafito. La forma y distribución de las partículas de carbono sin combinar influirá grandemente en las propiedades físicas del hierro fundido. Los tipos de hierro fundido se pueden clasificar como sigue:

HIERROS FUNDIDOS BLANCOS, en los cuales todo el carbono esta en la forma combinada como cementita.

HIERROS FUNDIDOS MALEABLES, en los cuales la mayoría o todo el carbono esta sin combinar en la forma de partículas redondas irregulares, conocidas como carbono revenido, el cual se obtiene mediante tratamiento térmico del hierro fundido blanco.

HIERROS FUNDIDOS GRISES, en los cuales la mayoría o todo el carbono está sin combinar en la forma de escamas de grafito.

HIERROS FUNDIDOS ENFRIADOS RÁPIDAMENTE, en los cuales una capa superficial de hierro fundido blanco está combinada con una interior de hierro gris.

HIERROS FUNDIDOS MODULARES, en los cuales, mediante adiciones de aleaciones especiales, el carbono está grandemente sin combinar en la forma de esteroides compactos. Esta estructura difiere del hierro maleable en que se obtiene directamente desde la

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

solidificación y las partículas de carbono redondas son de forma más regular.

HIERROS FUNDIDOS ALEADOS, en los cuales las propiedades o la estructura de cualquiera de los tipos mencionados se modifican mediante la adición de elementos de aleación.

## 2.4 HIERRO FUNDIDO BLANCO

Los cambios que tienen lugar en este hierro durante la solidificación y el enfriamiento subsecuente son determinados por el diagrama hierro - carburo de hierro. Todos los hierros fundidos blancos son aleaciones hipoeutécticas y ahora se describirá el enfriamiento de una aleación al 2.5% de carbono.

La aleación, en el punto  $x_1$  de la figura 2.4 existe como solución líquida de carbono uniforme disuelto en hierro líquido. Se mantiene en esta condición conforme el enfriamiento tiene lugar hasta que la línea líquidos se cruza en el punto  $x_2$ . Ahora empieza la solidificación al formarse cristales de austenita con aproximadamente 1% de carbono. Conforme la temperatura disminuye, la austenita primaria continúa su solidificación y su composición se mueve hacia abajo y a la derecha a lo largo de la línea sólidos hacia el punto C. Mientras el líquido se hace más rico en carbón, su composición también se mueve hacia abajo y a la derecha a lo largo de la línea líquidos hacia el punto E. A la temperatura eutéctica, 2085°F, la aleación consiste en dendritas de austenita con 2% de carbono y una solución líquida con 4.3% de carbono. El líquido incluye el  $(2.5 - 2.0)/(4.3 - 2.0)$ , o sea 22% de la aleación por peso.

Este líquido ahora sufre la reacción eutéctica isotérmicamente para formar la mezcla eutéctica y cementita conocida como ledeburita. Como la reacción tiene lugar a una temperatura relativamente alta, la ledeburita tiende a aparecer como una mezcla gruesa, en vez de una fina, típica de muchos eutécticos. No está fuera de lo común que la ledeburita sea completamente separada, con la austenita eutéctica agregada a las principales dendritas de austenita, dejando atrás capas macizas de cementita como constituyente separada (libre).



Conforme la temperatura disminuye, entre  $\kappa_3$  y  $\kappa_4$ , la solubilidad del carbono en austenita decrece, según lo indica la línea Acm CJ, lo cual da lugar a la precipitación de cementita proeutectoide, la mayoría de la cual se deposita de la cementita presente. A la temperatura eutectoide,  $1333^{\circ}\text{F}$ , la austenita restante, con 0.8% de carbono y constituyendo  $(6.67-2.5)/(6.67-0.8)$  o 70% de la aleación, sufre la reacción eutectoide isotérmicamente para formar perlita. Durante el enfriamiento subsecuente a temperatura ambiente, la estructura permanece invariable.

Anteriormente se destacó que la cementita es un compuesto intersticial duro y frágil. Como el hierro fundido blanco contiene una cantidad de cementita relativamente grande como una red continua, hace al hierro fundido, duro y resistente al desgaste, pero extremadamente frágil y difícil de maquinarse. Los hierros fundidos "completamente blancos" tienen pocas aplicaciones en ingeniería debido a esta fragilidad y falta de maquinabilidad; más bien, se utilizan en casos en que la resistencia al desgaste es lo más importante y el servicio no requiere ductilidad, como camisas para mezcladores de cemento, boquillas de extrusión, etc.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

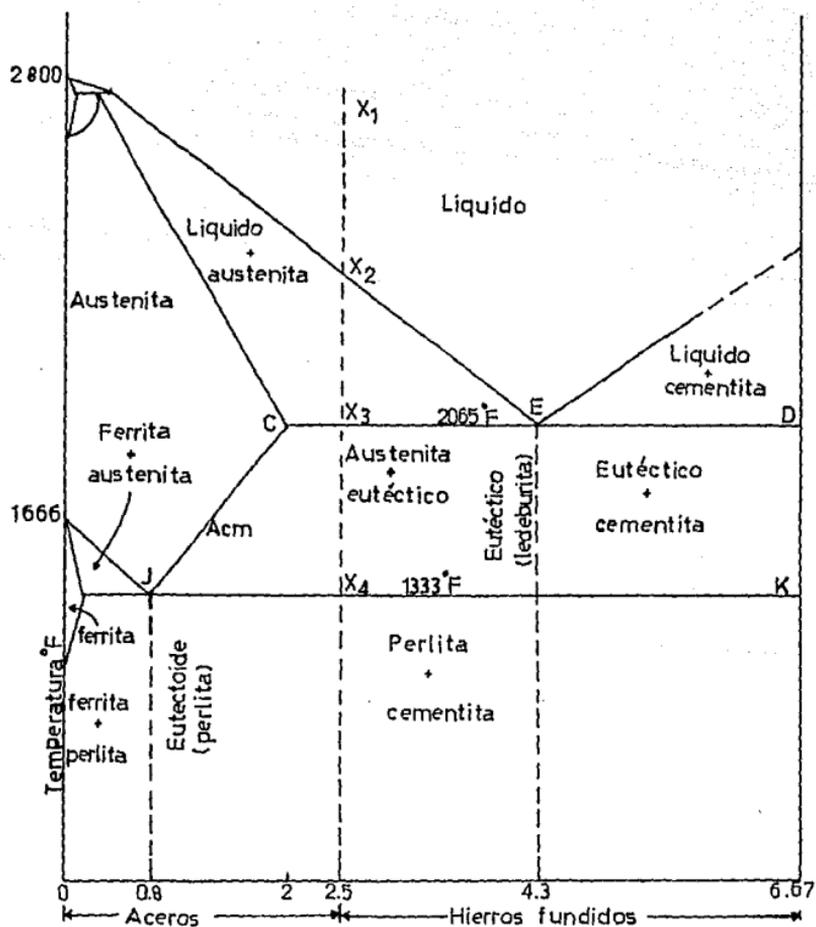


Fig. 2.4 Diagrama de fase metaestable hierro-carburo de hierro

### **CAPITULO 3**

## **HIERROS FUNDIDOS BLANCOS ALTO CROMO**

## HIERROS FUNDIDOS BLANCOS ALTO CROMO

Los hierros fundidos blancos alto cromo poseen una combinación de excelente resistencia a la abrasión junto con un razonable grado de dureza y la posibilidad de destemarlo para facilitar operaciones de maquinado. Por estas razones, estas están descubriendo nuevos usos en muchos campos de aplicación. En Inglaterra la importancia de desarrollo de este grupo de materiales es reconocido por su incorporación en el standar Británico 4844 de hierros fundidos blancos resistentes a la abrasión, Parte 3. Grados alto cromo, lo cual es ahora un cuando avanzado de preparación. La microestructura de esta familia de hierros blancos consiste de carburos discontinuos eutécticos hierro - cromo  $(Cr, Fe)_7C_3$  y carburos secundarios ricos en cromo en una matriz de austenita o sus productos de transformación.

Por medio de tratamientos térmicos la matriz puede ser obtenida como austenita, martensita, bainita o perlita.

La óptima resistencia a la abrasión y a la mejor combinación de resistencias a la abrasión, resistencia y dureza es obtenida en hierros con una completa matriz martensítica.

TEEIS CCN  
FALLA DE ORIGEN

### 3.1 EFECTO DE LA MICROESTRUCTURA

La superior resistencia a la abrasión de estos hierros es un resultado directo de su microestructura. Sobre una escala microscópica, los procesos de abrasión pueden ser descritos como una acción cortante o ranurante similar a la operación de maquinado desde un grano con penetración abrasiva en la superficie del metal, produce deformación y escarificación desgastante y remoción de partículas de la superficie. Estos productos de desgaste tienen la apariencia de finas virutas producido durante el maquinado.

Este tipo de mecanismo será explicado; es obviamente necesario que el grano abrasivo es más duro que el metal. Si el grano es suave, el proceso puede ser equivalente a la corrosión u oxidación y sólo tendrá lugar un desgaste insignificante. El cuarzo, el mayor constituyente en más minerales abrasivos, es más duro que todas las posibles estructuras de la matriz de aleaciones de este hierro y pueden igualmente ser desgastadas por él. El carburo de hierro (Cementita) el cual es el carburo predominante en hierros de baja aleación es no obstante más blando que el cuarzo. El carburo de cromo, que es el carburo predominante en hierros alto cromo - Mn, es más duro que el cuarzo y consecuentemente resiste su abrasión. Hay muchos carburos los cuales son mucho más duro que el carburo de cromo. Desafortunadamente, ellos son muchos más caros y sus aplicaciones son limitadas. En un hierro blanco fundido, los carburos constituyen algunas veces menos del 40 a 50% de el volumen total, el resto los contiene la matriz. Cuando esta matriz es más blanda que el cuarzo, esta es desgastada, con el resultado que los carburos pueden quedar afuera y solo parte de su potencial de resistencia a la abrasión es utilizada completamente.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

### 3.2 SELECCION DE LA MATRIZ

La optima selección para una matriz es: dureza, alto carbono martensítico, posibilidad de dispersión de la dureza por carburos secundarios. La segunda mejor característica es el endurecimiento por trabajo de austenita inestable. La buena combinación de tensión y dureza puede ser explicada en terminos de la microestructura. Los carburos en los hierros blancos alto cr. son dispersados en la matriz. Esto, en contraste con las bajas aleaciones ledeburitas de hierros blancos, donde la estructura será descrita como una matriz o esponja de cementita con productos de transformación de austenita donde su tensión y dureza están en función de la fase del carburo frágil.

Aumentando el contenido de carbono aumenta el volumen de carburo en la estructura y alta resistencia a la abrasión, si se sigue aumentando el contenido de carbono, aumentará la resistencia a la abrasión. No obstante si el contenido de carbono eutéctico es excedido, muchos carburos primarios burdos son formados. Estos son frágiles y tienden a fracturarse con el impacto de las partículas abrasivas, causando un aumento en la pérdida de peso por abrasión. Este es acompañado por una disminución en la dureza y en otras propiedades mecánicas.

Como resultado, el contenido de carbono eutéctico es el máximo permisible para la mayoría de aplicaciones. Esto es solo en aquellos casos donde la abrasión es asociada con muy bajos impactos y tensiones mecánicas de la superficie. en ambos una escala macroscópica y microscópica los contenidos de carbono hipereutécticas que puede ser benéfico. El contenido de carbono eutéctico es aproximadamente 3.8% C a 15% Cr, 3.2% C a 20% Cr y 3.0% C a 25% Cr otros elementos modificarán estos y particularmente el silicón el cual los aumenta.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

La importancia de la matriz es evidente la matriz más baja y más blanda será resistente al desgaste y la matriz alta tendrá la tendencia de desplazar los carburos hacia afuera. Otro efecto indeseable de la matriz blanda constituye el aparente efecto de un bajo rendimiento en la tensión.

Esta será únicamente para proveer el respaldo y soporte necesario para que los carburos resistan los esfuerzos mecánicos en una escala macroscópica. Los carburos serán consecuentemente fracturados como resultado de la aplicación conjunta de esfuerzos acompañados de abrasión.

La perlita es particularmente importante al respecto y su presencia de aproximadamente 10% o menos tendrá efectos muy significativos en la resistencia a la abrasión.

En muchos procesos de abrasión la austenita de hierro al alto Cromo puede ser trabajada duramente en una manera similar a la del acero Hadfield con 12% Mn. Sin embargo, esta matriz no provee el mismo grado de resistencia a la abrasión como una matriz martensítica. Además, otra desventaja de una matriz austenítica, o en parte austenítica, es la inestabilidad de la austenita la cual puede resultar en la transformación a martensita bajo tensión mecánica o debida a un incremento en la temperatura.

El cambio de volumen que acompaña esta transformación causa tensiones las cuales pueden fracturar la fundición o producir microfracturas de la superficie.

La resistencia a la abrasión de la martensita aumenta con el incremento en el contenido de carbón mientras que el templeado disminuye su resistencia a la abrasión. Carburos secundarios



distribuidos a lo largo de la matriz martensítica la cual se forma como resultado del tratamiento térmico pueden incrementar la resistencia a la abrasión en muchas aplicaciones debido a su efecto de endurecimiento disperso.

### 3.3 COMPOSICION Y TRATAMIENTO TERMICO DE HIERROS FUNDIDOS DE ALTO Cr/MO

Las aleaciones con la mayor resistencia a la abrasión en las condiciones martensíticas caen en el rango de contenidos de Cromo entre 12 y 22%. Con menos del 12% de Cr y eutécticos o aún ligeros contenidos de carbono hipoeutéctico, algunos de los carburos eutécticos pueden estar en la forma de cementita más que carburos crómicos, resultando en una apreciable pérdida de resistencia a la abrasión y tenacidad.

A contenidos de cromo sobre 20 a 22% y con contenidos de carbono limitados por la composición eutéctica, la mayor parte del carbono es fijado en los carburos crómicos, dejando una matriz martensítica de bajo carbón con la consecuente pérdida de resistencia a la abrasión.

Una matriz martensítica con carburos secundarios es generalmente pretendida y normalmente se obtiene por tratamiento térmico. El templeado debe ser hecho en aire puesto que el templeado en aceite envuelve un alto riesgo de rompimiento y es posible solo en casos raros.

La composición de los hierros al alto cromo debe por lo tanto ser ajustado para permitir endurecimiento con aire en el diámetro de la sección y dentro las posibles o permisibles velocidades de templeado de la partículas fundición concerniente.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

### 3.4 CARBURO ESTABLE

El alto contenido de Cr hace al carburo completamente estable de modo que, a diferencia de los hierros blancos no aleados o de baja aleación, la grafitización no es posible. Debido al alto contenido de aleación, el comportamiento en la transformación de los hierros de alto contenido de Cr es más similar al de un acero de herramientas de alta velocidad que al de un acero de baja aleación o hierro fundido. La austenita formada por solidificación o a temperaturas muy altas esta saturada con carbono, cromo y otros elementos aleantes y es muy estable.

Con un decremento en la temperatura, el cromo y el carbono son precipitados como carburos secundarios reduciendo el contenido de aleación y por lo tanto la estabilidad de la austenita. La austenita desestabilizada puede entonces transformarse a perlita, bainita o martensita, dependiendo de la velocidad de enfriamiento. Sin embargo, la precipitación de los carburos es muy lenta, de modo que aun con velocidades de enfriamiento moderados, contenidos apreciables de austenita supersaturada pueden ser retenidos a temperatura ambiente.

La estructura en el momento de la fundición es por lo tanto frecuentemente una mezcla de perlita, martensita y austenita retenida. Secciones delgadas serán predominantemente austeníticas, secciones pesadas predominantemente perliticas. Es virtualmente imposible el obtener una estructura martensítica libre de perlita en las condiciones durante la fundición.

Una estructura completamente austenítica puede ser obtenida si la composición es ajustada con respecto al tamaño de la sección y la velocidad de enfriamiento. Esto implica el uso de altos contenidos de cromo y la adición de Molibdeno, Niquel o Cobre. La estructura martensítica es solo obtenida por tratamiento térmico.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

### 3.5 PROCEDIMIENTO DE CALADO

Para obtener una completa transformación martensítica sin contenidos inesperados de austenita retenida, es necesario desestabilizar la estructura mediante el calado de la fundición dentro del rango de temperatura de 920 a 1000°C. Esto disminuye los contenidos de cromo y carbono de la matriz debido a la precipitación de carburos secundarios. La desestabilización y el calado por templado son usualmente llevados a cabo a la misma temperatura y combinados en una operación. En el subsecuente enfriamiento la austenita puede transformarse a martensita si la velocidad de enfriamiento es suficientemente alta para prevenir la posterior transformación a perlita.

Después de la desestabilización de la aleación la habilidad de endurecimiento es determinada por los contenidos de cromo y carbono. Carbono y cromo se combinan para formar carburos eutécticos o secundarios. Solo una parte del contenido total de cromo de la aleación es retenido en la matriz donde es capaz de incrementar la habilidad de endurecimiento.

Por siguiente, la endurecibilidad aumenta si el contenido de cromo aumenta a un contenido de carbono constante, y disminuye si el contenido de carbono aumenta a un contenido de cromo constante.

La interacción entre el cromo y el carbono puede expresarse mejor por medio de la relación de cromo a carbono.

El tiempo medio de enfriamiento es el tiempo tomado para enfriar hasta la mitad de la diferencia de temperatura entre la temperatura de templado y la ambiente.

Con una temperatura de templado de 1000°C, por ejemplo, este sería el tiempo para alcanzar 490°C (T. Amb=20°C). Aleaciones



hipereutécticas tiene un menor tiempo medio de enfriamiento que el indicado en este diagrama. La mayoría de los hierros al alto Cromo caen en el rango de 13 a 20% de Cr y 2.5 a 3.3% de carbono dando una relación Cr : C de 4 a 8. El máximo tiempo medio de enfriamiento al cual una estructura libre de perlita puede ser obtenida en los hierros de cromo puro es alrededor de 10 minutos el cual corresponde a menos de 20 a 30 mm. de espesor de la sección en enfriamiento con aire. Esta habilidad de endurecimiento es claramente insuficiente para la mayoría de los tipos de hierros fundidos y necesita ser incrementado por medio de un posterior aleamiento.

Se muestra que la adición de molibdeno causa un muy marcado incremento en la habilidad de endurecimiento, con un contenido de molibdeno de 2.5 a 3% y una relación de cromo a carbono de 5 a 7. Secciones de alrededor de 100 mm. pueden ser completamente endurecidas, dependiendo de la severidad del templeado con aire. Debido a la baja conductividad térmica de los hierros blancos, la velocidad de enfriamiento en el centro de secciones pesadas fundidas es marcadamente más lenta que en aceros fundidos de baja aleación templeados bajo las mismas condiciones.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

### 3.6 EFECTO DEL TAMARO DE LA SECCION

En secciones pesadas, la formación de perlita debido a un inadecuado endurecimiento causa una significativa reducción en la resistencia a la abrasión, aun antes, su efecto en la dureza llega a ser aparente.

La estructura mixta de martensita y perlita puede tambien dar origen a tensiones internas debidas a los cambios diferenciales asociados con la transformación de la perlita tomando lugar primero en una matriz austenitica y despues en una martensitica. Fundiciones con estructuras mixtas de este tipo no solo tienen una reducida resistencia a la abrasión sino tambien una reducida resistencia a la fractura.

La adición de níquel o cobre trae consigo un marcado incremento en el endurecimiento, como puede ser visto por las tres aleaciones Níquel y cobre son casi equivalentes en su efecto y puede ser intercambiados. La elección entre estos dos elementos es de este modo cuestión de preferencia, disponibilidad y precio.

TEMAS CON  
FALLA DE ORIGEN

### 3.7 DISMINUCION DE LA DUREZA

A diferencia del molibdeno, el efecto benéfico del níquel y cobre en el endurecimiento de hierro al alto cromo es, sin embargo, acompañada por un fuerte efecto estabilizante de austenita. Hierros acompañados de Níquel o cobre frecuentemente tiene contenidos significantes de austenita retenida presentes después del tratamiento térmico y esto produce una disminución en la dureza. Puesto que la austenita retenida puede ser trabajada, endurecida o transformada a martensita durante muchos tipos de condiciones de operación, la pérdida en resistencia a la abrasión puede ser menos seria que aquella que ocurría con la misma pérdida de dureza debido a la formación de perlita.

El contenido de austenita retenida puede ser cambiado modificando el tratamiento de desestabilización. Fuesto que el níquel y el cobre son completamente solubles en la austenita, el contenido en solución no puede ser disminuido por tratamiento térmico. La única manera para disminuir la estabilidad de la austenita por lo tanto, es reducir el contenido de cromo y carbono tanto como sea posible, lo cual significa acercarse al equilibrio. Esto es posible incrementando el tiempo a la temperatura de desestabilización.

En hierros al alto Cr/Mo libres de níquel o cobre una adecuada desestabilización es realizada usualmente después de menos de una hora a dicha temperatura.

El molibdeno tiene un efecto pequeño en la estabilidad de la austenita retenida. Sin embargo, en la presencia de 0.5 a 1% de Ni ó Cu, tiempos de calado de seis horas o más son necesarios para desestabilizar satisfactoriamente. La resultante austenita de bajo carbono se transforma a martensita de bajo carbono la cual tiene dureza menor y menor resistencia a la abrasión que la martensita de

TRILIS CON  
FALLA LE ORIGEN

alto carbono obtenida en aleaciones libres de níquel o cobre. Bajo este fundamento, las aleaciones martensíticas puras de alto Cr/Ni tienen la más alta resistencia a la abrasión para un contenido dado de carbono. Si el endurecimiento de estas aleaciones es inadecuado, la adición de cobre o níquel debería ser propuesta con cautela. En muchos casos, una adición de 0.5% de Ni o Cu es suficiente para dar un marcado mejoramiento en el endurecimiento y un contenido de 1.0 a 1.2% no debería ser normalmente excedido.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

### 3.8 RETENCION DE LA AUSTENITA

El Manganeso tiene un efecto similar al níquel y cobre. Sin embargo, es mucho menos efectivo en la eliminación de la perlita y tiene una tendencia mayor a favorecer la retención de la austenita. Por estas razones el contenido de manganeso es usualmente mantenido debajo de 0.8 a 1.0%.

Hierros en los cuales un contenido mayor de manganeso es usado para incrementar la dureza a un menor costo, usualmente contienen excesiva austenita retenida, en una cantidad que no puede ser predecida adecuadamente porque el efecto del manganeso es muy sensible a las menores variaciones en el derretimiento, en el fundido y tratamiento térmico de la aleación. Adicionalmente, el manganeso abate la temperatura - Ms y esto puede incrementar el riesgo de ruptura de la fundición.

El contenido de silicón es mantenido usualmente entre 0.3 y 0.8%. Un nivel mínimo es necesario para la desoxidación la cual a mayores contenidos no ofrece ventaja pero disminuye un poco el endurecimiento.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

**CAPITULO 4**

**PROPIEDADES FISICO - MECANICAS  
DE LOS HIERROS BLANCOS ALTO CROMO**

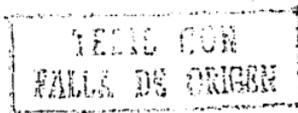
#### 4.1 TEMPERATURA DE TEMPLADO

La temperatura de templado influye en las características de transformación y en la dureza final en virtud de su efecto en el carbono y cromo en solución en austenita. La solubilidad del carbono en austenita aumenta con el aumento de la temperatura. Inicialmente, el alto contenido de carbono resulta en un alto endurecimiento y en una mayor dureza de la martensita después del templado. Esto continúa al punto donde un posterior aumento en el contenido de carbono resulta en austenita retenida y a mayores contenidos de carbono la dureza consecuentemente comienza a caer. La dureza después del templado a partir de aumentos de temperatura va hacia un máximo.

La temperatura a la cual la máxima dureza es alcanzada aumenta con el incremento en el contenido de cromo de aleación puesto que el cromo incrementa la temperatura de la transformación de Ferrita a austenita. Para una aleación con 15% de Cr, la temperatura de templado para obtener máxima dureza entre  $940^{\circ}\text{C}$  y  $970^{\circ}\text{C}$  mientras que para una aleación con 20% Cr está en la región de  $960^{\circ}\text{C}$  a  $1010^{\circ}\text{C}$ . Puesto que la austenita retenida no es completamente estable puede transformarse, al menos parcialmente, a martensita. El recalentamiento de la aleación de  $400^{\circ}$  a  $600^{\circ}\text{C}$  produce alguna desestabilización de la austenita retenida, por lo tanto se transforma bajo enfriamiento a temperatura ambiente.

Una aleación con poco o sin austenita retenida muestra una disminución en la dureza con el aumento de la temperatura. Arriba de  $500^{\circ}\text{C}$  la dureza baja bruscamente. La transformación de la austenita retenida es capaz de compensar la disminución en dureza produciendo un pico plano a la temperatura de desestabilización máxima.

Con bajos contenidos de austenita retenida, la máxima dureza es, sin embargo, menor que la dureza en el momento del templado. Con



grandes contenidos de austenita retenida, un endurecimiento secundario resulta en una mayor dureza que aquella de la condición en el momento de el templeado. Sin embargo, la máxima dureza alcanzada no es tan alta como aquella obtenida en la condición en el momento del templeado en la muestra teniendo un poco de austenita retenida.

La temperatura de templeado para un endurecimiento secundario máximo depende de la estabilidad de la austenita retenida. La resistencia a la abrasión después del endurecimiento secundario usualmente es menor que en las condiciones en el momento del templeado debido a que la martensita originalmente presente en la matriz ha sido ablandada.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

#### 4.2 TRATAMIENTO TERMICO

Es esperado que todos estos materiales ajustarán con la sección apropiada de la próxima norma Británica 4844 parte 3. Estos hierros son normalmente endurecidos por enfriamiento con aire, puesto que líquidos, templantes tales como aceite, agua o solución salina pueden involucrar un gran riesgo de rompimiento. El templado por aire puede utilizar enfriamiento ventilado, aire forzado o aún técnicos de rociado. Cuando se usan velocidades de enfriamiento acelerado sin embargo, deberían ser tomadas precauciones para asegurarse que el enfriamiento es uniforme en todas las partes de la fundición con el objetivo de evitar el crecimiento de tensiones internas excesivas. Con fundiciones complicadas tales como partes de bombas, por ejemplo, aún el enfriamiento ventilado podría ser muy severo. En tales casos es ventajoso el uso del grado 20-2-1 la cual permite que sea obtenida una estructura libre de perlita a una temperatura de enfriamiento la cual tome 4 horas para descender a  $500^{\circ}\text{C}$ . Si la bainita es permitida una velocidad de enfriamiento aún mas lenta es posible. Las fundiciones pueden por lo tanto ser enfriadas en aire suave, posiblemente en el horno (alto horno) o en el vestidor del horno, con lo cual se minimizan las diferencias de temperatura a lo largo de la fundición (pieza fundida) y las resultantes tensiones internas. Frecuentemente existe amplio tiempo para cargar la fundición en el horno a  $400^{\circ}$  o  $500^{\circ}\text{C}$  para la igualación de temperatura.

Después del templado, las fundiciones son usualmente templadas en  $200$  a  $250^{\circ}\text{C}$ , pero en muchos casos se ha encontrado que este templado es innecesario. Existen algunas indicaciones de que el templado a temperaturas superiores a  $200^{\circ}\text{C}$  puede aun disminuir la resistencia a la abrasión y a la fractura.

Para evitar el rompimiento es esencial que las fundiciones sean calentadas muy lentamente hasta la temperatura de templado o al menos hasta que una temperatura de  $800^{\circ}\text{C}$  haya sido excedida. Debería tenerse en mente que las tensiones internas en las fundiciones son intensificadas por los gradientes de temperatura en el calentamiento.

#### 4.3 PROPIEDADES NO - MAGNETICAS

Las fundiciones son con frecuencia completamente austeniticas despues del enfriamiento en el molde y son consecuentemente no-magneticas. Esta condición completamente austenitica puede ser ventajosa en fundiciones complicadas porque el crecimiento de tensiones durante la transformación a la perlita o martensita durante el enfriamiento es evitado.

Las fundiciones pueden entonces ser usadas tanto en las condiciones del tratamiento térmico como se ha descrito previamente, como en las condiciones en el momento de la fundición. El potencial trabajo de endurecimiento de la austenita resulta en una buena resistencia a la abrasión la cual puede ser usada efectivamente en algunos procesos desqastantes, pero no es tan buena como material en las condiciones completas de tratamiento térmico. Puede, sin embargo, ser una atractiva proposición para fundiciones las cuales sean propensas al rompimiento durante el tratamiento térmico o en casos donde los medios del tratamiento térmico no son adecuados.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

#### 4.4 MAQUINABILIDAD

A causa de su alta dureza y contenido de carburos, los hierros blancos fundidos son usualmente extremadamente difíciles de maquinar sin embargo los hierros fundidos con alto Cr/Mn pueden ser tratados para mejorar su maquinabilidad. La finalidad de este proceso de ablandamiento es la de obtener una matriz de perlita carbonica libre de martensita o austenita.

Para los hierros al alto Cr/Mn que no contienen níquel o cobre (o solo muy pequeñas cantidades) puede ser posible el realizar un ciclo de tratamiento térmico relativamente corto como sigue:

Austenitizado, seguido por enfriamiento en el horno a  $820^{\circ}\text{C}$ , entonces enfriamiento controlado a una velocidad menor de  $50^{\circ}\text{C}$  por hora hasta llegar a menos de  $600^{\circ}\text{C}$ , finalmente enfriamiento lento a la temperatura ambiente. Un calado prolongado de  $700^{\circ}\text{C}$  a  $750^{\circ}\text{C}$  resultará también en un apreciable ablandamiento pero la perlita carbónica así producida será claramente fina y la dureza un poco mayor que la deseable para una óptima maquinabilidad.

Para los aceros de alta endurecibilidad un ciclo más largo es usualmente necesario. Un ciclo típico es dado abajo:

Austenitizado a  $930^{\circ}\text{C}$ - $980^{\circ}\text{C}$ . Período mínimo de calado 1 hora, enfriamiento en el horno a  $820^{\circ}\text{C}$  a una velocidad máxima de enfriamiento de  $60^{\circ}\text{C}$  por hora hasta  $700^{\circ}\text{C}$ - $720^{\circ}\text{C}$  a  $10^{\circ}\text{C}$ - $15^{\circ}\text{C}$  por hora, calado a  $700^{\circ}\text{C}$ - $720^{\circ}\text{C}$  de 4 a 20 horas, y enfriamiento a temperatura ambiente en el horno o con aire suave.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

#### 4.5 DUREZA FINAL

La dureza final después del ablandamiento será entre 350 y 450 Hb. Esto permite que se lleven a cabo muchas operaciones de maquinado incluyendo el labrado enrocado. El factor de mayor influencia en la maquinabilidad es el contenido de carbono puesto que carburos de cromo eutécticos no son afectados por los procesos de ablandamiento. Consecuentemente el grado más fácilmente maquinado es el bajo carbono tipo 15-3LC.

A medida que el contenido de carbono se incrementa sobre 3% las operaciones de maquinado se vuelven más difíciles. Después del maquinado las fundiciones (moldes) pueden ser re-endurecidas como se describió previamente. La distorsión en el endurecimiento es muy baja, y las fundiciones pueden ser maquinadas hasta tolerancias estrechas dejando solo una pequeña cantidad de pulimento o desengrase para ser secado después del tratamiento térmico.

TEJIS CON  
FALLA DE ORIGEN

## **CAPITULO 5**

### **ALEACIONES DE RECUBRIMIENTOS DUROS**

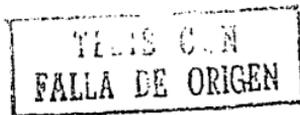
## ALEACIONES Y RECUBRIMIENTOS DUROS

A continuación tenemos una usual clasificación de aleaciones empleadas como recubrimiento y relleno de metales por soldadura superficial para prevenir la abrasión e impacto, junto con la mención de varios factores de desgaste y su influencia en la durabilidad del material. La composición química y la estructura metalográfica, son usadas para la clasificación, y son relacionadas con la resistencia al desgaste.

Las superficies duras son una importante aplicación especializada de las aleaciones resistentes al desgaste. En años recientes han tenido un desarrollo y una tendencia a ampliar el término superficial, y el uso de la técnica para la protección contra la corrosión y otros aspectos del deterioro superficial. La corrosión algunas veces es combinada con otras formas de desgaste, y puede ser expresada en las mismas unidades de pérdida de metal superficial. Los factores de desgaste considerados son abrasión e impacto.

El sobresaliente futuro de las superficies duras tal como el término es usado ahora, es la aplicación de las substancias resistentes al desgaste por depósitos de recubrimiento por soldadura. La protección de la superficie en algunas profundidades. Por ejemplo  $1/32"$  a  $1/2"$  de espesor, es también implicada.

La soldadura oxiacetilénica, y por hidrógeno atómico, por arco eléctrico, plasma o gas rociado con flama son los métodos usuales de aplicación de la soldadura superficial. Los métodos manual, semiautomático y automático pueden ser usados con cada uno de los mencionados del grupo anterior, la soldadura por arco manual es la más común y la más económica para operaciones pequeñas. Para grandes y repetitivos usos que envuelven recubrimientos planos o superficies curvas relativamente sencillas y donde el costo inicial para equipo



y soldadura manual es injustificado, se pueden utilizar los métodos automático o semiautomático.

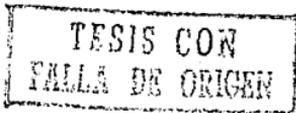
El método más económico en términos de costo por libra de recubrimiento depositado es usualmente soldadura por arco automática. Esto puede ser por arco abierto o con arco sumergido bajo un flujo normal.

Cada uno de estos métodos y sus variaciones tienen características distintivas que influyen en el depósito y su resistencia al desgaste. Las muchas posibles ramificaciones se mencionarán mas adelante, pero de manera general que puedan ser de utilidad.

Casi todas las aleaciones pueden ser obtenidas fundidas o forjadas, para la resistencia al desgaste pueden ser empleadas como recubrimientos de soldadura que proveen una capa que tiene un punto de fusión más bajo que la base, o como mínimo no será tan diferente, que la base se funda antes de que el recubrimiento sea depositado satisfactoriamente, en el uso común esto no tiene ningún problema por que la base de metal usualmente es algún tipo de acero.

Las superficies duras proveen materiales que no son disponibles en forma masiva. El carburo de tungsteno es la excepción, por ejemplo. Su punto de fusión es tan grande que ordinariamente sus fundiciones no son prácticas y, usado como un recubrimiento. Su aplicación fundida sobre cualquier base ordinaria podría ser experimentada.

El depósito de metal soldado es más costoso que su aleación similar masiva fundida, o con partes forjadas. Esto usualmente no compete con partes homogéneas hechas de hierro resistentes a la abrasión, pero para partes de acero que tienen una adecuada soldabilidad, será más económico para reemplazar el metal desgastado con un recubrimiento de soldadura, que adquirir una parte nueva. Así



la comparación de costos se hará sobre una base individual. La resistencia a la abrasión y tenacidad de la base de acero son consideraciones importantes, si la base de acero es tenaz, es probable que no tenga una alta resistencia a la abrasión, y un remplazo de una parte del acero desgastado con una aleación más resistente a la abrasión dará a esa superficie endurecida una más larga vida, que la original.

Las aleaciones más resistentes a la abrasión; son aquellas que contienen un considerable volumen de carburos duros. Ellos serán llamados hierros, por conveniencia aquí, y la implicación es un contenido de carbón cerca de 1.7% - 2.0% como en el caso de los hierros fundidos. Es reconocido que algunos de los hierros aleados son más resistentes a la abrasión que algunos aceros. No obstante son más frágiles y en muchos casos no pueden ser usados solos por el peligro de fracturas en servicio.

Esta limitación de los hierros duros enfatiza una de las ventajas sobresalientes de los recubrimientos duros: La provisión de dureza, resistencia al desgaste, teniendo una superficie de desgaste soportada por una base tenaz.

La composición puede tranquilamente resistir impactos y abrasión, características de mucho valor.

TELESCOPIÓN  
FALLA DE CROSBY

## 5.1 FACTORES DE DESGASTE

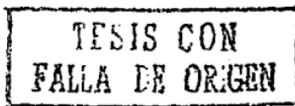
Impacto y abrasión son reconocidos como importantes factores de desgaste. Aquí la abrasión se tipificará como erosión, abrasión esmerilada ó pulverizada y abrasión estriada; el impacto será descrito como ligero, medio y pesado:

### IMPACTO:

El factor de impacto será usualmente el que se evalúa primero cuando se selecciona cualquier parte o alguna aleación de superficie dura. La razón para esto es la naturaleza catastrófica, algunas veces de alguna falla por impacto, asociada con la inconveniencia de un reemplazo y la pérdida de un valioso tiempo de producción. Reconociendo que la resistencia al impacto ó tenacidad, y la resistencia a la abrasión tienden a ser propiedades opuestas, una selección de aleaciones es lo más probable para equilibrar estas características, si la selección es errónea en la dirección de más que suficiente tenacidad y allí se sacrifica resistencia a la abrasión, los resultados esperados son que abrevia la vida útil. Este aumento en el costo de operación a menos que la abreviación de vida útil sea considerable, no será muy importante, o en el otro extremo, un error en el uso de una aleación que sea frágil que no tenga mucha resistencia al desgaste, puede ocasionar una rotura repentina, uniendo algunas veces el drástico corto tiempo de vida, con la molestia ocasionada por una reparación inesperada o trabajo de reemplazo.

Algunos servicios tienen mezclados varios tipos de impacto, como en el caso de una pala mecánica que excava arena hoy y después roca dura. Si es así, la aleación se seleccionará para los aspectos más severos de impacto.

Definiciones arbitrarias de severidad de impacto se usarán.

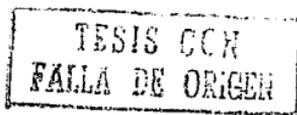


pero ellas están basadas en observaciones de condiciones de servicio, junto con un estudio de las aleaciones.

### IMPACTO LIGERO:

Es aquel donde los efectos de los golpes no exceden la (fortaleza), resistencia de la aleación bajo prueba. Tan grande como la cara golpeada puede resultar con deformación elástica, retribuyendo la energía del golpe como un rebote, daño estructural a la parte de trabajo no esperada. Bajo estas condiciones una larga vida de uso es normal y la última causa de reemplazo es el desgaste. Análisis de impactos indican que la fuerza de impacto en una superficie, depende enteramente de la velocidad del golpe. Esto es, si la resistencia de la superficie de aleación es conocida, la máxima velocidad del golpe que caerá en el rango de impacto ligero puede ser calculado. La referencia "SUPERFICIES DURAS PARA IMPACTO" tiene un nomograma para simplificar este cálculo (2), obviamente esto es lógico para seleccionar una aleación con alta resistencia a los impactos ligeros. Por que debido a su alta fuerza elástica, los hierros y aceros martensíticos son preferidos para tales servicios. Sin embargo, aleaciones con matriz austenítica tiene presentes muchos carburos duros., estos son algo inferiores para impactos permanentes, aunque su dureza puede ser bastante alta. Excepto para este tipo, la dureza puede ser una herramienta usual para la estimación de la resistencia en ausencia de datos de pruebas específicas.

Si la velocidad de impacto es grande, o la resistencia de la aleación es baja, resultará la deformación de la superficie por flujo plástico. Los materiales frágiles sufrirán muy poco de este efecto antes de romperse, y una rotura una vez iniciada probablemente cause una fractura. Muchos aceros absorberán algunas deformaciones antes de romperse, y ellos serán también duros en la superficie como un resultado de la deformación.



### **IMPACTO PESADO:**

Este se define arbitrariamente como una condición donde materiales no ferrosos pueden resistir los golpes sin sufrir deformación, y donde los impactos son repetidos y con su continua acción se espera una deformación progresiva. Con frecuencia el impacto repetido y la deformación, disminuirá la ductibilidad de los aceros endurecidos y eventualmente se romperán.

La selección para impactos pesados es fácil. El acero austenítico al manganeso parece ser adecuado para este servicio. Los grandes tonelajes de este son empleados para este propósito. Este es muy popular para partes originales (usualmente en la forma de fundiciones y hojas roladas) y para recubrimientos soldados para reemplazo de material desgastado o para proteger aceros menos durables.

### **MEDIO IMPACTO:**

Es difícil definir el medio impacto con precisión. En la práctica es el área donde ni las condiciones de ligero o pesado impacto se aplican. La selección de aleaciones es usualmente de la gran variedad de aceros disponibles, con carbón al 0.6% o mayor si las condiciones son del lado de ligero impacto., probablemente con carbón al 0.3% o menos si está en el lado de pesado impacto.

Estas son algunas aplicaciones donde las velocidades de impacto no son bajas, pero donde los esfuerzos compresivos son suficientemente grande para causar flujo. Las trituradoras giratorias son un ejemplo. La selección de aleaciones tanto medio o pesado impacto, depende de la cantidad de flujo observada o esperada.

Con los recubrimientos de soldadura, la base soporte será necesariamente competente. Si ésta es tan suave que los esfuerzos



transmitidos a ésta a través del recubrimiento cause deformación, esto aparecerá como un flujo lateral, este flujo forzará el recubrimiento en tensión y la rotura es probable, donde las aleaciones de recubrimiento más resistentes a la abrasión son relativamente muy sensibles a la tensión.

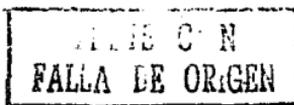
## 5.2 TIPOS DE ABRASION.

Hay diferentes tipos de abrasión que pueden ser clasificados. Esta clasificación fue evaluada en la American Brake Shoe Co., centro de investigación donde hubo observaciones de campo de un número de condiciones abrasivas. Los conceptos iniciales fueron probados en una variedad de pruebas de laboratorio y usualmente en períodos de varios años. Los tipos usados aquí son suficientemente distintivos, ellos son: a) Bajo esfuerzo abrasivo "pulir" o erosión. b) Alto esfuerzo abrasivo "pulverización" y c) abrasión estriada. La cantidad de esfuerzos envueltos, tienden a incrementarse.

Cada uno de estos tipos han sido simulados en pruebas de laboratorio.

EROSION: Usualmente conlleva bajas velocidades y soporte débil a la abrasión. El desgaste produce partículas arenosas típicamente, el ejemplo es el de una máquina pulidora con una substancia abrasiva con un paño suave. Así la energía enfocada a la abrasión es baja y el impacto usualmente ausente. No obstante, las velocidades pueden ser altas como en una boquilla que lanza rafagas de arena; la abrasión en este caso aumenta. En el laboratorio la erosión puede ser producida por la implementación de un chorro fluido o por una rueda de goma abrasiva acoplada a una zapata que frena.

ABRASION PULVERIZADORA-TRITURADORA: Envuelve la fragmentación del abrasivo, usualmente como pequeñas piezas, entre dos superficies fuertes, esto ocurre en máquinas de taller y en rodillos de molino triturador, la mayor parte de los esfuerzos pueden ser moderados, pero en una escala microscópica los esfuerzos serán suficientemente grandes para exceder el esfuerzo compresivo de la abrasión. Esto es mejor conocido por una situación de sandwich metálico, situación entre las substancias abrasivas, donde el impacto es bajo o moderado, como en molinos de bolas, la superficie dura no es



apropiada para que las partes desgastadas puedan ser hechas de aleaciones resistentes a la abrasión en forma masiva. En otras situaciones industriales, especialmente donde una base tenaz es requerida para protección contra impactos ocasionales, las aleaciones de superficies duras pueden proveer una protección valiosa. La severidad de esta abrasión dependerá considerablemente de la dureza y fuerza de la substancia abrasiva, en un experimento, la substitución de un cuarzo abrasivo por otro con solo  $1/3$  del esfuerzo compresivo causó un incremento de tres veces en la velocidad de desgaste.

La dureza de la substancia abrasiva también es importante; no solo las velocidades de desgaste aumentan, aún mas, la resistencia al desgaste entre un buen material y uno pobre será a disminuir tanto como la dureza abrasiva a aumentar.

**ABRASION ESTRIADA:** Puede ser reconocida por las prominentes muescas o estrias que quedan sobre las superficies de desgaste. En una maquina de taller esto es simulado por una rueda abrasiva o por una maquina cortante, en las trituradoras giratorias de mandibulas este es asociado con grandes esfuerzos compresivos, también en los dientes de una excavadora, especialmente en roca y pueden estar presentes impactos pesados, el abrasivo típico son piezas de roca, ó escoria, que en forma masiva provee soporte a la hoja cortante. El equipo sujeto a abrasión estriada usualmente tiene partes reemplazables, y las superficies duras son frecuentemente usadas para extender su vida o renovarlas.

Se pueden observar que estos tipos de abrasión pueden ser combinados uno con otro y con impactos en muchas aplicaciones.

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**

### 5.3 TIPOS DE ALEACIONES DE SUPERFICIES DURAS

Un número de las aleaciones de superficie dura están escritas con algún detalle en las referencias (2), (12), (13), (14), (15), (16), (17), (18), (19) y un sumario de esta información puede ser vista en el WELDING HANDBOOK (20). Algunas de estas, (tabla 1) están cubiertas por la especificación AWS para relleno superficial de metales (AWS A5.13-56T). ASTM A399-56T (21).

En lo que sigue hay información acerca de los mejores clasificaciones conocidas que abarcan sobre las especificaciones mencionadas (las cuales contienen apéndice de información descriptiva). Información técnica disponible. La omisión de algunas aleaciones no implica que estas sean inferiores aunque la interioridad es reconocida obviamente esta no tendrá lugar en la lista de recomendaciones. Algunas clases no se incluirán aquí por que sus méritos de uso son en otras áreas de aplicación (por ejemplo: las aleaciones Cobalto-Cr-Tungsteno para aplicaciones de desgaste en caliente), las bronce de aluminio serán omitidos por que son excelentes para la fricción metal-metal pero tienen una pobre resistencia a la abrasión. Muchas de las aleaciones a base de Níquel no son considerables por que su campo es la resistencia a la corrosión.

En general, cuando la corrosión o el calor no son importantes y donde una aleación base hierro tiene una estructura apropiada, la típica base hierro será menos costosa para dar un nivel de durabilidad. Por esta razón, las clases a revisar serán principalmente aceros y hierros, las clasificaciones de aleaciones de superficies duras vistas en la tabla 2 nos da las más usuales y serán usadas principalmente.

Estas son de muchas aplicaciones donde el impacto es ligero o ausente y donde su combinación con el desgaste se pueden pasar por



alto. En estos casos, donde la abrasión es del tipo de baja acción de desgaste o roído, el rango en orden de merito tiende a ser: compuestos de carburo de tungsteno (10), hierros al alto cromo (16), hierros martensíticos (2), aleaciones CR-Ni-Si-E de los tipos más duros, hierros austeníticos o perlíticos, aceros al alto carbono martensíticos, aceros austeníticos al Mn. y aceros al bajo carbono. La dureza y el volumen de los carburos contenidos tanto como la dureza de la matriz contribuirá a la resistencia a la erosión.

Si la abrasión es de alta acción de desgaste el rango de aleaciones cambia. Los compuestos de carburo de tungsteno disminuirán la importancia de las operaciones de soldadura ya que estas no disuelven muy bien los gránulos del carburo. los hierros martensíticos son segundos (con la inclusión aquí de los hierros al alto cromo solo si la matriz es martensítica, seguidos por los aceros martensíticos al alto carbono, aceros eutectoides perlíticos, aceros austeníticos al manganeso, hierros austeníticos (alto cromo) y aceros al abjo carbono.

Para abrasión estriada la amplitud del rango viene a ser teórico por que tales servicios son asociados casi siempre con impactos pesados y tremendos esfuerzos de compresión. Los materiales con la mejor resistencia a la abrasión son también fragiles para el común de las aplicaciones y la selección se disminuye a aceros martensíticos y aceros austeníticos al manganeso.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN



## **TABLA 2 CLASIFICACION DE ALEACIONES SUPERFICIALES**

- TIPO BASICO: Depositos de carburo de tungsteno, gránulos finos o gruesos en forma de bastones tubulares.

**CARACTERÍSTICAS IMPORTANTES:** Máxima resistencia a la abrasión, cuando se desgasta la superficie es áspera, mejor durabilidad cuando es aplicada con gas.

**APLICACIONES USUALES:** Usado en la perforación de rocas y juntos de herramientas, hay un amplio rango para condiciones severas de abrasión.

- TIPO BASICO: Hierros alto cromo, tipo múltiple aleación, tipo martensítico, tipo austenítico.

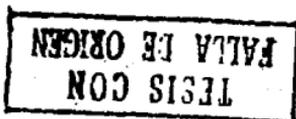
**CARACTERÍSTICAS:** Excelente resistencia a la erosión, puede alearse y reendurecerse, resistentes a la oxidación.

**APLICACIONES:** Abrasión por coque caliente, erosión por catalizadores en refinarias, equipo agricultura, condiciones generales de abrasión con ligero impacto.

- TIPO BASICO: Hierros aleaciones martensíticos, Tipo Cromo - Tungsteno, Tipo Cromo-Molibdénico, Tipo Níquel-Cromo.

**CARACTERÍSTICAS:** Excelente resistencia a la abrasión, altos esfuerzos compresivos buenos para impactos ligeros.

**APLICACIONES:** Partes de máquinas sujetas a desgaste e impacto metal-metal.



- TIPO BÁSICO: Hierros aleados austeníticos, tipo Cromo Molibdeno, tipo Cromo-Níquel, más resistencia a la rotura que los hierros martensíticos.

APLICACIONES: Condiciones generales de erosión con ligero impacto.

- TIPO BÁSICO: Aleaciones Cromo-Cobalto-Tungsteno, Tipo Alto Carbon (2.5%) Tipo Medio Carbon (1.4%), Tipo Bajo Carbon (1.0%).

CARACTERÍSTICAS: Esfuerzos en caliente, resistencia al deslizamiento, frágiles y resistentes a la abrasión, duros y resistentes a la oxidación.

APLICACIONES: Válvulas de escape para maquinas de gasolina, válvulas de turbinas de vapor.

- TIPO BÁSICO: Aleaciones base Níquel, Tipo Níquel-Cromo, Tipo Níquel-Cromo-Molibdeno-Tungsteno, Tipo Níquel-Cromo-Molibdeno, Tipo Níquel-Cromo.

CARACTERÍSTICAS: Resistencia a la corrosión, resistencia a la erosión por gas resistencia a la oxidación.

APLICACIONES: Válvulas de escape de camiones y aviones.

- TIPO BÁSICO: Aleaciones base Cobre, resistentes al desgaste por fricción, usado para superficies rodantes.

- TIPO BÁSICO: Aceros martensíticos: alto carbon, medio carbon, bajo carbon.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

**CARACTERISTICAS:** Buena resistencia a la abrasión, buena resistencia al media no impacto, duro, económico.

**APLICACIONES:** Trabajo en caliente.

- TIPO BASICO: Aceros perlíticos, aceros de Laja aleación, acero simple carbón.

**CARACTERISTICAS:** Resistencia a la rotura y bajo costo, utilizable para construir areas de desgaste, buena base para superficies duras.

**APLICACIONES:** Es en general una superficie dura de bajo costo.

- TIPO BASICO: Aceros Austeniticos, 13% manganeso - 1% Molibdeno, 13% Manganeso - 3% Niquel, 13% Manganeso - Niquel - Cromo, acero alto Carbón - Niquel - Cromo, acero bajo Carbón - Niquel - Cromo.

**CARACTERISTICAS:** Esfuerzo de bajo rendimiento, alto rendimiento para tipos austeniticos, resistencia a la oxidación y desgaste caliente, resistencia a la corrosión.

**APLICACIONES:** Desgaste friccional al rojo vivo, partes de hornos, donde se requiere resistencia a la corrosión superficial en tanques grandes.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

**CAPITULO 6**

**BREVE DESCRIPCION DE LAS NORMAS  
EMPLEADAS EN SOLDADURA**

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**

## 6.1 BREVE DESCRIPCION DE LAS NORMAS EMPLEADAS EN SOLDADURA

La mayor parte de las soldaduras deben ajustarse a ciertas especificaciones, durante la realización del trabajo y al terminar el mismo, se requiere a menudo la inspección de las soldaduras.

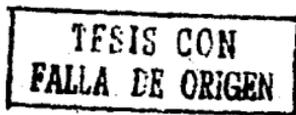
Existen organismos especializados que emiten códigos de normas que describen detalladamente los procedimientos para realizar un trabajo de soldadura, las características y especificaciones de los electrodos y recubrimientos, materiales de aporte, fundentes y barras, así como los ensayos destructivos y no destructivos que se practican a las soldaduras.

Estos códigos describen, además, exámenes de calificación para operadores.

No es el objetivo de este trabajo, el transcribir dichas normas, sino más bien dar a conocer las de uso más frecuente, así como las clasificaciones según la A.E.S. de los materiales utilizados.

La American Society for Testing and Materials (A.S.T.M.) publica conjuntos de especificaciones ordenadas en volúmenes, estableciendo los requisitos de materias primas, tales como placas de acero y tuberías, describiendo ensayos normalizados, tales como los de resiliencia, o los ensayos de tracción para los materiales metálicos.

Si el número de una norma A.S.T.M. va seguido de una T, significa que la norma se reduce a una tentativa de norma. Si va seguido de un quión y un segundo número, tal como 52, indica que dicha norma se estableció en 1952.



**ESTA TESIS NO DEBE  
SALIR DE LA BIBLIOTECA**

El seguir una norma es de gran utilidad, ya que se establece un lenguaje universal entre proveedores y compradores en la industria.

Los siguientes grupos y asociaciones: American Welding Society, Canadian Welding Bureau, American Standards Association, Canadian Standards Association, Underwriters Laboratories (A.W.S., C.W.B., A.S., C.S.A. y U.L.), y otros organismos, han establecido códigos normalizados tales como el titulado: A.W.S. Standards Rules for Field Welding of Steel Storage Tanks. Los cuales deben consultar los fabricantes de piezas soldadas.

Otros organismos publican sus propias especificaciones. entonces por ejemplo los tanques de acero soldados, dedicados al almacenamiento de productos derivados del petróleo, tienen que estar de acuerdo con las especificaciones del American Petroleum Institute (A.P.I.).

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**

## 6.2 NORMAS SOBRE ELECTRODOS, MATERIAL DE APORTACION Y FUNDENTES

Los consumibles son los materiales usados durante la soldadura, tales como electrodos, varillas de aporte, fundentes y gases protectores aplicados externamente.

Con excepción de los gases, todos los combustibles están cubiertos dentro de las especificaciones de la A.W.S.

Veinte normas en la serie A.W.S. A5.X describen las especificaciones para electrodos, aportes y fundentes.

Se describirán brevemente algunas normas de la serie A5.X, para una información mas detallada, es conveniente revisar el código A.W.S.

El crecimiento en la industria del uso de la soldadura, dió lugar a la aparición de diversos tipos de electrodos, y fue necesario establecer un sistema de clasificación para evitar confusiones. En 1940 se redactó la norma A5.1 aplicada a acero al carbón y acero baja aleación.

La American Welding Society, clasifica por números de cuatro cifras, los electrodos de acero al carbón para soldadura por arco, precedidos de la letra E (de eléctrico). Las dos primeras cifras expresan la resistencia a la rotura mínima en miles de libras. De esta manera, un electrodo E6010 depositará metal con una resistencia de rotura superior a las 60,000 lb/pulg<sup>2</sup>, un electrodo E7018 depositará un material con una resistencia a la rotura por tracción, superior a 70,000 lb/pulg<sup>2</sup>. La tercera cifra es un 1 ó un 2. Los electrodos Exx10 a Exx19 son aptos para soldadura en cualquier posición: plana, horizontal, vertical y de techo, mientras que los electrodos Exx20 a Exx29 son electrodos aptos únicamente para soldadura en posición plana u horizontal. A veces se emplean



los electrodos E6030, en este caso el 3 significa que son aptos únicamente para soldaduras en posición plana.

La cuarta cifra no indica una información de un tipo determinado, para conocer su significado, hay que consultar la tabla 6.1

El sufijo (elem. Extra-A1) indica la aleación aproximada en el depósito, como en los siguientes ejemplos:

A1	0.5% Mo
B1	0.5% Cr, 0.5% Mo
B2	1.25% Cr, 0.5% Mo
B3	2.25% Cr, 1.0% Mo
B4	2.0% Cr, 0.5% Mo
B5	0.5% Cr, 1.0% Mo
C1	2.5% Ni
C2	3.25% Ni
C3	1.0% Ni, 0.05% Mo, 0.15% Cr
D1	0.5% min.Ni, 0.3% min.Cr, 0.2% min.Mo, 0.1% min. V

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

TABLA # 6.1 PROPIEDADES DE LOS ELECTRODOS PARA SOLDADURA POR ARCO

ULTIMA CITFA	0	1	2	3	4	5	6	7	8
POTENCIA SUSTENTADA	(A)	C.A. PíCC	C.A. C.C.	C.A. C.C.	C.A. C.C.	PíCC	C.A. PíCC	C.A. C.C.	C.A. PíCC
REVESTIMIENTO	(B)	organica	rutilo	rutilo	rutilo	bajo H	bajo H	mineral	bajo H
PENETRACION	(C)	profunda	media	ligera	lig.	media	media	media	media
HIERRO EN POLVO EN REV.	0-10%	ninguno	0-10%	0.10%	30-50%	ninguno	ninguno	50%	30-50%

(A) El electrodo 6010 es para PíCC, el 6020 para C.C. o C.A.  
 (B) El electrodo 6010 lleva revestimiento organico, el 6020 revestimiento de rutilo.  
 (C) El electrodo 6010 es de penetracion profunda, el 6020 de penetracion media.

PíCC : polaridad inversa corriente continua

PDCC : polaridad directa corriente continua

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

TABLA N 6.2 CODIGO DE COLORES PARA ELECTRODOS DE ACERO  
SUAVE Y BAJA ALEACION

COLOR DE GRUPO -- SIN COLOR

EXX10, EXX11, EXX14, EXX24, EXX27, EXX28 y TODO E60XX

E	SIN COLOR	AZUL	NEGRO	NARANJA
SIN COLOR	E6010	E7010G		EST
BLANCO	E6012	E7010N1		ECT
CAFE	E6013		E7014	
VERDE	E6020			
AZUL	E6011	E7011G		
NARANJILLO		E7011A1	E7024	
NEGRO			E7028	
PLATEADO	E6027			

COLOR DE GRUPO -- PLATEADO

TODO EXX13 y EXX20 EXCEPTO E6013 y E6020

CAFE	E7020G
BLANCO	E7020A1
VERDE	
NARANJILLO	

Originalmente la National Electrical Manufacturer Association (N.E.M.A.) en unión con la A.W.S., desarrolló un código de colores y se acordó, que la clasificación debería imprimirse en el electrodo (fig. # 6.1), sin embargo en algunos electrodos delgados esto no es práctico y por lo tanto es aceptado el código de colores que se detalla en las tablas # 6.2 y # 6.3

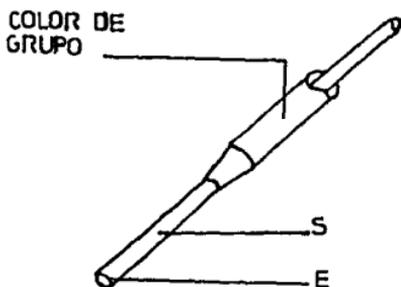


Fig. # 6.1 Impresión de la clasificación en el electrodo

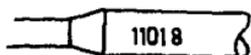


TABLE 6.3 CODIGO DE COLORES PARA ELECTRODOS RECUBIERTOS BAJO HIDROGENO Y BAJA ALEACION

COLOR DE GRUPO -- VERDE

EXC. E6016 Y E6019 EXCEPTO E6015 Y E6016

	SIN COLOR	ACUL	NEGRO	BLANCO	GRIS	CAFE	VIOLETA	VERDE	ROJO	NARANJA
E6015	E6015	E6015	E6015B1		E6015	E6015G E6015A1		E10015G		E10015G
E7015	E7015	E7015	E7015C1	E7015		E7015G E7015A1		E10015G E10015G2	E11015G	E12015G
E7019	E7019	E7019	E7019C1	E7019		E7019G E7019A1	E7019B1	E10019G E10019G2	E11019G	E12019G

### 6.3 NORMA A.W.S. 5.13 PARA RECUBRIMIENTOS DUROS

Especificación para soldadura de superficies duras, varillas y electrodos.

SFA - 5.13

A.W.S. A 5.13 - 80

#### Alcance:

Esta especificación prescribe los requerimientos para los electrodos de soldadura sobre superficies simples, para su uso con oxígeno combustible y en procesos de soldadura de arco gas - tungsteno.

#### 1. CLASIFICACIÓN Y ACEPTACIÓN.

##### 1.1 Clasificación y Aceptación

Las varillas y electrodos de superficie desnuda son clasificados sobre la base de su composición química conforme a su manufactura, los electrodos de superficie recubierta son clasificados sobre la base de la composición química del metal soldado. Cualquier varilla o electrodo clasificado bajo alguna clase, no será clasificado en cualquier otra clase de especificación.

##### 1.2 Aceptación

Con la voluntad y costos de el comprador, cualquier o todas las pruebas requeridas de esta especificación pueden ser usadas como una base para la aceptación de los productos cubiertos por esta especificación.

Se puede recurrir a la especificación A 5.01 para las recomendaciones de relleno de metales y como referencia para definir



el lote y frecuencia de pruebas.

### 1.3 Requerimientos de la composición química

La composición química de las varillas de soldadura y electrodos será conforme a los requerimientos prescritos por su clasificación en la tabla 6.1.

La composición química del metal concentrado usado para hacer los electrodos recubiertos será conforme a los requerimientos prescritos para su clasificación en la tabla 6.2

Los detalles de la prueba están especificados en 3.4

### 1.4 Utilidad

Una prueba, como se prescribe en el punto 3.3 es para demostrar la utilidad de los metales de relleno. Los metales de relleno serán capaces de tener flexibilidad siguiendo las siguientes recomendaciones.

1.4.1. Para varillas de soldadura, el metal fluirá libre y uniformemente sobre la superficie de la placa, sin ebullir o tener actividad excesiva.

1.4.2. Los electrodos serán aplicados uniformemente y sin chisporrotear en demasía cuando se use dentro de los rangos de corriente recomendados por el fabricante. La escoria será fácilmente removida con herramientas manuales.

1.4.3. La superficie del relleno de prueba, después de haber sido limpiada, deberá estar libre de defectos visibles a simple vista.

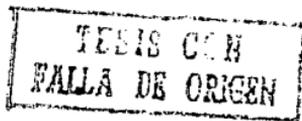


TABLA 6.1 REQUERIMIENTOS QUIMICOS PARA ELECTRODOS DE SUPERFICIE CUBIERTA

R.M.S. CLASIFI- CACION	CARBON %	MANGANESES	COBAL- TO	TUNGSTENO	NIQUEL	CRONO	MOLIB- DENO	NIERO	WAMADIO	COBRE	ALUMINIO	ZINC	SILICIO	PLA- NO	ESTANO	FOSFORO	OTROS ELE- MENTOS
FE5-A	0.7-1.0	0.6	---	5-7.0	---	3-5.0	4-6.0	RESTO	1-2.5	---	---	---	0.8	---	---	---	1.0
FE5-B	0.5-0.9	0.6	---	1-2.5	---	3-5.0	5.0-9.5	RESTO	0.8-1.3	---	---	---	0.8	---	---	---	1.0
FE5-C	0.3-0.5	0.6	---	1.0-2.5	---	3.0-5.0	5.0-9.0	RESTO	0.8-1.2	---	---	---	0.8	---	---	---	1.0
FEW-A	0.5-0.9	11.0-16.0	---	---	2.75-6.0	0.5	---	RESTO	---	---	---	---	1.3	---	---	0.03	1.0
FEW-B	0.5-0.9	11.0-16.0	---	---	---	0.5	0.6-1.4	RESTO	---	---	---	---	0.3-1.3	---	---	0.03	1.0
FECr01	3.0-5.0	4.0-8.0	---	---	---	26.0-32.0	2.0	RESTO	---	---	---	---	1.0-2.5	---	---	---	1.0
ECoCr-A	0.7-1.4	2.0	RESTO	3.0-6.0	3.0	25.0-32.0	1.0	5.0	---	---	---	---	2.0	---	---	---	0.5
ECoCr-B	1.0-1.7	2.0	RESTO	7.0-9.5	3.0	25.0-32.0	1.0	5.0	---	---	---	---	2.0	---	---	---	0.5
ECoCr-C	1.75-3.0	2.0	RESTO	11.0-14.0	3.0	25.0-33.0	1.0	5.0	---	---	---	---	2.0	---	---	---	0.5
ECuSi	---	1.5	---	---	---	---	---	0.5	---	RESTO	0.01	---	2.4-4.0	0.02	1.5	---	0.5
ECuAl-A2	---	---	---	---	---	---	---	0.5-5.0	---	RESTO	7.0-9.0	---	1.0	0.02	---	---	0.6
ECuAl-B	---	---	---	---	---	---	---	2.5-5.0	---	RESTO	8.4-10.0	---	1.0	0.02	---	---	0.6
ECuAl-C	---	---	---	---	---	---	---	3.0-5.0	---	RESTO	12.0-13.0	0.02	0.04	0.02	---	---	0.5
ECuAl-D	---	---	---	---	---	---	---	3.0-5.0	---	RESTO	13.0-14.0	0.02	0.04	0.02	---	---	0.5
ECuAl-E	---	---	---	---	---	---	---	3.0-5.0	---	RESTO	14.0-15.0	0.02	0.04	0.02	---	---	0.5
ECuSn-A	---	---	---	---	---	---	---	0.25	---	RESTO	0.01	---	---	0.02	4.0-6.0	0.05-0.35	0.5
ENiCr-A	0.3-0.6	---	1.5	---	RESTO	0.0-14.0	---	1.25-3.25	---	---	---	---	1.25-3.25	---	---	---	0.5
ENiCr-B	0.4-0.8	---	1.25	---	RESTO	10.0-16.0	---	3.0-5.0	---	---	---	---	3.0-5.0	---	---	---	0.5

TABLA 6.2 REQUERIMIENTOS QUIMICOS PARA VARILLAS DE SOLDADURA SUPERFICIAL

A.H.S. CLASIFI- CACION	CARBON %	MANGA- NESO	CO- BALTO	TUNGSTENO	NIQUEL	CRONO	NOLIB- DENO	NITRNO	CAMBIO	COBIZ	ALUMINIO	ZINC	SILICIO	PLA- NO	ESTANO	FOSFORO	OTROS ELE- MENTOS
WE5-A	.7-1.0	0.5	---	5-7.0	---	3.0-5.0	4.0-6.0	RESTO	1.0-2.5	---	---	---	0.50	---	---	---	1.0
WE5-B	0.5-0.9	0.50	---	1.0-2.5	---	3.0-5.0	5.0-9.3	RESTO	0.8-1.3	---	---	---	0.50	---	---	---	1.0
WEc-A1	3.7-5.0	2.0-6.0	---	---	---	27.0-35.0	---	RESTO	---	---	---	---	1.1-2.5	---	---	---	1.0
RCc-A	0.9-1.4	1.0	RESTO	3.0-6.0	3.0	26.0-32.0	1.0	3.0	---	---	---	---	2.0	---	---	---	0.5
RCc-B	1.2-1.7	1.0	RESTO	7.0-9.5	3.0	26.0-32.0	1.0	3.0	---	---	---	---	2.0	---	---	---	0.5
RCc-C	2.0-3.0	1.0	RESTO	11.0-14.0	3.0	26.0-33.0	1.0	3.0	---	---	---	---	2.0	---	---	---	0.5
RCuSn-E <sup>b</sup>	---	0.3	---	---	---	---	---	1.5	---	56.0 min.	0.01	RESTO	0.04-0.25	0.05	2.00-3.00	---	0.5
ERCuSi-A <sup>b</sup>	---	1.5	---	---	---	---	---	0.5	---	94.0 min.	0.01	1.5	2.0-4.0	0.02	1.5	---	0.5
ERCuAl-A2 <sup>b</sup>	---	---	---	---	---	---	---	1.5	---	RESTO	9-11.0	0.02	0.10	0.02	---	---	0.5
ERCuAl-A3	---	---	---	---	---	---	---	3.0-5.0	---	RESTO	10-11.0	0.10	0.10	0.02	---	---	0.5
RCuAl-C	---	---	---	---	---	---	---	3.0-5.0	---	RESTO	12-13.0	0.02	0.04	0.02	---	---	0.5
RCuAl-D	---	---	---	---	---	---	---	3.0-5.0	---	RESTO	13-14.0	0.02	0.04	0.02	---	---	0.5
RCuAl-E	---	---	---	---	---	---	---	3.0-5.0	---	RESTO	14-15.0	0.02	0.04	0.02	---	---	0.5
RCuSn-A <sup>b</sup>	---	---	---	---	---	---	---	4.0	---	93.5 min.	0.01	---	---	0.02	4-6.0	9.1-0.35	0.5
RCuSn-D	---	---	---	---	---	---	---	---	---	89.5 min.	0.01	---	---	0.05	9-11.0	0.1-0.3	0.5
WEc-A	0.3-0.6	---	1.5	---	RESTO	0.0-14.0	---	1.25-3.25	2.0	---	---	---	1.25-3.25	---	---	---	0.5
WEc-B	0.4-0.8	---	1.25	---	RESTO	10-16.0	---	3-5.0	2.0	---	---	---	3-5.0	---	---	---	0.5
WEc-C	0.5-1.0	---	1.0	---	RESTO	12-18	---	3.5-5.5	2.5	---	---	---	3.5-5.5	---	---	---	0.5

## 1.5 Pruebas Adicionales.

Si alguna prueba falla, dos pruebas adicionales de la prueba particular son tomadas conjuntamente como la prueba original.

## 2. MANUFACTURA.

### 2.1 Método de manufactura.

Los electrodos y varillas serán hechos por cualquier método que dé un producto admisible conforme a los requerimientos de su especificación.

### 2.2 Varillas soldables y electrodos descubiertos, terminado y uniformidad.

Las varillas soldables y los electrodos descubiertos tendrán como cualidad: uniformidad, ser libres de óxidos, astillas, rebabas u otras irregularidades que afecten adversamente las propiedades de la soldadura o la operación del equipo de soldadura.

### 2.3 Electrodos recubiertos

2.3.1. El recubrimiento de los electrodos de todos los tamaños será concéntrico y se extenderá al máximo sobre el centro, su dimensión no excederá de un 7% de la mínima dimensión de un recubrimiento más sobre el centro para electrodos de centro de alambre forjado, ó tanto como un 10% para electrodos con centro de alambre fundido, teniendo cuenta que en cualquier caso no ocurrirá un "uñero" durante la soldadura.

El término "uñero" indica que el electrodo recubierto, al final del arco estará consumiéndose irregularmente alrededor de la circunferencia del centro del alambre, por eso, en vez



de que el recubrimiento sea simétrico con respecto al centro del alambre, este sobresale afuera mas allá del centro del alambre, en mucho similar a la manera como una uña sobresale mas allá del final de un dedo.

La concentricidad será medida por cualquier medio adecuado.

2.3.2 Los recubrimientos serán tales que no se deteriorarán fácilmente por el manipuleo ordinario.

2.3.3 Los recubrimientos serán tales que el calentamiento del electrodo durante el soldado no causará formación de ampollas ni escamas, con los rangos de corriente recomendadas por el fabricante.

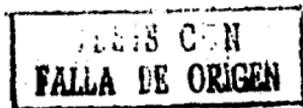
2.3.4 El centro o alma de alambre y recubrimientos estarán libres de defectos tal que no interfieran con el desempeño uniforme de los electrodos.

2.4. Núcleo expuesto.

2.4.1 La porción de los electrodos recubiertos por donde se toman para soldadura manual, serán libres de recubrimiento en una distancia no menor de  $3/4$ " y no mayor de  $1/4$ " para hacer contacto con el mango. La parte final de cada electrodo recubierto será suficientemente liso y el recubrimiento suficientemente uniforme para permitir la fácil continuidad del arco.

2.5 Tamaños y longitudes estándares.

Las longitudes y tamaños estándares de la varillas de soldadura se pueden ver en la Tabla 6.3 y 6.4



## 2.6 Empaque

Las varillas y electrodos serán empacados de manera que se protejan de daño alguno durante su manipulación, embarque, en condiciones de humedad normales en el almacenaje, en contenedores o paquetes de 5, 10, 25, 60 o 100 libras de peso neto.

## 2.7 Marcaje

2.7.1 La cara externa de cada unidad de empaque será marcada legiblemente con la siguiente información:

2.7.1.1 Número de especificación y clasificación.

2.7.1.2 Tamaño estándar y peso neto.

2.7.1.3 Lote, control o número de corrida.

2.7.2 El marcaje de alguna o todas las unidades de empaque con los términos listados en 2.7.1 será opcional según el fabricante.

2.7.3 Los electrodos descubiertos y varillas serán enrolladas en carretes que se identificarán por la especificación y número de clasificación, designación industrial, tamaño y peso neto con el lote, corrida o número de control puesto en mínimo un flanco de el carrete de tal manera que esta identificación no pueda ser removida fácilmente.

2.7.4 Para otros materiales como varilla oxi-combustible, todos los empaques serán unidades individuales cerradas contenidos en un empaque mas grande. se transportarán siguiendo las precauciones marcadas o sus equivalentes, colocados a la vista en letra legible. ejemplo:

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

**PRECAUCIÓN:** Protejase así mismo y a otros.

Lea y entienda este rotulo. HUMOS Y GASES pueden ser peligrosos para el corazón. LOS RAYOS DEL ARCO pueden dañar ojos y quemar su piel. LAS DESCARGAS ELECTRICAS pueden ser mortales.

- . Lea y entienda las instrucciones del fabricante y emplee sus prácticas de seguridad.
- . Mantenga su cabeza fuera de los humos.
- . Tenga ventilación suficiente, disminuyendo el arco.
- . Proteja correctamente ojos, oídos y cuerpo.
- . No toque partes eléctricas activas.
- . Vea el estándar Nacional Americano Z49.1. Seguridad en soldadura y corte, publicada por la Sociedad Americana de Soldadura.

2.7.5 Para las varillas de combustible oxigenado, todos los paquetes metálicos, o todas las unidades se incluirán dentro de amplios paquetes, los cuales se manipularán con mucha precaución y debidamente etiquetados con letra legible y prominente.

## 2.8 Identificación de electrodos.

Todas las cubiertas de los electrodos deberán ser identificadas de acuerdo a lo siguiente:

2.8.1 Mínimamente una etiqueta legible de la clasificación A.W.S. deberá ser adoptada para la cubierta del electrodo cerca del centro de la varilla, pero no debe ser más grande que 2 1/2".

2.8.2 Los números de clasificación impresos en el electrodo deben ser visibles y legibles.



2.8.3 La tinta usada para la impresión debe ser provista de suficiente contraste con la cubierta del electrodo por eso los números y letras deben ser legibles después y antes de las aplicaciones normales de la soldadura.

2.8.4 El prefijo E en la clasificación de los electrodos puede ser omitida de la cubierta de los electrodos.

2.9 Procedimientos de redondeo.

Estos serán de acuerdo a los métodos de redondeo de la ASTM E29

2.10 Certificación.

Todo el material proporcionado bajo esta especificación el fabricante certificará (bajo los requerimientos del 2.7) que el material representativo tiene que pasar la prueba obligatoria para la clasificación de esta especificación. Es obligatorio que el comprador y el fabricante proporcionen una copia de los resultados de esta prueba.

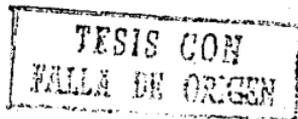
3. DETALLES DE LAS PRUEBAS.

3.1 Pruebas obligatorias.

Las pruebas obligatorias especificadas en 1.3 y 1.4 se podrán manejar de acuerdo con los requerimientos de esta sección. Usualmente las pruebas y análisis químicos pueden ser hechos sobre varillas y electrodos de cualquier calibre, tamaño o dimensión.

3.2 Material para las pruebas de las placas.

Los metales base para las pruebas usuales y análisis químicos serán conforme a una de las siguientes especificaciones o su equivalente.



3.3.2 Especificación ASTM A36, Acero estructural.

3.3 Pruebas usuales.

3.3.1 Una prueba de relleno podrá ser preparada usando técnicas de posición y otros factores especificados por los manufactureros.

3.3.2 La superficie del relleno será suave y limpia, después se examinará visualmente su superficie.

3.4 Análisis Químico.

3.4.1 Análisis Químico de varillas para soldadura y electrodos. Un adecuado y simple electrodo o varilla de soldadura será suficiente para repetir la prueba si es necesario, y hacer los análisis químicos prescritos.

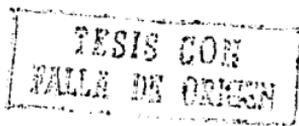
3.4.2 Análisis químico de electrodos recubiertos.

3.4.2.1 Todos los análisis químicos superficiales serán hechos en posición plana.

3.4.2.2 Para electrodos recubiertos, la prueba esponja deberá ser preparada como se muestra en la figura 4.1, usando los procedimientos de soldadura especificados por el fabricante como los factores no cubiertos aquí. La longitud total del electrodo cubierto deberá ser usado, la longitud del talón no excederá de 1 3/4".

3.4.2.3 La parte superior de la superficie del cordón de prueba deberá ser removida y desechada.

El tratamiento térmico postsoldadura puede ser usado para suavizar la prueba del cordón y facilitar la remoción. El Metal usado para la muestra no deberá ser



removido tan cerca como  $\frac{1}{4}$ " desde la base del metal, no deberá usarse aceite u otro lubricante cuando se remueva la muestra

3.4.2.4 Los Análisis químicos pueden ser hechos por cualquier método adecuado acordado por el fabricante y el comprador.

TABLA 6.3

Medidas estandares y longitudes sobre soldaduras de varillas

AWS Clasifi- cación	Hierro Forjado		Hierro Moldeado		Longitud in mm <sup>e</sup>	Longitud in mm
	Diametro in mm <sup>a</sup>	Longitud in mm <sup>b</sup>	Diametro in mm <sup>c</sup>	Longitud in mm		
R FeS-A	1/8	3.2	1/8	3.2		
	5/32	4.0	5/16	4.8		
0 R FeS-B	3/16	4.8	1/4	6.4	8 a 14	200 a
	1/4	6.4	5/16	8.0		
R FeCr-A1	5/16	8.0	3/8	9.5		
	3/8	9.5	3/8	9.5		
R CoCr-A			1/8	3.2		
R CoCr-B			5/32	4.0	8	200
			3/16	4.8		
R CoCr-C			1/4	6.4	a	a
			5/16	8.0		
			3/8	9.5	24	610
RCuZn-E	1/4	6.4				
	5/16	1.6				
RCuBi-A	5/32	2.4				
ERCuSn-A <sup>e</sup>	1/8	3.2				
RCuSn-D	5/32	4.0	36	900		
ERCuAl-A2 <sup>e</sup>	3/16	4.8				
ERCuAl-A3 <sup>e</sup>	1/4	6.4				
	5/32	2.4				
RCuAl-C	1/8	3.2				
RCoAl-D	5/32	4.0	36	900		
RCuAl-E	3/16	4.8				
	1/4	6.4				
RNiCr-A					5/32	4.0
					3/16	4.8
0 RNiCr-B					1/4	6.4
RNiCr-C					5/16	8.0
					3/8	8.5

a1 Los diametros no deberan variar mas que ± 15% del nominal. No todas las clasificaciones son disponibles que todos los diametros.

b: Las longitudes no deberan variar mas que los standares siguientes:  
 28 in (700 mm) y mas cortos ..... ± 1/4 in (6.4 mm)  
 36 in (900 mm) ..... ± 3/8 in (10 mm)

c: Los diametros no deberan variar mas que ± 1/32 in (0.8 mm) de lo nominal

d: Las longitudes mas altas que 12 ft (3660 mm) puedan ser proporcionados de acuerdo entre el surtidor y el comprado

e: Esta clasificacion algunas veces esta disponible conforme a la mas reciente edicion de AWS A-5.7 especificacion para el cobre y cobre mezclado, barras de soldadura de varillas y electrodos.

TABLA 6.4

Medidas estandarizadas v longitudes de electrodos cubiertos

ANS	Hierro forjado con centro de alambre				Hierro moldeado con centro de alambre			
	Diámetro		Longitud		Diámetro		Longitud	
Clasificación	in	mm <sup>a</sup>	in	mm <sup>b</sup>	in	mm <sup>d</sup>	in	mm
E FeS-A	1/8	3.2			1/8	3.2	8 a 14	200 a 350
E FeS-B	5/32	4.0	14	350	3/16	4.8		
E FeS-C	3/16	4.8	18	450	1/4	6.4	10 a 14	250 a 350
E FeMn-A	1/4	6.4	26	700	3/16	8.0		
E FeCr-Al	5/16	8.0			3/8	9.5		
					1/8	3.2		
E CoCr-A	5/32	3.2	12	300	5/32	4.0		
E CoCr-B	1/8	3.2	14	350	3/16	4.8		
E CoCr-C	5/32	4.0	13	450	1/4	6.4		
	3/16	4.8	18	450	5/16	8.0	10 a 14	250 a 350
					3/8	9.5		
E CuSi								
E CuAl-AZ	3/32	2.4	11	280				
E CuAl-B	1/8	3.2						
E CuAl-C	5/32	4.0	14	350				
E CuAl-D	3/16	4.8						
E CuAl-E	1/4	6.4	18	450				
E CuSn-A								
E CuSn-C								
E NiCr-A					5/32	4.0		
					3/16	4.8		
E NiCr-B					1/4	6.4	8 a 14	200 a 350
E NiCr-C					5/16	8.0		
					3/8	9.5		

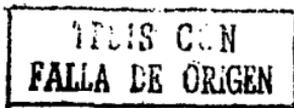
a: Los diámetros no deben variar mas que los denominados siguientes:

5/16 in (4.0 mm) y mas pequeños ..... ± 0.003 in (0.08 mm)  
 Por encima 5/32 in (4.0 mm) ..... ± 0.004 in (0.10 mm)

Los diámetros que llevan centro de alambre son para la cubierta electrodos.

b: Los diámetros de hierro forjado con centro de alambre no deben variar mas que ± 1/4 in (6.4 mm) de la nominal.

c: Los diámetros no deben variar mas que ± 1/32 in (0.8 in) de la nominal.



## **CAPITULO 7**

### **CARACTERISTICAS DE LOS ELECTRODOS Y RECUBRIMIENTOS**

## CARACTERISTICAS DE LOS ELECTRODOS

Los electrodos realizan una doble misión, como conductor de la energía eléctrica necesaria para la fusión y como metal de aportación.

Los electrodos desnudos (actualmente prácticamente en desuso) estan formados por un hilo metálico de sección circular de composición química definida. Tiene un gran número de in convenientes tanto desde el punto de vista de funcionamiento del arco, como desde las cualidades físicas del metal aportado.

Los defectos más importantes de los electrodos desnudos son:

- a) Dificultad de cebado y de estabilidad del arco.
- b) La fusión del electrodo favorece la aparición de burbujas y a la formación de compuestos como el óxido y nitruro de hierro que disminuyen la capacidad de deformación de la soldadura.
- c) Pérdida por oxidación de los elementos del acero y por tanto una notable disminución de las propiedades mecánicas del metal fundido.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

## 7.1 FUNCIONES DE LOS REVESTIMIENTOS

El estudio del revestimiento desde el punto de vista de su función eléctrica, es particularmente importante para la puesta a punto de los electrodos que deban funcionar con corriente alterna. En corriente continua, la alta temperatura del cátodo, conserva la ionización del medio en el cual salta el arco y este permanece estable. Por el contrario, para la corriente alterna, el arco se apaga en cada período y en este instante resulta necesario facilitar su reencendido empleando sales con facilidad para desprender vapores ionizantes.

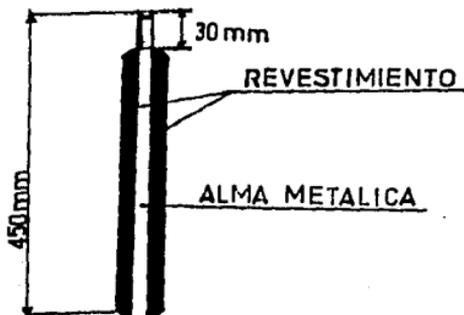


Figura 7.1 Corte de un electrodo revestido

### FUNCION FISICA DEL REVESTIMIENTO

El revestimiento debe facilitar la soldadura en distintas posiciones; vertical, horizontal y en techo, realizar, según su naturaleza un cordón convexo o cóncavo.

En esta función intervienen dos elementos:

- La naturaleza del revestimiento, que determina la viscosidad de la escoria.
- El espesor del revestimiento.

La ejecución de las soldaduras en techo, no puede realizarse a no ser que la gota fundida sea arrastrada por los gases producidos por el revestimiento o por el vapor de agua.

Los electrodos volátiles o semi volátiles son susceptibles de realizar buenas soldaduras en techo, a causa del desprendimiento de hidrógeno o de vapor de agua. Los electrodos básicos son también capaces de depositar metal en todas las posiciones, gracias a la formación de gas carbónico por descomposición térmica de los carbonatos.

La acción mecánica de los gases desprendidos por los revestimientos, para el transporte de la gota fundida, no ofrece ninguna duda, pero esto no es más que un aspecto del problema.

La escoria fundida debe mantener la gota en su sitio; de donde se deduce la función de la tensión capilar de la escoria líquida.

La influencia de la viscosidad de las escorias en soldadura, se hace patente no sólo para la obtención fácil del material aportado en distintas posiciones sino también para la protección total del metal fundido.

Por otro lado, la velocidad de las reacciones y los cambios entre la escoria y el metal se facilitan con una escoria fluida.

Por todas estas razones es necesario buscar como en los revestimientos básicos, escorias poco viscosas, que facilitan la fijación del manganeso o de los elementos especiales en el baño



fundido y también para lograr la desulfuración y la desfosforación de la soldadura.

### **FUNCION METALURGICA DEL REVESTIMIENTO**

Los revestimientos no sólo contienen elementos estabilizadores y elementos formadores de escoria, sino que también tienen elementos reductores y elementos útiles que se fijan en el metal fundido con el fin de aumentar las cualidades mecánicas del material depositado.

La naturaleza de las escorias obtenidas después de la soldadura, depende principalmente de los productos que entran en el recubrimiento.

## 7.2 TIPOS DE REVESTIMIENTOS EN BASE A SU COMPOSICION

a). Electrodos volátiles Están constituidos principalmente por celulosa que da, por descomposición una mezcla de gases reductores, sobre todo hidrógeno, que se descompone en hidrógeno atómico. La función protectora y reductora de este revestimiento está plenamente asegurada por el desprendimiento de hidrógeno, quedando muy poca escoria sólida por encima del metal.

Estos electrodos permiten la soldadura en todas las posiciones dando una cierta penetración gracias a la reacción exotérmica del hidrógeno recombinado. El afinado del metal por la acción del hidrógeno se hace siguiendo la reacción:

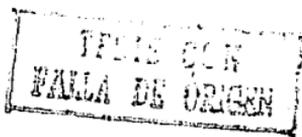


b). Electrodos Ácidos Estos revestimientos están constituidos principalmente por óxidos de hierro, de sílice y, a menudo, de manganeso.

Las escorias dadas por estos revestimientos son vidrios o silicatos cuya composición refleja la del revestimiento, silicatos de hierro o silicatos de hierro y manganeso.

La protección de metal fundido se obtiene mediante una escoria espesa, semiviscosa, que recubre el baño fundido.

La adición del manganeso en forma de ferromanganeso, tiene por objeto, por una parte actuar sobre la fluidez de la escoria y, por otra, fijar este elemento en el metal fundido.



Este es el revestimiento que llevan los electrodos comunes, dando lugar a un arco muy estable, funcionando también, en corriente alterna como en continua, pero a baja tensión de cebado; la tensión de funcionamiento de los electrodos ácidos es del orden de 25 V. y la tensión de cebado de 30 a 40 V.

La protección del metal fundido es mayor cuando más voluminosa sea la escoria es decir, el recubrimiento sea más espeso.

c). Electrodos a base de óxido de Titanio.

Son aquellos que contienen ilmelita (50% de  $TiO_2$ , 50% de  $Fe_2O_3$ ) o Rutilo (95% de  $TiO_2$ ).

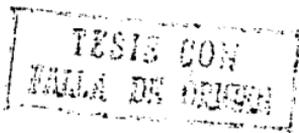
El óxido de titanio interviene primordialmente como elemento de elaboración de la escoria, y también como elemento estabilizador del arco.

Estos electrodos son utilizados en todas las posiciones y dan un cordón plano o ligeramente abombado en soldadura vertical las características mecánicas de estas soldaduras son netamente superiores a los electrodos ácidos; constituyen los buenos electrodos en el comercio.

d) Electrodos básicos.

Sus revestimientos están constituidos principalmente por carbonatos de calcio y magnesio, encerrando además reductores como el manganeso, el silicio y el titanio.

Este tipo de electrodos dan soldadura de alta calidad con muy buenas características de alargamiento y resistencia. Además se produce en el momento de la fusión, una verdadera micrometalurgia



con fijación de los elementos metálicos útiles como el manganeso, níquel, cromo, molibdeno, etc., soldaduras de alta resistencia mecánica.

Los electrodos básicos son más difíciles de emplear, presentando el cordón de soldadura un aspecto más abombado que en el caso de los electrodos ácidos, son utilizados en cualquier posición, estos electrodos son utilizados principalmente en obras de arte.

### 7.3 FUNDENTES

El fundente o los polvos de soldar tienen por objeto disolver las impurezas existentes en la superficie del baño de fusión o que se han formado durante el proceso de soldadura, especialmente los óxidos metálicos, y formar con ellos una escoria fácil de fundir. Estos fundentes son necesarios únicamente para metales que se oxidan fácil e intensamente y en los que la acción reductora de la llama soldante no alcanza por sí sola para reducir los óxidos en la medida suficiente; producen al mismo tiempo la conveniente fluidez del baño de fusión.

Sin el fundente puede soldarse: acero, acero moldeado, oro, platino, plata, plomo y una fundición maleable.

Con fundente se sueldan: hierro colado (fundición maleable), algunos aceros especiales, cobre y todas sus aleaciones, por ejemplo: bronce, latón, níquelita y, además: zinc y níquel y sus aleaciones, todos los metales ligeros, aluminio, magnesio y sus aleaciones.

Subdividiendo los fundentes según su estado de agregación en:

- a). Purulentos (secos)
- b). Pastoso (como papilla)
- c). Líquidos

a). Con fundentes purulentos se sueldan: aceros especiales; hierro colado, cobre y sus aleaciones, metales ligeros fundidos del grupo del magnesio y del aluminio.

b). Con fundentes pastosos se sueldan: cobre y sus aleaciones; níquel y todos los materiales forjados del aluminio y sus aleaciones. La pasta puede obtenerse lista para ser embadurnada o los polvos pueden mezclarse con agua.



c) Con fundentes líquidos se sueldan: aleaciones forjadas de magnesio, zinc y todas sus aleaciones.

De aquí se deduce que los materiales fundidos se elaboran generalmente con fundentes purulentos, mientras que los materiales forjados de los mismos materiales se tratan con fundentes pastosos o líquidos.

## **CAPITULO 8**

### **APLICACION DE LA SOLDADURA DE RECUBRIMIENTO DUROS**

## APLICACION DE SOLDADURA DE RECUBRIMIENTOS DUROS

### 8.1 ELECTRODOS SELECCIONADOS PARA SU APLICACION

#### ELECTRODO A

Dureza 57-62 Rc

Deposito de alto contenido de carburos de cromo

Analisis Quimico Nominal del Deposito

C = 4.0

Cr = 35

Medidas Disponibles

Amperajes Recomendados

4.0 mm ( $5/32$ " x 14")

150 - 180

4.8 mm ( $5/16$ " x 14")

190 - 230

#### ELECTRODO B

Dureza: 57-60 Rc

Deposito de alto contenido de carburos de cromo

Analisis Quimico Nominal de Deposito

C = 3.5%

Cr = 34%

Mo = 0.8%

Medidas Disponibles

Amperaje Recomendados

4.8 mm ( $5/16$ " x 14")

180 - 220

4.0 mm ( $5/32$ " x 14")

145 - 160

3.2 mm ( $1/8$ " x 14")

110 - 130

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

## ELECTRODO C

Dureza 62 RC

Resistencia al calor: 480°C

Deposito de alto contenido de carburos de cromo

Analisis Químico Nominal del Deposito

% C = 3.29

% Cr = 29.6

% Mn = 0.8

% Mo = 0.16

% Si = 0.85

% S = 0.006

Medidas Disponibles

Amperajes Recomendados

3.2 mm (1/8" x 14")

100 - 110

4.0 mm (5/32" x 14")

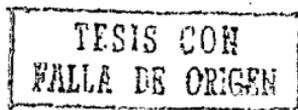
140 - 160

4.8 mm (3/16" x 14")

170 - 230

## 8.2 TRABAJO EXPERIMENTAL

- 1.- Se cortaron placas de solera de  $1/8$  in. de grueso. 2 in. de ancho por diez cm. de largo en las cuales se hicieron cordones.
  - a) En dos placas se hicieron un cordón simple a un amperaje de 130A.
  - b) En una placa se hizo un cordón simple con doble pasada a un amperaje de 130A.
  - c) En tres placas se hicieron dos cordones simples a un amperaje de 130A.
  - d) En cuatro probetas se hicieron dos cordones simples con doble pasada a un amperaje de 130A.
  
- 2.- Se cortaron las probetas en tres secciones en las cuales se cortaron en tres pedazos de aproximadamente 3 a 7 mm. de ancho las cuales fueron introducidas en un acarato cuyo nombre es Mounting press cuyo funcionamiento es el siguiente:
  - a) La pieza se coloca en la sección de montaje del aparato.
  - b) La pieza se cubre con baquelita.
  - c) Se mantiene constante la presión.
  - d) Se calienta la pieza aproximadamente durante 5 a 10 minutos.
  - e) Se saca la pieza terminada del aparato y se obtiene las probetas.
  
- 3.- Se lleva a lijar en tres tipos de lijas de diferente número.
  
- 4.- Se pule en una pulidora fina
  
- 5.- Ya listas las probetas se procedió a hacerles las pruebas de dureza.



### 8.3 PARAMETROS QUE SE CONSIDERARON EN EL DESARROLLO EXPERIMENTAL

Para iniciar el trabajo experimental se consultaron los rangos de amperaje mas apropiados para el depósito de soldadura recomendados por los fabricantes, se hicieron pruebas de aplicación para saber cual amperaje es el mas apropiado y fijar el mismo que resultó ser de 130A.

Se utilizaron para los depósitos tres marcas comerciales de soldadura alto cromo-carbono. El número de placas utilizados por cada marca fueron 10 y los depósitos se realizaron de la siguiente forma: 3 placas con 2 cordones paralelos simples, 4 placas con 2 cordones paralelos dobles, 2 placas con un cordón simple, 1 placa con un cordón doble.

Números de pruebas: Cada placa se seccionó en tres partes y se hicieron 5 pruebas de dureza por cordón resultando lo siguiente:

# placas por marca	# placas totales	# de secciones totales	# pruebas de dureza totales
10	30	90	570

## 8.4 TABULACION DE DATOS Y OBSERVACIONES

### SOLDABILIDAD

#### 1.- ELECTRODOS A

- Se observo que iniciado el contacto del electrodo con la placa, el metal de deposito se fundia en gotas y se dispersaba sobre la placa, lo cual resultaba en un espesor muy delgado del cordón

En algunos casos el metal de deposito penetraba através de la placa formando un cordón del lado contrario de la placa.

La cantidad de escoria que aquedaba sobre el deposito era casi nula quedando solo pequeñas cantidades de escoria en forma de gota a los lados del cordón.

En los cordones traslapados no hubo problema alguno.

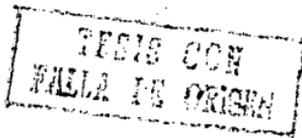
Los cordones resultantes eran de poco espesor y expandidos.

#### 2.- ELECTRODOS B

- Se observo que el fundente formaba una espesa capa espumosa que chisporroteaba intermitentemente lo cual dificultaba el proceso de soldadura al interrumpir el arco voltaico y obstruia la visivilidad del metal de depósito.

El depósito quedaba cubierto por una espesa capa de escoria que una vez retirada, dejaba ver un cordón de forma y espesor uniformes.

El depósito se efectuaba en forma rápida. Una vez mantenido constante el arco voltaico.



El depósito no tubo una penetración excesiva sobre la superficie de la placa de depósito.

En un depósito de cordones traslapados no se observó ningún problema de aplicación.

### 3.- ELECTRODOS C

- Iniciado el contacto del electrodo con la placa, el metal de aporte se fundia en gotas y fluia sobre la placa.

- El chisporroteo causado por su aplicación fue moderado no causando problemas para su manejo.

- La cantidad de escoria que resultaba sobre el cordón fue moderada.

- Los cordones resultantes eran de forma expandida y por lo tanto de poco grosor.

## RESULTADOS EXPERIMENTALES DE DUREZA, EN ESCALA ROCKWELL C

### ELECTRODO A

1.- 1 Cordón simple 130A (No. 42)

1.58 Rc	1.42-62
2.60 Rc	2.59
3.61	3.62
4.52	4.62
5.62	5.63

2.- 1 Cordón traslapado 130A (No. 8)

1=51	1=47	1=59.5
2=61	2=57	2=55
3=62	3=61.5	3=64
4=62	4=63.5	4=65.5
5=61	5=57	5=67.5

3.- 2 Cordones simples 130A (No. 11)

1=59.5	1=60	1=53	1=64	1=55.5	1=66
2=57	2=65.5	2=57.5	2=67.5	2=65	2=68
3=68.5	3=66.5	3=59	3=66	3=68	3=67.5
4=68	4=68	4=58	4=70	4=67	4=68
5=67	5=60	5=62	5=69	5=67	5=70

4.- 2 Cordones Traslados 130A (No. 12)

1=67	1=66.5	1=55.5	1=66	1=60.5	1=65
2=68	2=69	2=65	2=66	2=67	2=67.5
3=71	3=71.5	3=68	3=67	3=68	3=66.5
4=66	4=70	4=68	4=59.5	4=69	4=67
5=71	5=72	5=69.5	5=68.5	5=69	5=69

## ELECTRODO B

### 1.- 1 Cordón traslapado 130A (No. 13)

1=65

2=68

3=68

4=70

5=70

1=64

2=64

3=67

4=65

5=60

1=65

2=65

3=67

4=69

3=67

### 2.- 1 Cordón Simple 130A (No. 15)

1=60

2=64

3=64

4=68

5=69

1=50

2=42

3=40

4=57

5=39

1=55

2=55

3=59

4=62

5=60

3.- 2 Cordones Simples 130A (No. 21)

1. 60	1. 62	1. 53	1. 62	1. 64	1. 58
2. 64	2. 66	2. 65	2. 66	2. 63	2. 65
3. 65	3. 66	3. 66	3. 64	3. 63	3. 63
4. 67	4. 67	4. 67	4. 60	4. 67	4. 62
5. 68	5. 64	5. 68	5. 65	5. 63	5. 68

4.- 2 Cordones Desplazados 130A (No. 3)

1=56	1=62	1=55	1=66	1=68	1=69
2=68	2=66	2=67	2=69	2=65	2=71
3=71	3=68	3=68	3=70	3=70	3=71
4=70	4=66	4=67	4=70	4=67	4=71
5=71	5=70	5=71	5=70	5=72	5=72-

## ELECTRODO C

### 1.- 2 Cordones simples 130A (No. 60)

1=65	1=61	1=65	1=66
2=66	2=59	2=64	2=62
3=66	3=58	3=63	3=64
4=62	4=60	4=65	4=66
5=60	5=60	5=65	5=66

### 2.- 1 Cordón simple 130A (No. 52)

1=62	1=61	1=61
2=61	2=61	2=63
3=61	3=60	3=60.5
4=64	4=63	4=60
5=59	5=60	5=60

3.- 2 Cordones Traslapados 13/A (No. 51)

1=58  
2=59  
3=55  
4=57  
5=54  
6=58  
7=58  
8=58,5

1=58  
2=57  
3=58  
4=58  
5=59  
6=55  
7=50  
8=50

1=50  
2=57  
3=51  
4=50  
5=60  
6=61  
7=65  
8=56

4.- 1 Cordon Traslapado 13/A (No. 53)

1=68  
2=67  
3=67  
4=68  
5=65

1=65  
2=66  
3=65  
4=66  
5=63

1=67  
2=66  
3=65  
4=62  
5=60

## ANALISIS ESTADISTICO

### ELECTRODO A

VALORES DE DUREZA DE:

1 Cordón Simple 130A

58	62	60	53	46
60	59	71	56	40
61	62	56	56	46
52	62	59	59	57
62	63	57	58	57

n=25

K=6

$$\text{Amplitud} = \frac{71 - 40}{6} = 5,16 = 6$$

Verificar

$$6 \times 6 > 31$$

$$36 > 31$$

$$5 \leq 6$$

Clases	Conteo	F <sub>ac</sub>	x <sub>i</sub>	Limites Reales	x <sub>f</sub>	(x <sub>i</sub> - $\bar{x}$ ) <sup>2</sup> · f
40 --- 44	1	1	42	39.5 --- 44.5	42	250.3
45 --- 49	2	2	47	44.5 --- 49.5	47	242.1
50 --- 54	2	2	52	49.5 --- 54.5	104	72.2402
55 --- 59	11	11	57	54.5 --- 59.5	627	11.2211
60 --- 64	8	8	62	59.5 --- 64.5	496	127.3608
65 --- 69	0	0	67	64.5 --- 69.5	0	0
70 --- 74	1	1	72	69.5 --- 74.5	72	195.72
		25			1435	905.2422

Moda = Mayor Frecuencia

$$\text{Moda} = \underline{57}$$

$$\text{Media} = \frac{\sum F_i}{n} = \frac{1435}{25} = \underline{57.4}$$

$$\text{Mediano} = \text{Primero la Localización} = \frac{F_i}{n} = \frac{25}{2} = \underline{12.5}$$

$$\text{Amplitud} = \bar{X}$$

$$\bar{X} = L_{inf} + \left( \frac{\frac{n}{2} - F_{med}}{F_{med}} \right) \Delta X_c$$

$$\bar{X} = 54.5 + \left( \frac{12.5 - 5 \times 6}{11} \right)$$

$$\bar{X} = 54.5 + 4.09 = \underline{58.59} = \underline{58.01}$$

$$\text{Rango} = 74 - 40 = \underline{34}$$

$$\text{Varianza} = S^2 = \frac{(\sum X_i - \bar{X})^2}{n-1} F$$

$$S^2 = \frac{905.2422}{24} = \underline{37.71}$$

$$\text{Desviación Estandar } s = \underline{6.14}$$

Coefficiente de Variación

$$Cv = \frac{s}{\bar{X}} \times 100 = \frac{6.14}{58.05} = \underline{10.58}$$

Coefficiente de Pearson

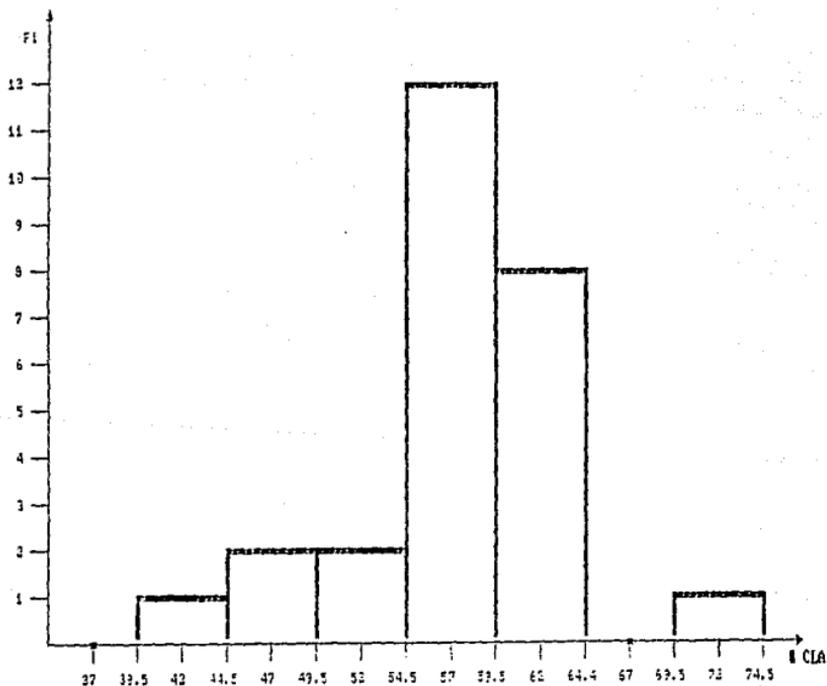
$$Cp = \frac{3(\bar{X} - X)}{s}$$

$$Cp = \frac{3(57.4 - 58.01)}{6.14}$$

$$Cp = \underline{-0.29}$$

GRAFICA FRECUENCIA VS # DE CLASES DE 1 CORDON SIMPLE 130h DEL ELECTRODO B

FRECUENCIA



ANALISIS ESTADISTICO

ELECTRODO A

CALCULOS ESTADISTICOS	A	n	K	Am	R	M	X	$\bar{X}$	S <sup>2</sup>	S	CV	CP
TIPO DE CORDON												
1 CORDON SIMPLE	130	27	6	6	34	57	57.4	56.01	37.71	6.14	10.59	-0.25
2 CORDONES SIMPLES	120	90	9	4	51	68.6	65.27	63.23	33.39	5.77	3.14	-0.43
1 CORDON TRASLAPADO	130	17	5	1.1	25	12.55	39.84	30.28	26.33	5.124	5.53	-0.21
2 CORDONES TRASLAPADOS	130	90	6	3	23	68	66.06	67.57	13.42	4.40	6.32	1.64

ELECTRODO B

CALCULOS ESTADISTICOS	A	n	K	Am	R	M	X	$\bar{X}$	S <sup>2</sup>	S	CV	CP
TIPO DE CORDON												
1 CORDON SIMPLE	120	33	6	7	29	67	61.16	63.23	46.13	6.79	10.31	-0.47
2 CORDONES SIMPLES	120	90	6	4	31	66.6	63.23	64.5	37.31	6.1533	3.54	-0.569
1 CORDON TRASLAPADO	130	17	5	1	11	64.8	55.36	66	7.33	2.79	4.23	0.2570
2 CORDONES TRASLAPADOS	120	110	5	2	20	69	67.55	68.201	16.735	4.08	3.296	-0.477

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

## ANÁLISIS ESTADÍSTICO

## ELECTRODO C

CÁLCULOS ESTADÍSTICOS	n	n	K	Am	R	M	X	$\bar{X}$	S <sup>2</sup>	S	CV	CP
TIPO DE CORDÓN												
1 CORDÓN SIMPLE	130	33	6	2	11	67,5	64.63	64.75	10.71	3.2733	5.72	-0.097
2 CORDONES SIMPLES	130	30	8	3	20	66	62.43	62.78	16.73	4.09	6.91	-0.2425
1 CORDÓN TRASLAPADO	130	15	5	2	9	66.5	65.43	65.7	5.7142	2.3904	1.63	-0.333
2 CORDONES TRASLAPADOS	130	31	9	3	23	66	63.51	65.50	33.99	5.82	3.92	-0.92

## NOMENCLATURA.

A= Arreglo

n= Número de datos

K= Número de clase

Am=Amplitud

R= Rango

M= Moda

X= Media

X= Mediana

S<sup>2</sup>=Varianza

S= Desviación estándar

CV=Coefficiente de variación

CP=Coefficiente de Pearson

RESULTADOS ESTADISTICOS DE DUREZA ESCALA ROCKWELL C

ELECTRODO	(DESVIACION ESTANDAR)	CV (COEF. DE VARI)	DUREZA ROCKWELL C FABRICANTE
A			62
1 Cordon Simple	0.1	100%	
1 Cordon Doble	0.1	100%	
1 Cordones Simples	0.1	100%	
1 Cordones Dobles	0.1	100%	
B			57-62
1 Cordon Simple	0.1	100%	
1 Cordon Doble	0.1	100%	
1 Cordones Simples	0.1	100%	
1 Cordones Dobles	0.1	100%	
C			57-60
1 Cordon Simple	0.1	100%	
1 Cordon Doble	0.1	100%	
1 Cordones Simples	0.1	100%	
1 Cordones Dobles	0.1	100%	

Se puede observar que la dureza de los 3 tipos de electrodos utilizados no es congruente con la reportada por los fabricante generalmente se obtuvieron valores mas altos.

Los cordones hechos en cada placa no se epilaron constantemente uniformes esto es debido a la dificultad de aplicación del cordón en la placa, por eso se tienen valores de desviación standar tan notorios.

Teniendo la desviación standar mas baja de los 3 electrodos, el electrodo A. Por lo tanto tiene sus propiedades mas uniformes que los otros deos electrodos empleados, lo cual se puede decir que tiene una mejor calidad.

## CONCLUSIONES

## CONCLUSIONES

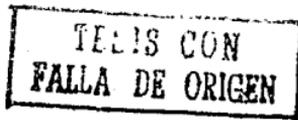
A lo largo del presente trabajo se han desarrollado las bases teóricas y experimentales en el estudio de los recubrimientos duros alto cromo-carbono, esto será de utilidad práctica y teórica para los Ings. Químicos que se desarrollan en el área de mantenimiento y conservación de equipos sujetos al proceso de abrasión por la naturaleza de sus usos consiguiendo en muchas ocasiones recuperar piezas o reconstruirlas logrando así importantes ahorros.

Así mismo resulta de gran ayuda saber manejar correctamente las normas empleadas en la fabricación, clasificación y uso de los electrodos para asegurar una mejor calidad en los trabajos a realizar.

Es de utilidad práctica para el Ing. Químico saber los tipos de desgaste que se presentan en la industria como son: Abrasión, impacto, corrosión, fricción, para saber el tipo de electrodo que se va a utilizar en la recuperación del equipo.

La única prueba que efectuamos en los depósitos hechos fue la dureza, que esta ligada directamente con la resistencia a la abrasión pero sólo nos ofrece un resultado parcial en la determinación de cual marca de electrodo utilizado en la experimentación es mejor.

En este trabajo no se intentó cubrir exhaustivamente todas las pruebas necesarias para conocer cual electrodo de los utilizados destaca en calidad y mejores características, más bien es una base teórica y práctica para el subsiguiente desarrollo de trabajos dada la extensa amplitud del tema y el gran número de pruebas requeridas que consumen mucho tiempo, pruebas tales como: de abrasión, ataques con agentes químicos, metalografía, y resistencia a la tensión, etc.



Los electrodos empleados tienen una dureza mayor que la reportada por los fabricantes lo cual ocasiona que tenga una buena resistencia a la abrasión, al desgaste pero ocasiona también que tenga una mayor probabilidad de fracturarse, esto se observa cuando cuando se tienen dos o mas cordones traslapados, hay más probabilidad de fractura.

Se agradece por su colaboración a los fabricantes: AGA, Eutetic - Castolin e Infra, por su gran ayuda al facilitar los electrodos para poder realizar esta Tesis.

## BIBLIOGRAFIA

## BIBLIOGRAFIA

- 1.- Introducción a la soldabilidad en Ing. Química  
Jose Manuel Ortiz Ortiz.
- 2.- W. Forchurst, Chromium-Molybdenum white cast irons for abrasive applications.
- 3.- Howars S. Avery Hard Facing Alloy
- 4.- Welding Handbook, American Welding Society, Fifth edition, section, 3 1965.
- 5.- American Welding Society tentative specification for surfacing welding rods and electrodes, ASTM designation: A399-56T AWS designation A5.13-30
- 6.- Claudio Bertoli, Modernos materiales resistentes al desgaste.
- 7.- W. J. Patten. Ciencia y técnica de soldadura. Editorial URMO España 1975.
- 8.- Eutetic - Castolin. Manual de procesos y sistemas. México 1984.
- 9.- A.W.S. Welding Handbook U.S.A. 1975.
- 10.- Jones E. Et. Al. Selecting arc Welding Process Part-1 Chemical Engineering. Vol. 93 No. 5 March 3 1986.
- 11.- Howard B. Carg. Modern Welding Technology. Pientice Hall inc. U.S.A. 1979
- 12.- Metals Handbook, Vol. 6. Welding, brazing and Soldering. ASME U.S.A. 1978.

- 13.- Horwitz H. Soldadura Aplicaciones y Practica, Representaciones y Servicios de Ingenieria S.A. México 1984.
- 14.- Messer Griesheim. Guia de electrodos. México 1985.
- 15.- AGA. Guia de Electroodos y Aplicaciones especiales. México 1984.
- 16.- Infra Manual Técnico. Soldaduras Aleaciones para mantenimiento. México 1992.
- 17.- Flinn, A. Richard. Et. al. Materiales de Ingenieria y sus Aplicaciones, Edit. Mc. GrawHill, 1979.
- 18.- Avner, S:Hi Introducción a la Metalurgia Fisica, 2<sup>a</sup> Edición Edit. Mc. GrawHill México 1981.