

24/22

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE QUIMICA

ANALISIS METALOGRAFICO DE SOLDADURAS DURAS

TESIS

*MARCO MUNDO.*

Que para obtener el título de:

INGENIERO QUIMICO METALURGICO

Presentan

Alberto Rico Arellano.

Juán Soconini Hernández.



1981.



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 esta 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.

# TESIS CON FALLA DE ORIGEN

## I N D I C E

- Introducción.
- I. Datos Históricos de las Soldaduras.
  - II. Generalidades de Electricidad.
  - III. Nociones de Máquinas Eléctricas en Soldadura.
  - IV. Generalidades de las Soldaduras.
  - V. Conocimientos Básicos de Metalurgia en Soldadura.
  - VI. Preparación de Muestras para Metalografías de Soldaduras Duras.
  - VII. Electrodo Alta Resistencia a la Abrasión, Fricción e Impacto.
  - VIII. Aplicaciones.
  - IX. Conclusiones.
- Bibliografía.

## INTRODUCCION

En el presente trabajo se realiza, sí, una pequeña investigación sobre las estructuras metalográficas de soldaduras duras. Pero este trabajo no sería comprensible el menos - en algunas de sus partes si no tomáramos en cuenta como base - para el presente estudio la historia de las soldaduras. Como también el estudio de los procesos para las aplicaciones de -- éstas, y por último tomando en cuenta la importancia que desempeñan las fases que presenta la aleación Hierro-Carbono, como conocimientos básicos de la metalurgia en soldadura.

Visto esto se analizan las soldaduras para recubrimientos duros tomando en cuenta sus características en función a su microestructura y en función de éstas, sus propiedades -- físicas que tienen una amplia aplicación en la industria en -- general.

## **CAPITULO I**

## BOSQUEJO HISTORICO DE LAS SOLDADURAS

El proceso más antiguo de soldadura es el de forjado, que consiste en calentar en una fragua los metales a soldar y colocándolos uno encima del otro, siendo necesaria la aplicación de un fundente llamado estíncar cuya función es limpiar químicamente las superficies de contacto. La presión requerida para soldar se proporciona colocando las piezas sobre un yunque donde se golpean hasta que quedan unidas, después se dejan enfriar lentamente. Esta soldadura no ofrece garantías por no asegurarse una penetración completa y es muy costosa por la cantidad de trabajo realizado y el tiempo que se tarda en calentar los metales, por estas razones sólo se utilizó mientras se desarrollaban los nuevos métodos. Actualmente la soldadura de forja, sólo se usa para trabajos de artesanía.

En el año de 1787 se efectuaron las primeras soldaduras por presión, que consistían únicamente en unir piezas de poco espesor sin calentarlas; esta unión se lograba al aplicar una fuerte presión en piezas delgadas, limpias y colgades e traslape. Este método desde su aparición encontró poca aplicación, utilizándose únicamente para casos muy particulares. En la actualidad sólo se usa para soldar placas de aluminio o aleaciones de cobre, por ejemplo: Para la unión de bobinas de motores eléctricos.

Los principios fundamentales que dieron origen a los métodos actuales de soldadura tuvieron su aparición en el año 1881, cuando se logró establecer por primera vez un arco-

eléctrico entre electrodos de carbón con el propósito de soldar bornes de plomo de baterías de acumuladores.

En el año de 1885 se logró una gran aportación a -- las soldaduras en su desarrollo debido al método empleado por los alemanes: N. Bernardos y S. Ozczewky, quienes utilizaron el arco de carbón para la fusión local de aceros.

En el año de 1887 empieza a desarrollarse el corte del acero, mediante chorros de oxígeno utilizado como material oxidante, siendo el que proporciona la energía calorífica y el combustible necesario para el corte.

En el año de 1891 se logró la primera soldadura de -- dos placas mediante un alambre de acero desnudo a través del cual se establecía el arco eléctrico.

En el año de 1894 se logró la primera aplicación -- industrial, utilizando la llama de oxi-hidrógeno. Ya en 1837 se había descubierto este flama pero no se había usado en soldadura, por lo tanto puede decirse que primero se descubrió -- la soldadura de arco, aunque la soldadura de llama se desarrolló más en esa década, 1890, y fue la primera en aportar resultados prácticos.

En el año de 1901 se construye el primer soplete -- industrial oxi-acetilénico. En 1904 se construye el soplete de cobre para uso con oxi-acetileno.

Para el desarrollo completo de la soldadura y corte con soplete oxi-acetilénico fue de vital importancia el desarrollo que tuvo la fabricación industrial de oxígeno y acetileno. Ello obligó a que los procesos de fabricación de los gases tuvieran un desarrollo paralelo a los descubrimientos y fabricación de los sopletes para soldadura y corte.

En el año de 1908 se da uno de los principales pasos para el desarrollo de la soldadura de arco eléctrico. El cual consistió en agregar un revestimiento a los electrodos metálicos usados para soldar. Ese descubrimiento fue realizado por el sueco O. Kjellberg.

En el año de 1931 se fabricaron las primeras máquinas para soldar por medio de resistencia eléctrica, dando lugar a un proceso muy versátil por su fácil adaptación a las necesidades requeridas y su rápida aplicación.

En el año de 1924 se descubre que la alta frecuencia ayuda a estabilizar el arco eléctrico sin necesidad de establecer contacto entre electrodos. Este descubrimiento tiene aplicación primordial en el proceso TIG. (Electrodo de Tungsteno con Gas Inerte), en el cual el electrodo de tungsteno nunca debe tocar el metal base.

En el mismo año de 1924 se descubre la soldadura con hidrógeno atómico, la cual consiste en establecer el arco eléctrico entre dos electrodos de carbón y hacer pasar hidrógeno a través del arco, de tal manera que se transforme en hidrógeno atómico, con lo que se obtiene un aumento de temperatura en la zona del arco. Este proceso se perfeccionó y actualmente se emplea para soldadura de cobre y sus aleaciones.

En el año de 1934 el electrodo revestido alcanza una variedad de aplicaciones industriales casi generales, por las composiciones químicas de los revestimientos que fueron ampliamente desarrollados en este año.

En el año de 1935 se empiezan a utilizar gases inertes para proteger el arco eléctrico. El primer gas utilizado fue el hidrógeno y más tarde el argón.

En el año de 1936 se construye la primera máquina -- para soldar automáticamente, con electrodos de flujo continuo, esto fue en los Estados Unidos. Este método es el que se está imponiendo actualmente y durante su desarrollo se alcanzado --- gran variedad de formas, las cuales dependen principalmente -- del diámetro del electrodo o del tipo de medio de protección -- de la zona de fusión y de arco eléctrico. Con este método son posibles combinaciones con electrodos cuyo diámetro varía desde micro-alambres hasta electrodos de cinco centímetros de diámetro; los medios de protección pueden ser fundente en polvo o en pasta en el interior del electrodo hueco o gases inertes -- fluyendo alrededor del electrodo.

En el año de 1938 las soldaduras por resistencia -- eléctrica se desarrolló notablemente al introducir a su funcionamiento controles electrónicos que daban una mayor precisión, tanto en temperatura como en dimensiones de la zona soldada, -- alcanzándose grandes velocidades de soldado. Los primeros fabricantes de este tipo de máquinas fueron: General Electric y -- Westinghouse.

Desde que fue descubierta la soldadura por arco --  
eléctrico y el empleo de revestimientos para dar mayor aplica-  
ción a los electrodos, el método de arco eléctrico manual es -  
el que mayor aplicación ha tenido, manteniéndose siempre en --  
primer lugar por su mayor volumen de uso en comparación con --  
los otros métodos.

## **CAPITULO II**

## GENERALIDADES SOBRE ELECTRICIDAD

Los estados eléctricos son dos, uno de electricidad positiva (+) y otro de electricidad negativa (-). Por tanto la corriente eléctrica la definimos como el flujo de electrones a través de un conductor.

Esta corriente puede ser producida por vía química, mediante electrolitos. Por vía electromecánica, transformando la energía hidráulica y térmica en energía eléctrica.

Para el uso de la corriente eléctrica usamos materiales aislantes y conductores. Los materiales aislantes no permiten el paso de la corriente eléctrica y se usan como dieléctricos, dentro de estos tenemos: Madera, vidrio, mármol, porcelana, micas, aceites, resinas, etc. Los conductores permiten el paso de la corriente eléctrica como son: Los metales, carbón y las soluciones salinas y ácidas.

El magnetismo y la electricidad son dos fenómenos complementarios, por tanto, donde existe un fenómeno eléctrico hay un magnético y viceversa, así que, un material magnético es aquél que forma un campo con propiedades de atracción hacia dicho campo.

Para una mejor comprensión los materiales los dividimos en magnéticos, paramagnéticos y diamagnéticos.

**Materiales Magnéticos.-** Son aquellos que forman o su alrededor un campo de atracción, como la magnetita ( $Fe_3O_4$ ), que es un compuesto natural, y los imanes artificiales que son como el carbono.

**Materiales Paramagnéticos.-** Son todos aquellos que los atrae un campo magnético, entre estos están el hierro, níquel y cobalto.

**Materiales Diamagnéticos.-** Son los materiales que no son atraídos por un campo magnético, ejemplo: Cobre, Plomo y Bismuto.

El magnetismo lo pueden poseer principalmente el hierro, el acero y la fundición. El hierro pierde su estado magnético cuando cesa la causa que lo originó, en cambio el acero lo conserva durante cierto tiempo, dando esto lugar a imanes permanentes. Todo imán presenta dos polos opuestos, norte y sur; positivo y negativo, respectivamente, y entre estos polos siempre hay un flujo magnético representado por líneas de fuerza que están dirigidas entre sí de norte a sur.

Si entre los polos de un imán, o sea en su campo magnético, colocamos un conductor de cobre y lo movemos de manera que corte perpendicularmente las líneas del campo o líneas de fuerza, se generará en él una fuerza electromotriz inducida y en su extremo se tendrá una diferencia de potencial a la intensidad del campo magnético y a la velocidad con que se mueva. Uniendo los extremos del conductor con un alambre se forma un circuito eléctrico.

En este fenómeno se basan los generadores de corriente alterna y continua, así como los alternadores de corriente, y --  
dinamos.

**Circuito Eléctrico.**— Un circuito eléctrico es el recorrido - cerrado de la corriente eléctrica, la cual después de haber - pasado por conductores y aparatos utilizados retorne cerrando el circuito, o retornando a la máquina que lo ha producido. - El circuito puede comprender un generador unido con un aparato eléctrico cualquiera, mediante conductores o alambres que formen la línea, para aclarar lo que sucede en un circuito -- eléctrico lo compararemos con un circuito hidráulico, que podemos imaginar formado por una bomba que impulse líquido por una tubería, el cual después de atravesar una turbina regresa a la bomba. El agua es impulsada por el tubo con cierta presión, mientras que la cantidad de agua que cruza la sección - en un minuto es el gasto, en este ejemplo hidráulico existen también las resistencias de fricción, que atenúan el efecto - de la presión. Hay en esencia tres factores que influyen en el ciclo de transformación de energía en trabajo mecánico: -- Presión, Gasto y Resistencia.

En un circuito eléctrico sucede lo mismo, en lugar de la bomba tenemos el "generador" de electricidad que crea - una corriente con cierto potencial o voltaje (V). (Similar a la presión de agua). Con una intensidad de corriente en amperio (A). (Gasto hidráulico). Y finalmente la corriente eléctrica al atravesar los conductores halla una resistencia (R), que se mide en ohms (Similar a la resistencia hidráulica).

El circuito eléctrico es cerrado cuando la corriente que lo recorre no esté interrumpida Fig. (1). La lámpara, por tanto, está encendida y el amperímetro indica la intensidad de corriente, o puede estar abierto, cuando se halla interrumpida en algún punto y la corriente no puede circular. ---

FIG. 1

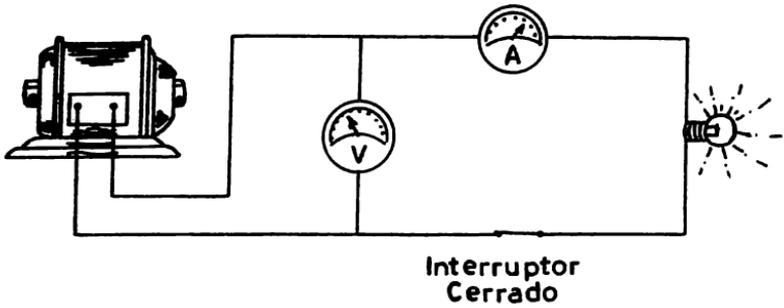


FIG. 2

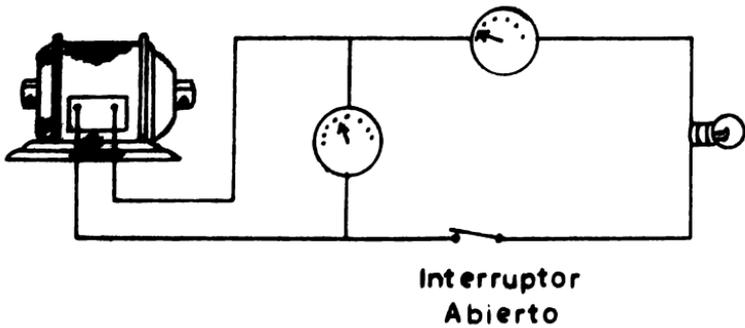


Fig. (2). En este caso la bombilla está apagada el voltímetro indica la tensión de la línea, pero el amperímetro no -- señale el paso de la corriente eléctrica. El cierre y la -- apertura se lleva a cabo por interruptores. Si por una avería, o alguna otra cause, entran en contacto los conductores de ida y vuelta, la corriente en lugar de atravesar las re-- sistencias de los aparatos utilizados volverá al generador - realizando un recorrido más breve y provocando un corto circuito. La consecuencia será un fuerte calentamiento de los conductores, con peligro de graves daños en la maquinaria, - instalaciones o provocar incendios. Para evitar esto se uti lizan los fusibles.

**Circuito Eléctrico Derivado.-** Es cuando de una línea eléc-- trica hacemos salir conductores conectados con cualquier apa-- rato eléctrico y lámparas de iluminación. En este caso una vez cerrado nuestro interruptor, o cerrado el circuito, por el pasará la corriente eléctrica de modo que las lámparas o el aparato eléctrico recibirán el flujo, la Fig. (3) nos --- muestra un circuito para soldadura eléctrica.

**Potencial Eléctrico.-** Para comprender mejor nuestro poten-- cial eléctrico nos servirá de ejemplo el sistema hidráulico.

Poniendo en un recipiente determinada cantidad de agua, este alcanzará cierto nivel que aumentará si al agua - ya existente se le añade más. Esto sucede en los cuerpos -- cargados de electricidad, o sea, que aumentando en ellos la carga eléctrica, aumentará también el nivel eléctrico. Este

nivel se llama también potencial eléctrico. Se mide en volts (V). Es decir la diferencia de potencial que hace circular - una corriente de un amperio a través de un conductor de resistencia de un ohm.

Cantidad de Electricidad.- Es la cantidad de electricidad -- que pasa en un segundo con una intensidad de un amperio y a - esta cantidad de amperios-segundo se le denomina Coulomb (Q). Al cociente de Coulomb/tiempo nos da los amperios (A).

Unidad de Corrientes.- Es el amperio y es la cantidad de corriente eléctrica que al pasar por una solución acuosa de nitrato de plata ( $\text{AgNO}_3$ ) o de sulfato de cobre ( $\text{CuSO}_4$ ), deposita en el polo positivo 1.1248 mg de plata (Ag) o bien 0.6615 mg de cobre (Cu) por segundo.

Resistencia eléctrica.- Todos los materiales ofrecen cierta resistencia (R), al paso de la corriente eléctrica, que se -- llama resistencia eléctrica del cuerpo. La resistencia de un conductor es directamente proporcional a su longitud (L) en - metros y a un coeficiente ( $\rho$ ) que varía de acuerdo con la naturaleza del material conductor, además es inversamente proporcional a la sección (S) en  $\text{mm}^2$  del conductor del que se -- trate.

$$R = (\rho) \left( \frac{L}{S} \right) \quad R = (\Omega \times \text{cm}) \left( \frac{\text{CGU}}{\text{cm}^2} \right) \quad R = \text{ohm.}$$

La unidad de la resistencia es el ohm, o sea la resistencia - que ofrece una columna de mercurio de un  $\text{mm}^2$  de sección y de 1.063 m de longitud al paso de la corriente eléctrica a la -- temperatura de cero grados centígrados.

FIG. 3

Linea

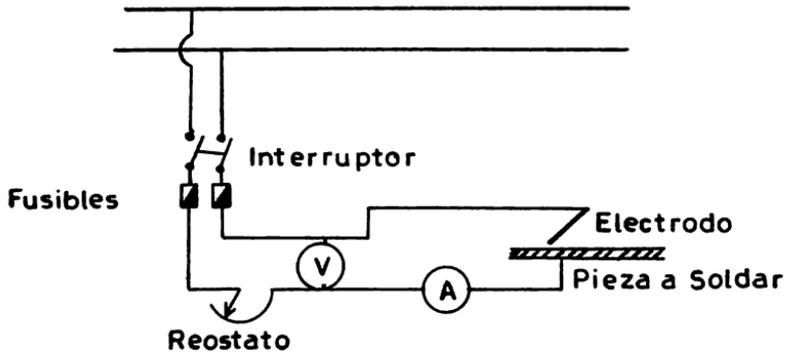
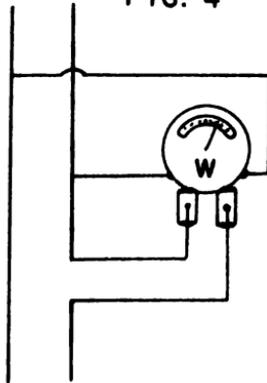


FIG. 4



La cantidad de calor que se desarrolla en los conductores al paso de la corriente al cabo de un tiempo está dada por la siguiente ecuación:

$$Q = (0.239)(I^2)(R)(t) \quad Q = \text{Calorías.}$$

Ley de Ohm.- La tensión en volts, entre los extremos de una resistencia, es igual al producto de la corriente por la resistencia.

$V = (R)(I)$  de esta ley deducimos que la intensidad es:  $I = (\frac{V}{R})$  y  $R = (\frac{V}{I})$ .

El amperé-hora.- Es la cantidad de electricidad transmitida por la corriente de un amper por hora.

La unidad de potencia es el watt y está dado por el producto de los volts por los amper.

$$P = (V)(I).$$

Su medición de los watt y los kilowatts se lleva a cabo con vatímetros que se conectan en el circuito como lo muestra la Fig. (4).

El trabajo de una corriente eléctrica es el producto de la potencia por el tiempo.

$T = (P)(t)$  y la unidad de trabajo es el watt-seg y más comúnmente kilowatt-hora.

## EJEMPLOS ILUSTRATIVOS

Una línea eléctrica tiene una resistencia de 2 -- ohms, y circula por ella una corriente de una intensidad de 140 amper. ¿Cuál es el voltaje que circula?

DATOS	FORMULA	SUSTITUCION
R = 2 ohms	$V = (R)(I)$	$V = (2 \text{ ohm})(140 \text{ amp})$
I = 140 amperes		$V = 280 \text{ volts}$
V = ?		

El voltaje de una línea eléctrica es de 110 volts y tiene una resistencia de 2.5 ohms. ¿Cuál es la intensidad de la corriente?

DATOS	FORMULA	SUSTITUCION
V = 110 volts	$V = (R)(I)$	$I = \frac{110 \text{ volts}}{2.5 \text{ ohm}}$
R = 2.5 amperes	$I = \frac{V}{R}$	$I = 44 \text{ amperes}$

Un electrodo de un diámetro de 5 mm consume 250 -- amper de una línea eléctrica de 220 volts. ¿Qué resistencia tiene el electrodo?

DATOS	FORMULA	SUSTITUCION
D = 5 mm	$V = (R)(I)$	$R = \frac{220 \text{ volts}}{250 \text{ amperes}}$
I = 250 amperes	$R = \frac{V}{I}$	$R = 0.88 \text{ ohms}$
V = 220 volts		
R = ?		

De una línea eléctrica de corriente continua de ---  
110 volts, un equipo de soldar absorbe 50 amper. ¿Cuál es la  
potencia absorbida en watts?

DATOS	FORMULA	SUSTITUCION
V = 110 volts	$P = (V)(I)$	$P = (110 \text{ ohm-amp})(50 \text{ amp})$
I = 50 amp		$P = 5500 \text{ watts}$
P = ?		

Determinar la energía consumida en 2 hrs 20 minutos  
por el funcionamiento de un generador para soldadura de arco,  
cuyo motor necesita una potencia de 15 Kw.

DATOS	FORMULA	SUSTITUCION
t = 2 hrs 20 min	$T = (P)(t)$	$T = (15 \text{ Kw})(140 \text{ min})$
P = 15 Kw		$T = 2100 \text{ Kw-min}$
E = ?		$T = 35 \text{ Kw-hrs}$

### **CAPITULO III**

## NOCIONES DE MAQUINAS ELECTRICAS EN SOLDADURA

Sabiendo que la elevada cantidad de calor necesario para el proceso de soldar, debe obtenerse rápidamente y limitarse, de ser posible, en la pieza a soldar, las máquinas para soldar eléctricamente deben reunir dos importantes condiciones.

I Es necesario trabajar con corriente de alta intensidad -- hasta de 8000 amperios. A consecuencia de la pequeña resistencia en el lugar de la soldadura o de la pequeña caída de tensión en el arco de soldar, basta en todo caso una pequeña tensión de 1 a 75 volts cuyo valor depende de las resistencias intercaladas en el circuito de la máquina y de la intensidad de corrientes que se necesite.

II Se debe tener presente que la resistencia en los conductores ha de ser pequeña. En estos lugares cada resistencia es perjudicial y produce pérdidas de energía eléctrica, ya que las cantidades de calor desarrolladas fuera del lugar de la soldadura y en los conductores de la corriente no pueden tomar parte en el aumento de la temperatura en lugar de la soldadura. Por estos motivos la conducción de la corriente a la máquina ha de ser efectuada con un metal buen conductor y sección suficientemente grande, para conducir las altas intensidades que son necesarias en los procesos de soldar, la resistencia más pequeña puede ser de gran importancia en los consumos de la corriente.

## FUENTES DE ENERGIA ELECTRICA PARA SOLDAR

Cuando la corriente eléctrica circule en los conductores, siempre en un solo sentido, de un polo hacia otro, se denomina corriente continua. Si por el contrario, la corriente circula de un máximo, que es el valor positivo de su intensidad, y desciende hasta llegar a cero y continúa hasta un valor máximo negativo se denomina corriente alterna. Este cambio de posición o dirección se produce 120 veces por segundo. El tiempo comprendido entre los cambios de dirección positiva a negativa es lo que se conoce en corriente alterna con el nombre de "período". Así pues, se dice que la corriente tiene 60 períodos cuando hay 120 cambios consecutivos por segundo. O, también 60 ciclos por segundo que es la frecuencia.

En las corrientes alternas hay que distinguir entre corrientes monofásicas y trifásicas.

La corriente alterna, especialmente la trifásica, es más adecuada para el transporte de la energía eléctrica a largas distancias, ya que con el auxilio de los transformadores, pueden conseguirse altas voltajes y se puede conducir a grandes distancias empleando conductores de sección pequeña. Estas altas tensiones a largas distancias son luego transformadas nuevamente en tensiones normales de 110, 220, etc. -- (Cuando son corrientes continuas, las tensiones son de 100, 220, máxime 440 volts). Estas tensiones no son apropiadas para nuestras instalaciones de soldar, ya que la soldadura por medio de arco necesita de 15 a 65 volts y de 10 a 3000 amperes.

Por este motivo, sólo se suelda con corriente continua en casos especiales empleando en la línea generalmente rectificadores especiales o transformadores.

## TRANSFORMADORES

Son aparatos relativamente sencillos. La corriente alterna de alta tensión es conducida a través de una cantidad de espiras de un material conductor, o sea, una bobina primaria alrededor de un núcleo de hierro cerrado, compuesto de varias láminas. La corriente de alta tensión, que fluye en la bobina primaria, produce en el núcleo de hierro un flujo de líneas de fuerza de dirección e intensidades variables que corresponden a cada cambio en la tensión y la intensidad que da la corriente que pasa por la bobina primaria. Si se provee también al núcleo de hierro situado enfrente de una cantidad de espiras de alambre de manera que se produzca en este núcleo una segunda bobina (Bobina secundaria), se inducirá en ésta una corriente alterna secundaria la cual circulará por la línea de conducción de la bobina secundaria.

El cambio de corriente, o transformación deseada, entre la relación de la intensidad y tensión de la corriente, se obtiene dando a la bobina un número determinado de vueltas. Ejemplo: Si en el circuito secundario se necesita una tensión más elevada que en el primario, se da a la bobina -- secundaria un mayor número de vueltas que en el primario y, recíprocamente, recibe un menor número de vueltas si la tensión es menor. La variación de la tensión implica de por sí una variación de la intensidad, correspondiendo la mayor intensidad al menor voltaje y viceversa, ya que el producto de intensidad por voltaje ha de ser el mismo en ambos lados. -- (Idealsments.)

Ejemplo: En un transformador tenemos en la bobina primaria una tensión de 500 volts y una intensidad de 8 amp. Si deseamos obtener en la bobina secundaria una tensión de - 220 volts. ¿Qué amperaje habrá en esta bobina?

DATOS	FORMULA	SUSTITUCION
V = 500 volts	$P = (V)(I)$	$P = (500 V)(8 A)$
I = 8 amp		$P = 4000 \text{ watts}$
V = 220 volts	$I = \frac{P}{V}$	$I = \frac{4000}{220} \text{ watts}$ 220 volts
P = ?		
I = ?		$I = 18.2 \text{ amp}$

En un transformador la relación que existe entre el voltaje primario y el secundario se llama: "Relación de transformación".

La gran diferencia que existe entre la poca tensión necesaria en el circuito secundario y la alta tensión en el circuito primario o, en otras palabras, la gran relación de transformación, muchas veces requiere transformadores de soldar cuya bobina secundaria 'esté constituida por - una sola espira. Esto, desde luego, se refiere solamente a las máquinas de soldar por resistencia, ya que estas sólo - requieren unos 10 volts, máximo. Para la soldadura de arco se emplean hasta de 80 volts y, naturalmente, necesitan mayor número de espiras.

En un circuito de esta clase, la corriente que -- circula por una bobina provoca en los hilos vecinos de la - misma bobina un contra-efecto contra la corriente que la -- sigue. Este contra-efecto se denomina autoinducción. En -

los circuitos de corriente alterna no es, por consiguiente, La Potencia Aparente -  $(V)(I)$ . Esta es solamente la potencia aparente medida en Volts-Amper. La Potencia efectiva es:  $P. ef. = (V)(I)(\cos Q)$  (P).

El valor del coseno de  $Q$  se denomina factor de potencia.  $\cos. Q = \frac{Pot. Ef.}{Pot. Apar.}$

Para usos de fuerza electromotriz, el valor del coseno de  $Q$  oscila entre 0.85 y 0.2 como máximo puede alcanzar el valor de 1.0, en cuyo caso indica que la red de corriente trabaja libre de inducción. La pérdida entre potencia efectiva y aparente, se denomina potencia reactiva y se calcula según la fórmula:

$$Pot React. = \sqrt{(P. Ap.)^2 - (P. Ef.)^2}$$

Las máquinas de corriente alterna y sus conductores han de poder absorber la potencia aparente, su potencia se dará en KwA.

Se llega a los mismos resultados si se dice que, a causa de la autoinducción, la oscilación de la tensión y la intensidad no se verifican simultáneamente, no oscilan en la misma fase. Entonces el producto de la tensión y la intensidad no será el valor total  $(V)(I)$  sino un valor menor  $= (V)(I)(\cos Q)$ . El valor del coseno de  $Q$  representará aquí el coseno del desplazamiento de fase entre tensión e intensidad. Esta condición desempeña en todas las máquinas de soldar un papel de gran importancia.

los circuitos de corriente alterna no es, por consiguiente, La Potencia Aparente -  $(V)(I)$ . Este es solamente la potencia aparente medida en Volts-Amper. La Potencia efectiva - es:  $P. ef. = (V)(I)(\text{Cos } \phi) (P)$ .

El valor del coseno de  $\phi$  se denomina factor de -- potencia.  $\text{Cos. } \phi = \frac{\text{Pot. Ef.}}{\text{Pot. Apar.}}$

Para usos de fuerza electromotriz, el valor del - coseno de  $\phi$  oscila entre 0.85 y 0.2 como máximo puede alcanzar el valor de 1.0, en cuyo caso indica que la red de corriente trabaja libre de inducción. La pérdida entre potencia efectiva y aparente, se denomina potencia reactiva y se calcula según la fórmula:

$$\text{Pot React.} = \sqrt{(P. \text{Ap.})^2 - (P. \text{Ef.})^2}$$

Las máquinas de corriente alterna y sus conducciones han de poder absorber la potencia aparente, su potencia se dará en KwA.

Se llega a los mismos resultados si se dice que, a causa de la autoinducción, la oscilación de la tensión y la intensidad no se verifican simultáneamente, no oscilan - en la misma fase. Entonces el producto de la tensión y la intensidad no será el valor total  $(V)(I)$  sino un valor menor -  $= (V)(I)(\text{Cos } \phi)$ . El valor del coseno de  $\phi$  representará aquí el coseno del desplazamiento de fase entre tensión e intensidad. Esta condición desempeña en todas las máquinas de soldar un papel de gran importancia.

La potencia en la corriente trifásica es:  $P = (V)(I)(\sqrt{3})(\text{Cos. } Q)$  en cuya fórmula el valor  $\sqrt{3}$  depende de la conexión trifásica.

El factor de potencia en cada máquina incluso en las de soldadura, es siempre:

$$N = \frac{\text{Potencia útil de la máquina}}{\text{Potencia generada}}$$

El valor "N" será siempre menor a uno y puede llegar en casos a alcanzar 0.95 o 95%. No obstante, en muchas máquinas, sobre todo en las de soldar, este valor es mucho más pequeño.

## DINAMOS

Llamados también generadores de corriente. La -- generación de corriente fuerte se fundamenta exclusivamente en la inducción electromagnética. Si arrollamos alrededor de un núcleo de hierro determinada cantidad de espiras de -- un alambre conductor y se manda una corriente continua e -- través de éste, el núcleo se transforma en un electroimán y envía al exterior una serie de líneas de fuerza magnética. Moviendo un conductor en este campo se engendra una tensión eléctrica en el conductor, al cortar las líneas de fuerza -- magnéticas. Este fenómeno se denomina "Inducción".

La forma de un dinamo se ve en la figura (5). -- Entre los dos polos magnéticos "a" y "b", se produce un cam po magnético. El flujo magnético es cerrado por medio de -- la armazón "c". La excitación magnética de los polos tiene lugar por el paso de la corriente por las espiras "f" (Devu nado de excitación) alimentadas de la fuente de corriente - continua "e".

La magnitud del campo magnético depende del número de espiras y de la intensidad de la corriente, que puede ser controlada por medio del regulador "g" situado en el -- conductor de excitación "h". En el interior del campo mag- nético se instala un inducido "d" giratorio por medios me-- cánicos; este inducido posee en su periferia ranuras trans- versales en cuyo interior se van alojando los conductores - formando el inducido sujetos por bandas adecuadas y con sus extremos cerrados. Al girar, este inducido corta las líneas de fuerza y produce una tensión en su bobinado. Supongamos

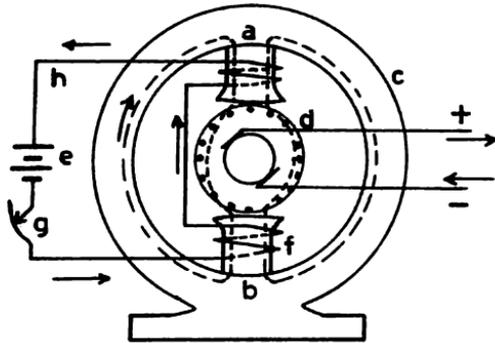


FIG. 5

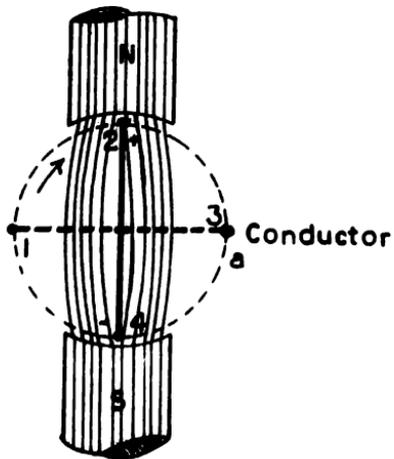


FIG. 6

ahora, para simplificar la exposición, una revolución de una bobina de este inducido "a" en la figura (6) y veremos que en la posición uno (I) no se corta ninguna de las líneas de fuerza y, por consiguiente, no se ha producido tensión alguna. Continuando el camino de la bobina "a" de I a II, van cortándose ya las líneas de fuerza cada momento en mayor cantidad en ángulo ascendente. Trazando ahora una vuelta de la espira "a" en forma de línea recta y sobre ella las cuatro posiciones indicadas como tensiones inducidas en posición vertical sobre la abscisa, como ordenadas, se obtiene una curva que corresponde a una "sinusoide" la cual permite reconocer que, según la inclinación que tiene la espira respecto a las líneas de fuerza y según su situación con el polo positivo (Norte) o negativo (Sur) varían continuamente las tensiones que se producen.

Una tensión generada de esta forma, o sea que desde un valor máximo positivo pasa a cero, llega a un valor máximo negativo para pasar nuevamente por cero hasta su valor máximo, es decir que su magnitud y dirección cambian continuamente, e esto se llama corriente alterna, la cual es tomada por dos anillos colectores. Si lo que se quiere obtener de la máquina es corriente continua se emplea un inversor de corriente (Commutador o colector) en lugar de los dos anillos colectores. Este conmutador en su más simple expresión, consiste en dos unidades de cada anillo colector convenientemente aisladas entre sí. Durante la rotación del inducido, y por medio de dos dispositivos deslizantes (Escobillas), que rozan sobre las dos partes de los dos anillos, queda la corriente cambiada en los bornes de la máquina y,

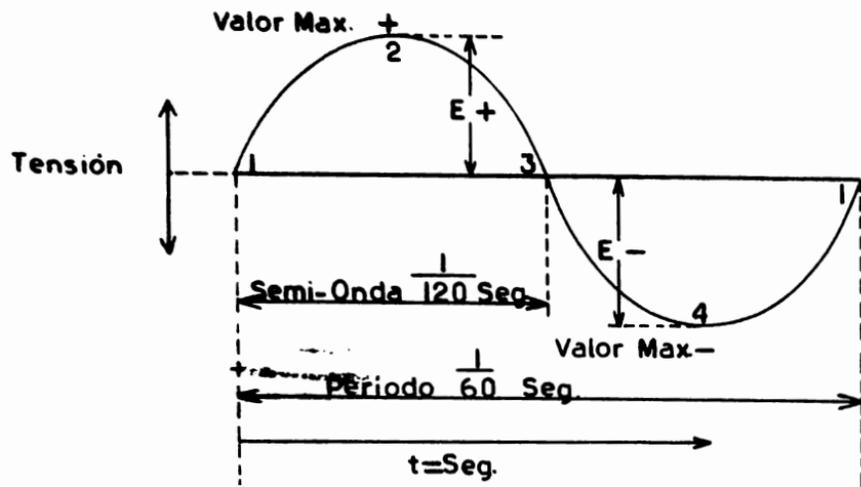


Fig. 7

por lo tanto, corregida o rectificada. En otras palabras, la tensión de la segunda semi-ondulación "b", se desplaza en la misma dirección que la primera. Debido a que la tensión no -- solamente ha de tener la misma dirección, sino también el mis-mo valor, el colector se divide no sólo en dos, sino en mu---chos segmentos, lo mismo que el devanado del inducido se subdivide en igual número de espiras (Bobinas), cada una de las cuales tienen sus extremos soldados a los dos segmentos vecinos en el colector. Las escobillas, cuyo número depende de la cantidad de polos y que están conectados entre sí en paralelo, de dos en dos, se colocan de tal forma que toman la ten-sión de los segmentos, cuyos devanados del inducido cortan -- precisamente la zona más eficaz del campo magnético y son inducidos con la tensión máxima de fuerza. Según apreciamos en la figura (7) por cada dos segmentos del colector, se obtie--nen, al girar el inducido, dos medias ondas de la misma direc-ción, y con esto una fuerte variación de la tensión, debido - el mayor número de láminas del colector, cuya oscilación es - tanto menor cuanto mayor es el número de estas láminas.

Según la clase de excitación de los polos magnéti--cos y la forma como ésta se efectúa, las máquinas se clasifican en: Máquinas de autoexcitación, de excitación propia y de excitación separada. Estas (Figura 5) últimas reciben la corriente de excitación de una red de corriente continua o de un dinamo especial de corriente continua (Excitatriz). Cuando esta excitatriz esté acoplada directamente a la dinamo espe--cial o principal, como sucede en la mayoría de los casos, la máquina pertenece al grupo de las de excitación propia.

En las de autoexcitación, la corriente de excitación la suministra la misma dinamo, es decir, sin que esta corriente venga del exterior. El magnetismo que queda en los polos magnéticos (Remanente) produce una débil corriente en el devanado del inducido, aún cuando la máquina no funcione. Si esta débil corriente es conducida a través del devanado del campo magnético, se produce un aumento de fuerza en dicho campo y, en consecuencia, también en la corriente del inducido.

Según el sistema de conexión empleado entre el circuito del inducido y el de la corriente excitatriz, se distinguen:

- I Máquinas de corriente principal en las que toda la corriente de la máquina fluye por los devanados de excitación.
- II Máquinas en derivación en las que el devanado de excitación está intercalado en una derivación del circuito.
- III Compound o máquinas mixtas en las que se emplea una combinación de los devanados anteriormente expuestos. Estas conexiones dan a los dinamos propiedades diferentes -- que tienen también importancia en su empleo como máquinas para soldar.

#### **CAPITULO IV**

## GENERALIDADES DE LAS SOLDADURAS

La soldadura en general pertenece a los trabajos llamados de unión, entendiéndose como tales las uniones fijas e inmóviles.

Se entiende por soldadura la unión de dos piezas de composición semejante, hecha de tal manera que en el lugar de la unión constituye un todo sensiblemente homogéneo con las zonas laterales más próximas.

Se distingue en esencia dos métodos de soldar:

- 1) Soldadura a presión.
- 2) Soldadura por fusión.

### SOLDADURA A PRESION

En este primer método se unen dos piezas entre sí en estado pastoso por medio de una presión. Este procedimiento presupone que el material a unirse, cualquiera por medio del calor un estado pastoso, que junto con otro material del mismo tipo y en las condiciones anteriores más una presión, se unen soldándose.

Las soldaduras a presión se clasifican en:

#### A) SOLDADURAS POR MARTILLADO.

La soldadura al fuego es el método más antiguo, - se utiliza principalmente en los trabajos de forja. Las -- piezas pequeñas se calientan en un hogar de fragua, las mayores en un horno de recocer. La capa de óxido que se forma (escoria) se ha de quitar antes de soldar. Sobre las

superficies calentadas a soldarse se agrega arena de cuarzo o bórax con lo cual la capa de óxido se disuelve y forma una escoria, que impide que reaccione con el oxígeno del aire nuestras superficies a unir. Según el tamaño de nuestra pieza, - la soldadura tiene lugar con martillo de mano, mecánico o por acción de una prensa.

#### B) SOLDADURA POR RESISTENCIA ELECTRICA.

En este procedimiento, para el calentamiento del -- lugar de la soldadura hasta la temperatura de soldar se emplea una corriente eléctrica alterna de elevado amperaje y bajo voltaje, que se hace pasar por las dos piezas una a través de la otra por el lugar de la unión. Con lo cual estas piezas se calientan mucho en el lugar de mayor resistencia eléctrica. (Esto sucede en la junta.) Figura (8).

#### C) SOLDADURA ALUMINOTERMICA.

La base de este tipo de soldadura es el hecho de -- que el aluminio calentado posee una extraordinaria afinidad - por el oxígeno.

Con el nombre de termite se conoce una mezcla de -- óxido de hierro y polvo de aluminio que se enciende y entra - en reacción a los  $1200^{\circ}\text{C}$ . Esta elevada temperatura de encendido requiere un material intermedio (Portador) llamado masa de ignición, compuesto de una mezcla de peróxido de bario --- ( $\text{BaO}_2$ ) y polvo de aluminio, cuya mezcla por medio de una tira

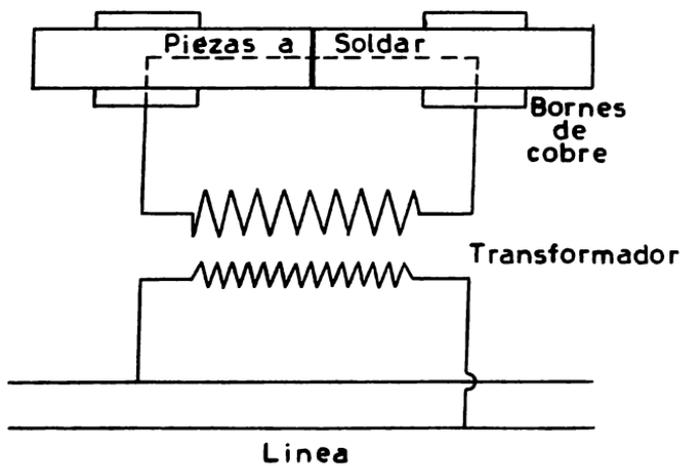
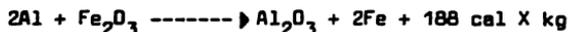


FIGURA 8

de magnesio se inflama fácilmente. Bajo la acción de una -- elevada temperatura (3000°C) el óxido de hierro de la termi- ta, contenida en el interior de un crisol de fusión, se ---- transforma en hierro (acero), mientras que el aluminio se -- combine con el oxígeno liberado y forme óxido de aluminio -- (Alúmina). Todo esto quede expresado en la siguiente fórmu- la:



La alúmina, de menor peso específico, sube a la - superficie en el recipiente en forma de escoria fluida y -- esta evita la combustión del acero líquido que se encuentra debajo. Esta reacción dura de 20 a 40 segundos, ésta se de be a la gran afinidad del aluminio para con el oxígeno.

## SOLDADURA POR FUSION

En este segundo método la unión se verifica pasando al estado líquido los lugares a soldar, en general sin presión y -- aportando nuevos materiales. Este es el tipo de soldadura más -- usado actualmente y se clasifica en:

### A) SOLDADURA POR FUSION CON GAS

Esta soldadura también toma el nombre de soldadura --- autógena con soplete. El nombre de "autógena" (del griego "au--- tos" y "genos"), significa: "Se engendra por sí misma".

En la soldadura por fusión con gas, se trata de provo- car la fusión de los materiales donde se aplicará el procedimien- to de soldar debido a las altas temperaturas, aproximadamente -- 2000<sup>o</sup>C, producidos por la mezcla de gas y oxígeno en el propio - soplete, cuyo dardo produce la fusión en el sitio donde se desea soldar.

Según las necesidades se emplean los materiales de --- aporte acompañados con fundentes y gas acetileno (producido por generadores y presionado en botellas metálicas a 15 atmósferas y suministrado por casas industriales).

También se emplea el hidrógeno y gas de alumbrado (Gas de carbón de piedra), éstos son de poca importancia.

Otros gases cuyo empleo es más reducido son el gas -- "blau" que se obtiene por desdoblamiento de hidrocarburos de -- elevado peso molecular a partir de combustibles líquidos por --

descomposición térmica. Además del metano, el propano y el --  
etileno se emplean combustibles líquidos: Como la bencina, el  
benzol y el petróleo.

A continuación describiremos brevemente los elemen--  
tos generadores de la llama oxi-acetilénica, oxígeno y aceti--  
leno.

## OXIGENO

La fórmula química de oxígeno es  $O_2$ . Es el cuerpo simple más abundante en la naturaleza; en la tierra 47%, en el mar 86%, en la atmósfera 21%.

Es un gas incoloro, inodoro e insípido.

Se licúa a  $-118^{\circ}C$ , a la presión de 50 atmósferas. --  
Se combine en la combustión produciendo luz y calor.

La obtención es por los siguientes métodos:

- 1) Por electrólisis del agua.
- 2) Por destilación fraccionada del aire líquido.

El primer método es caro y se utiliza a nivel laboratorio.

El segundo método es usual industrialmente.

El método de electrólisis consiste en hacer pasar -- una corriente continua por agua ligeramente acidulada con ácido sulfúrico. El agua se descompone en sus elementos integrantes, oxígeno e hidrógeno que se recogen en los polos del circuito eléctrico.

El método de la destilación fraccionada del aire líquido consiste: En licuar el aire atmosférico obteniendo una mezcla líquida de oxígeno y nitrógeno, de la cual separamos -- éste último haciendo hervir nuestra mezcla, y continuando el calentamiento de éste, el oxígeno empieza a evaporarse recogiéndose y envasándose en botellas metálicas para ser usado industrialmente. Con este sistema el oxígeno puede alcanzar una pureza de 99.8%.

El oxígeno no se inflama ni explota y es estable a todas las temperaturas y presiones. Alimenta al acetileno --- produciéndose una flama o dardo.

Ataca los metales produciendo óxidos. A la presión de una atmósfera y a 15°C, un litro es igual 1.38 g.

## ACETILENO

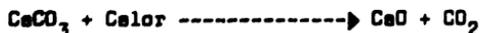
Su fórmula química es  $C_2H_2$ . La obtención del acetileno es a partir del carburo de calcio ( $CaC_2$ ). El carburo de calcio contiene 62.5% de calcio y 37.5% de carbono. Se obtiene del carbón molido en seco y cal en polvo, que se llevan juntos a una temperatura muy alta en hornos eléctricos especiales. Es una sustancia constituida por cristales de color rosa-pardo, -- transparentes, duros e inodoros, sin embargo, el usado en el -- comercio es gris claro y tiene un olor a ajo. Se altera al --- aire húmedo, calentándolo a temperatura elevada funde sin des-- componerse. Con agua es como se usa para la formación del gas acetileno, y deja un residuo de hidróxido de calcio.

Este gas es incoloro y posee un olor desagradable a - huevos podridos a causa de sus impurezas (fósforo y arsénico).

## METODO INDUSTRIAL PARA LA OBTENCION DEL ACETILENO

Se obtiene a partir del carburo de calcio. Los materiales básicos son: La cal viva, coque y agua.

Reacciones químicas para su obtención:



Propiedades del acetileno. El gas acetileno puro a la presión ordinaria no explota. Sin embargo, a una presión de  $3 \text{ Kg/cm}^2$ , y más si se expone al calor o especialmente en estado líquido, pueden sobrevenir explosiones violentas por pequeñas causas, - descomponiéndose en sus elementos.

Este gas forma mezclas fuertemente explosivas desde 2.8% a 65% en el aire. Para el acetileno la presión alta  $1.5 \text{ Kg/cm}^2$  indica el nivel máximo de seguridad. La presión media esté comprendida de  $0.05 \text{ Kg/cm}^2$  a  $0.5 \text{ Kg/cm}^2$ , mientras que la baja presión es inferior a  $0.05 \text{ Kg/cm}^2$ .

### B) SOLDADURA POR FUSION ELECTRICA

La soldadura por fusión eléctrica o de arco, consiste en una descarga eléctrica entre dos electrodos, ánodo (+) y cátodo (-) que pueden ser de metal recubierto o de carbón.

La corriente de alimentación puede ser tanto alterna como directa. En el caso de la corriente alterna, los electrodos funcionan alternativamente como ánodo y como cátodo, por lo tanto no existe un polo positivo o un polo negativo como en la corriente continua.

Esta función es desarrollada por un transformador o bien un generador de donde penden cables con sus respectivas mordazas, que son el porta-electrodo y tierra, para cerrar el circuito formando nuestro arco.

La soldadura eléctrica es la mayor parte de este --- trabajo, ya que tiene gran importancia y se le puede dar múltiples aplicaciones. Podemos decir que tanto en el campo de la construcción de máquinas como en el de las construcciones metálicas, ha revolucionado los sistemas constructivos.

Las ventajas específicas de las soldaduras eléctricas sobre la oxi-acetilénica consiste en que reúne las ventajas siguientes:

19.- SU SENCILLEZ EN EL EQUIPO.

20.- SU AMPLIO CAMPO DE APLICACION.

- 39.- EL LIMITADO CALENTAMIENTO DE LAS PIEZAS Y, POR CONSIGUIENTE, LA ELIMINACION DE DEFORMACIONES PELIGROSAS.
- 40.- LA POSIBILIDAD DE LLEVAR A CABO, EN FRIO, SOLDADURAS EN CONJUNTOS DE HIERRO COLADO, LO CUAL NO ES POSIBLE CON LA SOLDADURA OXI-ACETILENICA.
- 50.- LA GRAN VENTAJA DE USAR UN METAL DE APORTACION DE CALIDAD DETERMINADA Y CONSTANTE, ADAPTADO A LAS NECESIDADES REQUERIDAS DEL METAL BASE.

### C) SOLDADURA ELECTRICA CON GAS

Bajo el concepto de "Soldadura Eléctrica con Gas" se entienden tres procedimientos distintos, de los cuales solamente la soldadura "arcatom" encuentra prácticamente -- una aplicación digna de mención. La idea fundamental de -- estos procedimientos es unir las ventajas de los distintos métodos, el de la soldadura eléctrica con arco y la soldadura eléctrica con gas y excluir lo más posible los inconvenientes de que adolecen ambos métodos. Para conseguirlo se procura que el arco metálico no arda en la atmósfera, sino en una llama de gas protectora neutra (es por eso que se -- llame también "Soldadura por gas Protector"), a fin de sustituir el electrodo recubierto y mantener separados del propio electrodo y del baño de fusión el nitrógeno y el oxígeno del aire.

El procedimiento "Alexander" consiste en rodear - el electrodo metálico de una cubierta protectora de gas combustible.

El método "Langmuir", consiste en mantener el arco eléctrico, independientemente de la pieza de trabajo, entre dos electrodos de wolframio y envolverlo en hidrógeno. Este procedimiento es el arcatom propiamente dicho y es el que -- encuentra mayor aplicación.

Algunos años después se desarrolló el procedimiento de la "Soldadura Eléctrica Autógena", o simplemente llamada "arcogen", basada en la aplicación simultánea del arco -- eléctrico y la llama autógena.

## METODO ALEXANDER

Ampliando más este método diremos que como gas protector se emplean, además del hidrógeno, considerado hoy como el -- más adecuado, otros gases distintos, como gas de alumbrado, me-- tano, gas de agua, éter etílico, ácido carbónico y especialmente, metanol. La mayoría de estos gases resultaron ser poco o nada -- adecuados, debido, en parte, a su acción carburante sobre las -- soldaduras o a sus propiedades oxidantes  $2CO_2$  -----  $2CO + O_2$  -- durante su disociación en la llama, en parte también debido a su toxicidad como el gas de alumbrado o el gas de agua ( $CO + 2H$ ). Y por otro lado debido a su alto precio y explosividad como en -- el caso del éter etílico  $(C_2H_5)_2O$ . El mejor parecía ser en un -- principio el metanol  $(CH_3OH)$ , que se descompone en dos volúmenes de hidrógeno  $(2H_2)$  y uno de óxido de carbono  $(CO)$ .

El metanol para su uso se tuvo que pasar a gas por medio de un gasificador especial, aislado para evitar pérdidas de calor y calentando con mecheros bunsen.

De un litro de alcohol metílico se obtenía aproximadamente  $1.73 m^3$  de gas, que por medio de un tubo flexible se ~~en-~~viaba a la tobera de gas del aparato de soldar.

Actualmente se emplea exclusivamente el hidrógeno, -- que se toma directamente de las botellas de acero, como gas --- protector.

DESCRIPCION DEL PROCESO PARA SOLDAR.- Lo importante en el manejo del aparato es, ante todo, que la distancia "x", es decir, la que corresponde a la separación entre la boquilla de la tobera y la superficie de la pieza de trabajo, sea lo más uniforme posible para que, por una parte, exista la eficacia de la capa para que el arco eléctrico arda sin menor perturbación. Esta distancia "x" es, por término medio, de unos 100 mm, si es mayor, la llama no envuelve suficientemente y si es menor el arco eléctrico arde irregularmente y --- chisporrotea. Además el operario debe mantener la longitud del arco eléctrico lo más uniforme posible, aun cuando algunas pequeñas diferencias no son tan perjudiciales como en la soldadura eléctrica de arco normal y la alta tensión de encendido permite una mayor movilidad de la longitud de arco.

Si se considera que el operador tiene ocupadas ambas manos, regulando con una el avance del electrodo en dos direcciones y conduciendo con la otra la tobera de gas, se comprenderá que el operador, dadas las dificultades que acompañan a este procedimiento, no quiere hacer uso de él. Actualmente carece de toda importancia práctica.

## PROCEDIMIENTO ARCATOM

En el procedimiento Alexander es el arco eléctrico el que se mueve entre la pieza de trabajo y el electrodo, es decir, el arco eléctrico se produce independientemente de la pieza de trabajo entre dos extremos de electrodos de wolframio rodeados de una llama de hidrógeno de gas protector. -- Como este procedimiento se emplea cada día más por ser verdaderamente práctico. Como en el método "Alexander", también aquí se necesita un transformador de soldar especial, que -- trabaja sólo con corriente alterna. La corriente se toma de un transformador portátil de 20 a 40 kw-amper de consumo de energía, provisto de una bobina de reacción especial. La -- regulación de los grados tjene lugar por medio de un volante y las relaciones de medida de corriente pueden leerse en un instrumento de medida. Tanto el encendido como el manteni-- miento del arco eléctrico en la corriente de hidrógeno re-- quieren más altas tensiones que en el medio ambiente. La -- tensión de encendido es de unos 300 volts y la de soldar de 60 volts a 100 volts. El transformador lleve dos devanados para bajas tensiones, una de las cuales de tensión de encendido de 300 volts y la otra la de protección para un contactor de 60 volts. El circuito de la corriente circula por -- una bobina de reacción, atraviese el arco eléctrico y se cierre a través del devanado del contactor. La conexión de la bobina de tensión de 60 volts del contactor tiene lugar por medio de un interruptor y después de su accionamiento queda interrumpido el circuito de corriente de soldar únicamente - por medio de dos electrodos del aparato de soldar, éstos son de wolframio el cual, como es sabido, posee un elevado punto de fusión (3370°C).

Según el espesor del material a soldar, los electrodos de wolframio tienen un diámetro de 1.5 a 3 mm y entran en contacto por un breve espacio de tiempo al encender el arco eléctrico, separándose después hasta obtener la longitud conveniente; al mismo tiempo se da el gas protector, que se toma de una botella de acero donde está el hidrógeno a una presión de 150 atmósferas. Si se interrumpe o rompe el arco eléctrico, la tensión de encendido de 300 volts queda desconectada automáticamente volviendo únicamente después de conectar de nuevo el contactor, el cual permanece conectado durante el tiempo que dura el arco. El mechero fuera de servicio está exento de tensión. La intensidad de la corriente para soldar oscila entre 20 y 130 amperes. Para mayor seguridad de trabajo hay que conectar a tierra el transformador y más recomendable es conectar a tierra la mesa de trabajo o la pieza misma a soldar.

Para reducir el consumo de los electrodos que son caros hay que suministrar sin interrupción hidrógeno, medida necesaria al encender el arco eléctrico. La presión de gas se controle, lo más preciso posible por una válvula reductora de presión que esté situada en la botella, su presión es de 100 a 1200 mm de agua y debe mantenerse siempre uniforme. El hidrógeno se envía al soplete de soldar que se muestra en la figura (9), por medio de dos tubos flexibles, en los que se encuentran al mismo tiempo los cables de corriente.

La regulación e interrupción del hidrógeno se efectúa por medio de una caja de válvulas situada en el transformador. La posición de los electrodos de wolframio, situados

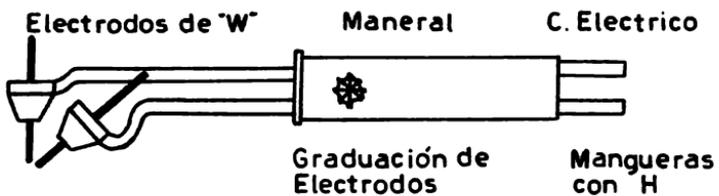


FIGURA 9

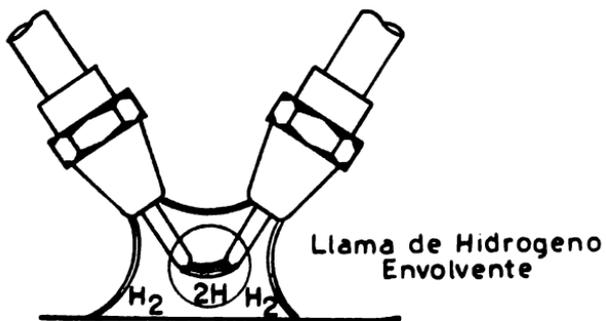


FIGURA 10

entre sí formando una "V", se gradúa por medio de un volante situado en el mango del soplete. Delante de este mango hay una pantalla de protección destinada a proteger la mano del operario contra los rayos calóricos. Las sucesivas posiciones de los electrodos se efectúa a mano. El soplete está -- diseñado para recibir cabezales cambiables contruidos especialmente para cada caso específico de soldadura.

Reconoció la utilidad del aparato "Arcatom", y -- comprobada la buena calidad de la soldadura por átomos de -- hidrógeno, se fabricaron aparatos automáticos, por lo tanto se han construido y lanzado al mercado cabezas de soldar, -- adaptadas a las condiciones de este procedimiento, siendo -- precisamente la disposición mecánica de las máquinas la que regula nuestro avance en el proceso de soldar.

El modo de actuar del arco eléctrico "Arcatom" puede describirse como indica la figura (10). Los electrodos -- de wolframio, situados en ángulo, están sujetos en toberas -- anulares de cobre, conductoras de corriente, alrededor de -- las cuales penetra el hidrógeno. Los extremos de los electrodos de wolframio calentados al rojo blanco ( $2700^{\circ}\text{C}$ ), provocan, junto con el arco incipiente, una disociación parcial de hidrógeno que sigue progresando al orden el arco eléctrico, esto produce la descomposición de las moléculas de hidrógeno molecular ( $\text{H}_2$ ) a hidrógeno atómico ( $2\text{H}$ ). Las cantidades de calor necesarias para la disociación de las moléculas son absorbidas de las puntas de los electrodos y, principalmente, del arco eléctrico. En el borde de el arco en forma

de herradura, de color violeta-rojizo, se reúnen de nuevo los átomos en moléculas ( $2H \rightarrow H_2$ ) y ceden el calor absorbido anteriormente, aumentando así sensiblemente la temperatura que se estime es de  $4000^{\circ}C$  en la zona marginal del arco eléctrico. El calor cedido para la transformación de los átomos en moléculas redunde en provecho de la pieza de trabajo, es decir, del lugar de la soldadura, con lo cual ésta se funde mucho más rápido. Además se retarda el enfriamiento de la soldadura, con lo cual influye también favorablemente en su buena calidad.

## METODO ARCOGEN

El desarrollo de este procedimiento se basaba en el hecho de que una unión entre el arco eléctrico y la llama autógena no sólo debe producir un efecto del gas protector, sino que a la vez debe aumentar el rendimiento. Sin embargo, las esperanzas -- depositadas en este procedimiento de soldar, autógeno-eléctrico -- ("Arcogen") no llegaron a realizarse. En la práctica no sólo no ha podido ser adaptado el procedimiento, sino que se ha llegado al extremo de retirar las instalaciones ya en funcionamiento.

Se emplea la corriente alterna que se toma de un transformador regulable por medio de nueve graduaciones, su consumo de energía es de 4 a 8 kw-A. Los cables de soldar de este transformador están conectados, por una parte, a la pieza de trabajo y, - por otra, a las tenazas de soldar. El porta electrodo puede recoger electrodos de recubrimiento grueso de 6 a 8 mm de diámetro. - El soplete autógeno recibe el oxígeno de una botella de acero a - través de una válvula de reducción y el acetileno por el mismo -- conducto. Se trata, por tanto, de un trabajo combinado entre una disposición de soldar de corriente alterna y una instalación autógena.

Al soldar, el electrodo se conduce con la mano izquierda y el soplete con la mano derecha, es decir, el electrodo sigue a la llama de gas, y cuando se calienta la parte a soldar por el calor generado por la llama es cuando se forma el arco eléctrico. La llama y el arco actúan conjuntamente sobre el baño de fusión, el cual ocupa una gran área debido a las enormes cantidades que - recibe de calor. Por esta causa el procedimiento estaba aplicado solamente a las soldaduras de planchas gruesas de acero.

Debido a que la energía de la corriente de la mezcla gaseosa soplaban los iones formados en el arco eléctrico, al principio fue un problema difícil de vencer, pero gracias a los adelantos electroquímicos y fisicoquímicos, se logró tras largos y costosos ensayos, fabricar masas de recubrimientos de efectos fuertemente ionizantes y obtener un arco eléctrico estable. Para aumentar el rendimiento de la soldadura y evitar al mismo tiempo el peligro de un sobrecalentamiento del baño de fusión se fabricaron diversas clases de electrodos especiales, pero a pesar de esto no se logró allanar el camino y continuaron las dificultades de este procedimiento complicado y nada fácil.

**SOLDADURA ELECTRICA POR ARCO**

Según el procedimiento y la forma de los electrodos, se clasifican en cuatro métodos.

- I ARCO ELECTRICO "CARBON-CARBON" (PROCEDIMIENTO ZERENER)
- II ARCO ELECTRICO "CARBON-PIEZA DE SOLDAR" (PROCEDIMIENTO BERNARDOS)
- III ARCO ELECTRICO "METAL-PIEZA DE TRABAJO" (PROCEDIMIENTO SLAVIANOFF)
- IV ARCO ELECTRICO "METAL-METAL" (ELECTRODOS DE WOLFRAMIO EN EL PROCEDIMIENTO ARCATOM)

## ARCO VOLTAICO METALIZADO

## ARCO DE CORRIENTE CONTINUA.

A pesar de que nuestros conocimientos sobre las propiedades físicas y, ante todo, sobre los efectos químicos y -- metalúrgicos del arco eléctrico o voltaico, especialmente del arco metalizado, son todavía muy deficientes y se basan en --- gran parte en datos empíricos y, a pesar de los muchos traba-- jos de investigación efectuados hasta hoy, procuraremos dar -- una idea clara acerca de la teoría del arco eléctrico.

En condiciones normales, el aire y otros gases no -- son conductores, son buenos aislantes para la corriente eléc-- trica. Desintegrando las moléculas en iones, lo que se consi-- gue, mediante el choque de los iones, (choque violento entre - electrones e iones) puede hacerse que los gases sean capaces - de conducir la electricidad.

Para la conductividad eléctrica en un espacio de --- aire es indispensable la presencia de electrones y de iones, - lo cual produce una mayor conductividad o ionización del espa-- cio de aire a medida que aumenta el número de electrones efec-- tivos que se encuentran en él. La clase de gases producidos - durante la formación del arco y que originan la ionización --- son, por consiguiente, de trascendental importancia, es decir, la masa que cubre los electrodos deben contener sustancias que puedan ser consideradas como buenos ionizadores.

Aplicando una determinada tensión en determinadas condiciones se puede originar una corriente electrónica que, debido especialmente a la ionización por choque, cumple con las condiciones necesarias para la ionización de la columna de gas --- existente entre electrodo y pieza de trabajo, ya que, según la teoría de los iones, las moléculas neutras de gas están sometidas a la descomposición en iones de gas. De aquí que este gas ionizado constituya el verdadero camino por el que se efectúa la migración de la electricidad. En el interior de la columna gaseosa, los electrones avanzan con enorme velocidad hacia el polo positivo. Este extraordinario y rápido movimiento de los electrones y de los iones produce su choque con las moléculas neutras que contiene la corriente de gas y produce inmediatamente, como consecuencia, su descomposición rápida en iones positivos y negativos, los cuales, por su parte, quedan a la disposición del transporte de la electricidad. La columna de gas -- adquiere en este momento una semiluminosidad y emite una intensa radiación, lo que produce el arco eléctrico o voltaico. Los átomos remanentes cargados positivamente son atraídos por el -- polo contrario, que por el choque de los iones se calienta considerablemente. Este proceso de descomposición de átomos, iones y electrones se denomina ionización.

El choque de los electrones con el polo positivo que ha tenido lugar en la distancia de arco a una velocidad inconcebible, se produce con extraordinaria violencia y la energía cinética se transforma en calor en el lugar del choque.

Sabemos que un metal o un conductor, puede cargarse - negativamente, es decir, los electrones pueden densificarse en alto grado sin aparecer en la superficie del metal a pesar de - que los electrones se muevan fácilmente en el conductor. Esta lentitud en la migración de electrones se opone a la salida de los mismos en la superficie metálica, pero se debilita a medida que aumenta la temperatura y se pierde completamente cuando el calentamiento del metal llega al rojo blanco.

Para el encendido del arco es necesario un breve contacto entre la punta del electrodo y la pieza de trabajo (corto circuito) con lo que se produce una gran intensidad de corriente que tiene por consecuencia directa una alta producción de -- calor por la elevación de la resistencia conductora, y no solamente caliente con rapidez el punto de contacto con la pieza de trabajo, sino también los extremos del electrodo. Sabemos que los electrodos están conectados generalmente al polo negativo y la pieza de trabajo al polo positivo; es necesario saber esto - porque el flujo eléctrico parte del electrodo conectado al polo negativo. Se produce rápidamente el rojo blanco a consecuencia de los choques de iones, dando esto lugar a la formación de nugvos iones. De esta manera se conserva continuamente el arco -- voltico. En virtud de la fuerza de choque de los electrones - sobre el lugar de la soldadura puede admitirse que el recalenta-- miento de este lugar no es la consecuencia del calor de co--- rriente por calentamiento de resistencia, sino por efectos puramente mecánicos.

La temperatura alcanzada en este lugar es de unos --  
4000°C, mientras que en el extremo del electrodo conectado al  
polo negativo es de 600°C. Este descenso de temperatura se --  
utiliza en la técnica de la soldadura. En el centro del arco  
voltaico parece ser considerablemente inferior de unos 2000°C.  
En la trayectoria del arco existen iones cargados positivamen-  
te, a causa del bombardeo electrónico de los átomos remanentes,  
que son atraídos por la punta del electrodo, este pequeño reca  
lentamiento basta para dirigir y conservar la corriente elec-  
trónica hacia la pieza de trabajo.

El punto de iniciación del arco eléctrico en el polo  
negativo, llamado cátodo, es decir, la punta del electrodo co-  
nectado al polo negativo se denomina mancha catódica y la salí  
da de los electrones del cátodo recibe el nombre de emisión --  
electrónica. La mancha catódica es, por consiguiente, el emi-  
sor de electrones. Esta emisión se mantiene durante el tiempo  
en que el cátodo está en estado incandescente; si se enfriera  
artificialmente no puede mantenerse un arco eléctrico. El pro  
ceso de emisión de electrones no debe confundirse con la tran-  
sición del material del electrodo a la pieza de trabajo (éno--  
do), transición que se efectúa en la misma dirección.

El aspecto diferente del arco eléctrico es determina  
do por el material de los electrodos y por la clase de gas en  
el medio ambiente en el que arde.

El arco metálico debe ser mantenido tan corto como -  
sea posible. Como regla general se dice que la longitud del -  
arco es menor o igual que el diámetro de los electrodos.

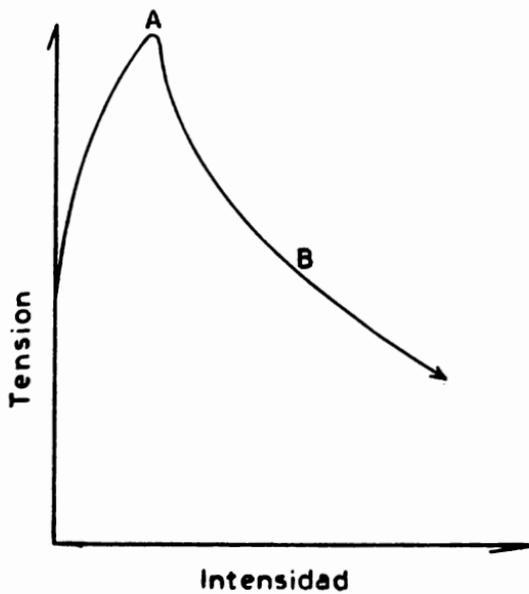
La temperatura alcanzada en este lugar es de unos --  $4000^{\circ}\text{C}$ , mientras que en el extremo del electrodo conectado al polo negativo es de  $600^{\circ}\text{C}$ . Este descenso de temperatura se -- utiliza en la técnica de la soldadura. En el centro del arco voltaico parece ser considerablemente inferior de unos  $2000^{\circ}\text{C}$ . En la trayectoria del arco existen iones cargados positivamente, a causa del bombardeo electrónico de los átomos remanentes, que son atraídos por la punta del electrodo, este pequeño recu lentamiento basta para dirigir y conservar la corriente elec-- trónica hacia la pieza de trabajo.

El punto de iniciación del arco eléctrico en el polo negativo, llamado cátodo, es decir, la punta del electrodo conectada al polo negativo se denomina mancha catódica y la sal ida de los electrones del cátodo recibe el nombre de emisión -- electrónica. La mancha catódica es, por consiguiente, el emisor de electrones. Esta emisión se mantiene durante el tiempo en que el cátodo esté en estado incandescente; si se enfriera artificialmente no puede mantenerse un arco eléctrico. El pro ceso de emisión de electrones no debe confundirse con la transición del material del electrodo a la pieza de trabajo (áno-- do), transición que se efectúa en la misma dirección.

El aspecto diferente del arco eléctrico es determi nado por el material de los electrodos y por la clase de gas en el medio ambiente en el que arde.

El arco metálico debe ser mantenido tan corto como -- sea posible. Como regla general se dice que la longitud del -- arco es menor o igual que el diámetro de los electrodos.

Cada valor de intensidad de la corriente del arco -- eléctrico pertenece a una determinada tensión en función de su longitud. La relación entre estos dos valores eléctricos reproduce la característica eléctrica del arco. Por esta razón una representación gráfica que reproduce la relación mutua entre intensidad y tensión se denomina curva característica. -- Una característica que sirve solamente para una determinada -- distancia entre electrodos viene representada en la gráfica -- (1). Para el encendido de arco se necesita una tensión considerablemente mayor para su conservación, ya que al principio -- solo puede fluir una intensidad de corriente muy pequeña. La tensión máxima de encendido es mayor de 75 volts y se llama -- cúspide de encendido. Cuando el arco esté encendido, la diferencia de tensión medida en él disminuye rápidamente, mientras que la intensidad de la corriente, que debe ser limitada en -- las fuentes de la corriente de soldar por medio de resisten-- ciss, aumenta también rápidamente. Por este motivo se dice -- que el arco tiene una característica descendente; la caída de tensión del ánodo al cátodo se mantiene en la soldadura entre 16 y 25 volts en electrodos desnudos y entre 22 e 30 volts en electrodos recubiertos y en soldaduras de fundición en caliente entre 40 e 75 volts. La caída de tensión dentro del trayecto del arco es pequeña y depende principalmente de la longitud de este. Para efectuar el encendido del arco se emplean tensiones no muy altas que son peligrosas para el operador, sino que se baja la cúspide de encendido para acortar lo más posible la distancia de descarga entre el electrodo y la pieza de trabajo. Esto tiene lugar conectando en corto circuito los --



GRAFICA I

electrodos temporalmente, es decir, poniéndolos en contacto directo con la pieza de trabajo durante un breve espacio de tiempo. Al retirar el electrodo se forma el arco, bastando para -- mantenerlo una tensión mínima de 15 volts. Si se desarrollara el arco libremente en atmósfera de aire, esto es, sin haber producido el corto circuito, para vencer la resistencia se necesitaría de 4 a 5000 volts X mm de distancia entre polos.

## ARCO DE CORRIENTE ALTERNA.

Los fenómenos de un arco de corriente alterna son más complicados que en la corriente continua, debido a que en la corriente alterna no existe un polo determinado, ya que -- los electrodos y la pieza de trabajo cambian su polaridad dependiendo de la frecuencia. (120 veces por segundo, 60 ciclos).

Con esta serie de cambios entre ánodo y cátodo se produce frecuentemente la inversión de electrones e iones, -- por lo tanto ambos polos tienen la misma temperatura. En --- cuanto al aspecto no hay ninguna diferencia entre un arco y -- otro. En cambio podemos afirmar en cuanto a la conservación del arco de corriente alterna es más difícil que el de co --- rriente continua, se explica esto si se tiene en cuenta ade-- más del cambio de polos, las interrupciones de corriente al -- alcanzar el valor cero, originadas por la migración de par--- tículas o gotas metálicas. Con la emisión de electrodos de -- alambre desnudo sólo puede mantenerse de una manera deficiente, se procura su conservación por cualquier otro medio ade-- cuado como varillas recubiertas con fundentes. De aquí se -- deduce que un electrodo desnudo no sirve para soldar con co-- rriente alterna. El arco a pesar de la interrupción del flujo de corriente cada vez que se invierte la dirección de este última, no se rompe, se debido únicamente a que el tiempo en que se efectúa el cambio de polos es sumamente corto. Como -- la mancha recalentada del cátodo del arco de corriente alterna ya sea que se presente en la pieza de trabajo o en el elec-- trodo, emitirá la mayor cantidad de electrones y el trayecto del arco resulta así mejor ionizada y de mayor capacidad

### ARCO DE CORRIENTE ALTERNA.

Los fenómenos de un arco de corriente alterna son más complicados que en la corriente continua, debido a que en la corriente alterna no existe un polo determinado, ya que -- los electrodos y la pieza de trabajo cambian su polaridad dependiendo de la frecuencia. (120 veces por segundo, 60 ciclos).

Con esta serie de cambios entre ánodo y cátodo se produce frecuentemente la inversión de electrones e iones, -- por lo tanto ambos polos tienen la misma temperatura. En --- cuanto al aspecto no hay ninguna diferencia entre un arco y - otro. En cambio podemos afirmar en cuanto a la conservación del arco de corriente alterna es más difícil que el de co --- rriente continua, se explica esto si se tiene en cuenta ade--- más del cambio de polos, las interrupciones de corriente al - alcanzar el valor cero, originadas por la migración de per--- túculas o gotas metálicas. Con la emisión de electrodos de - alambre desnudo sólo puede mantenerse de una manera deficiente, se procura su conservación por cualquier otro medio ade--- cuando como varillas recubiertas con fundentes. De aquí se -- deduce que un electrodo desnudo no sirve para soldar con co--- rriente alterna. El arco a pesar de la interrupción del flujo de corriente cada vez que se invierte la dirección de esta última, no se rompe, es debido únicamente a que el tiempo en que se efectúa el cambio de polos es sumamente corto. Como - la mancha recalentada del cátodo del arco de corriente alterna ya sea que se presente en la pieza de trabajo o en el elec- trodo, emitirá la mayor cantidad de electrones y el trayecto del arco resulta así mejor ionizada y de mayor capacidad ---

conductora en una de las dos direcciones alternativas de la --- corriente, es preciso que uno de los dos impulsos de la corriente sea más fuerte para que responda a una dirección.

## DEPOSITO DEL MATERIAL EN EL ARCO ELECTRICO.

Tan pronto como se enciende el arco empieza la deposición del material del electrodo hacia la pieza de trabajo. Esto sucede ya sea que se trabaje con corriente alterna o con corriente continua, con electrodos desnudos o recubiertos, o soldando en posición horizontal, vertical o por abajo, es decir independientemente de la dirección de la corriente o de la trayectoria de los electrones, el material de los electrodos - pasa continuamente a través del arco hacia la pieza de trabajo. El paso del material se lleva a cabo siempre en forma filiforme o granulada, o bien en forma finamente dividida, esto mediante el empleo del electrodo llamado de chisporroteo desarrollado para soldar sobre cabeza.

## DESCRIPCION DEL ARCO DE CARBON Y METAL (PROC. BERNARDOS)

Mientras que el extremo del electrodo metálico se licúa en forma de gotas y pasa así a la pieza de trabajo, el carbón no se licúa, sino que pasa a un estado de pulverización muy fina y apoya de esta manera la conductividad del arco. El arco metálico arde con mayor irregularidad que el de carbón, - debido a que se suprimen las continuas oscilaciones en la longitud del arco producidas por el paso del material. Al contrario de lo que ocurre en el arco metálico, aquí se pueden obtener mayores longitudes de arco que evitan la influencia nociva del carbono sobre la soldadura. La tensión del arco entre carbón y metal es menor que la tensión del arco entre carbón y carbón. En el procedimiento Bernardos puede mantenerse en perfecto estado dicho arco, aun con una tensión mínima de 15 volts.

En la zona media de un arco de carbón se ve claramente un núcleo de corriente de color más claro; es el camino de los electrones. Este núcleo está rodeado de un manto o capa de luz -- más débil, que a su vez es rodeado por una aureola. Muy notable en la influencia electromagnética sobre la dirección del arco, de la cual se hace uso con éxito, en las soldaduras por arco de carbón, se atribuye a la formación de anillos giratorios en un campo magnético producido en dirección de la barra de carbón ayudado por la tendencia de los rayos del cátodo, al salir axialmente de la superficie del mismo, comunicando al arco una dirección constante.

De lo que se ha hablado sobre ionización se saca por conclusión que para la práctica de la soldadura por este método, el electrodo de carbón debe conectarse al polo negativo, ardiendo de un modo regular y en forma de punta, obteniendo -- así un arco estable. De esta manera puede encenderse fácilmente y mantenerse largo por mucho tiempo sin romperse. Por tanto, el arco de carbón conectado al polo positivo es difícil de encender, arde de una manera irregular y se rompe al alcanzar una longitud moderada. El carbón arde sin punta y con mucha irregularidad y la soldadura puede absorber mayor cantidad de carbono siendo perjudicial.

## **CAPITULO V**

## CONOCIMIENTOS BÁSICOS DE METALURGIA EN SOLDADURA

La física clásica conoce tres estados de la materia, Líquido, Sólido y Gaseoso, de los cuales solamente el estado sólido y líquido, son de mayor interés en soldadura. El cambio de una fase a otra se logra mediante un aumento de temperatura, a este punto donde un material se transforma de sólido a líquido se le llama "Punto de fusión". En el caso del hierro puro, este punto de fusión corresponde a  $1535^{\circ}\text{C}$ , pero sabemos que cualquier impureza, ocasional o intencional hace bajar el punto de fusión. Y el hierro técnico, el único tipo de hierro que se usa para fines de soldadura, nunca es de una pureza absoluta, es hierro que siempre esté aleado con impurezas y --- aleantes. Por el proceso de elaboración del hierro en el Alto Horno se hace mediante Carbono (Coque) como agente reductor, - por tanto, el carbono está presente en el hierro. Además, por razones que se explicarán más adelante, este elemento es considerado como el aleante número uno de los aceros. Sin los efectos que ocasiona el carbono en aleación con el hierro no sería posible la industria del hierro. Ya se mencionó que cualquier aleante o impureza del hierro causa una reducción del punto de fusión, pero esta reducción no prosigue ilimitadamente sino se acerca a un efecto máximo que se refleja como un punto de fusión mínimo y después, al aumentar más el porcentaje del aleante, sube otra vez hasta llegar al punto de fusión del segundo componente, en el caso presente será el del carbono. Con --- otras palabras: Si se elabora una gráfica en la cual la abcisa represente el por ciento de carbono y la ordenada la temperatura. (O sea en escala invertida el porcentaje de hierro), resulte una curva que comienza con una temperatura de  $1535^{\circ}\text{C}$ , -- punto de fusión del hierro puro, y un porcentaje de 100% hierro y 0% de carbono.

La temperatura del punto de fusión se reduce al aumentar el contenido de carbono hasta llegar a un mínimo y después se sube a la temperatura de fusión del carbono, si el porcentaje del último se llega al 100% y el porcentaje del hierro a cero. -- Por convención se llama el "Punto Eutéctico" donde una mezcla entre dos elementos o compuestos se funde a la temperatura más baja de todas las mezclas posibles. En el caso de hierro y carbono el punto eutéctico corresponde a una temperatura de  $1145^{\circ}\text{C}$  y a un contenido de 4.3% de carbono. También por conveniencia se dio a esta mezcla eutéctica el nombre de Ledeburita, en honor del investigador. Observando bajo estos aspectos la gráfica (1.1), que -- representa el diagrama de fases hierro-carbono, podemos determinar sin mayor problema el punto de fusión de cualquier mezcla entre hierro y carbono: La línea comprendida entre los puntos A-B-C-D es la línea separadora, arriba de la cual hay solamente líquido: Es la línea de fusión de las diferentes mezclas hierro y carbono. Salta a la vista que el diagrama solamente cubre hasta un poco menos del 7% de carbono. Esto se debe al hecho de que todas las aleaciones (Mezclas) entre hierro y carbono que merecen interés técnico contienen menos del 7% de carbono.

## EL HIERRO Y SUS ALEANTES

Todo hierro para usos industriales no es hierro puro sino una aleación a base de hierro con uno o varios aleantes y estos aleantes pueden ser intencionales o bien impurezas. El hierro de muy alta pureza no es muy propio para usos técnicos porque aparte del precio relativamente alto, causado por el -- costoso proceso de elaboración y refinación, sus características físicas, como son la resistencia máxima a la tracción y el límite elástico, son pobres. El hierro electrolítico, se le -- ha encontrado una resistencia a la tracción de  $18 \text{ Kg/mm}^2$ . Deg de luego tiene múltiples usos en la técnica moderna y el hie-- rro de una extrema pureza puede sustituir en algunos casos al cobre en el ramo de la electrónica.

El material que se considera para usos técnicos como hierro o acero no aleado es una aleación entre hierro y carbono, principalmente. Además se encuentra un número de elemen-- tos en cantidades menores que son impurezas procedentes de los minerales y del proceso de elaboración en general. Todos los elementos influyen en una u otra forma y los aleantes más usug les aumentan principalmente la resistencia a la tracción.

El elemento que más influencia tiene en las propie-- dades físicas del hierro es sin duda alguna, el carbono cuyo comportamiento e influencia en aceros se ha estudiado profundg mente. Como resultado de las investigaciones se logró elabo-- rar el diagrama de equilibrio de fases "hierro-carbono", como se aprecia en la gráfica (1.1). Para poder aplicar e interprg tar este diagrama es necesario tener presente una caracterís-- tica propia del hierro: Existen dos formas del metal que quí-- micamente no se distinguen, pero que en su comportamiento ---

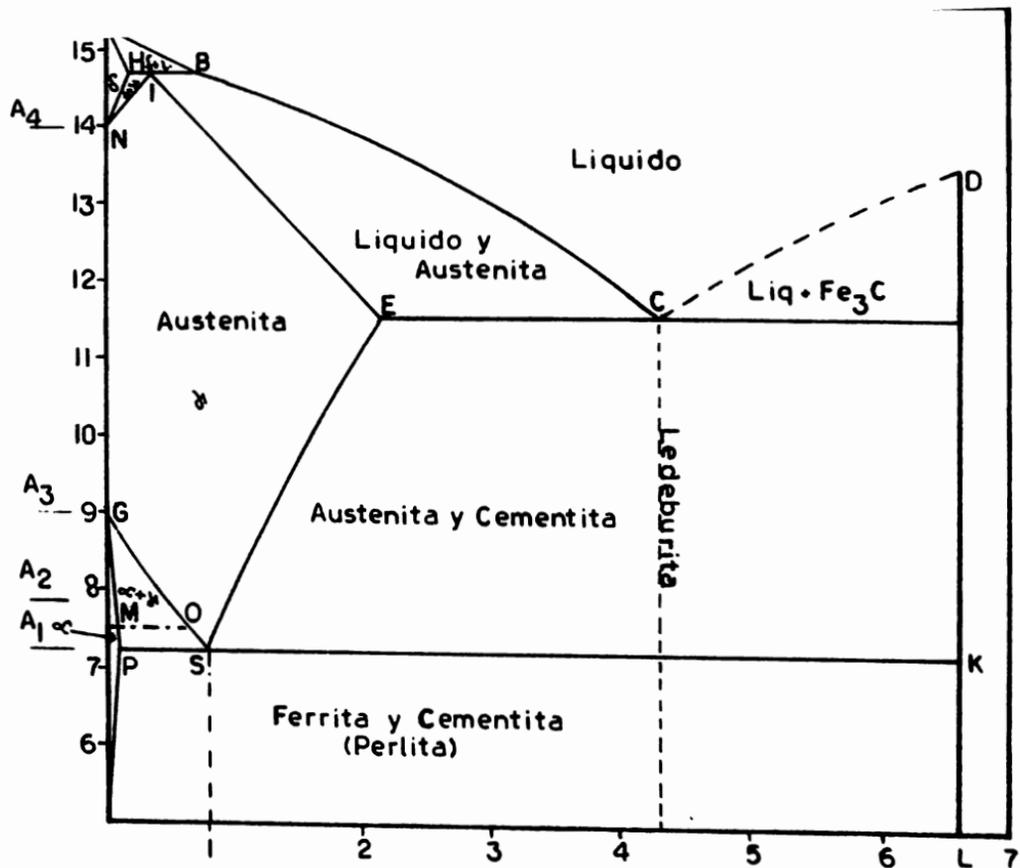


DIAGRAM  
HIERRO  
VS  
CARBONO

FIG. 1.1

físico muestran mucha diferencia. La existencia de una u otra forma del hierro es básicamente una función de la temperatura y la diferencia en los datos físicos de ambas modificaciones se debe a un cambio en la estructura de la red cristalina atómica: Mientras a temperaturas bajas la modificación más estable es la de hierro alfa, llamado ferrita, la otra modificación, hierro gamma o austenita, es más estable a temperaturas altas. La diferencia entre una y otra modificación en su red atómica consiste en que en la ferrita es cúbica centrada en el cuerpo, mientras que en la austenita es cúbica centrada en las caras. La existencia de dos o más variedades del mismo material se llame "Poliformismo" y no está limitada solamente al hierro, sino a muchísimos otros elementos que presentan un comportamiento similar. La transformación de ferrita en austenita, en el caso del hierro netamente puro, se logra a una temperatura de  $910^{\circ}\text{C}$ , que corresponde al punto "G" en el diagrama de equilibrio de las fases. Arriba de la temperatura mencionada existe la forma gamma hasta los  $1390^{\circ}\text{C}$ . A esta temperatura ocurre otra transformación y el resultado de la misma es el hierro delta que en la estructura de la red atómica es igual al hierro alfa y representa la fase estable hasta  $1535^{\circ}\text{C}$ , tratándose de hierro puro, el hierro delta es de poco interés técnico.

## EL CARBONO EN EL HIERRO

Para poder entender al comportamiento del hierro y del acero, no solamente en soldadura sino en general, es indispensable conocer bien los efectos que causa el carbono al ser aleado con el hierro, porque solamente el uso de carbono como aleante permite obtener las características del acero.

El carbono se encuentra en aleaciones entre hierro y carbono, mientras la aleación esté en estado sólido, en -- dos diferentes presentaciones: Puede ser que el carbono esté en solución dentro de la masa metálica de hierro. En este caso el carbono no sustituye a uno de los átomos de hierro del cristal, sino que se coloca en un lugar intermedio dentro de la red de los átomos del hierro. La segunda posibilidad de presencia del carbono en hierro es una precipitación del mismo, fuera del cristal, y en este caso existen dos formas: El carbono se puede precipitar en forma de carbono elemental (Grafito) o bien puede formar un compuesto químico -- con el hierro en el momento de precipitarse con la fórmula química  $Fe_3C$  que es carburo de hierro o cementita. Las formas de precipitación, ya sea como grafito o como cementita y las condiciones bajo las cuales se mantiene el carbono en solución han sido estudiadas ampliamente y se reflejan en el diagrama de equilibrio Hierro-Carbono. Para fines de soldadura, solamente el diagrama Hierro-Carbono tiene importancia ya que hace referencia a la formación de cementita. Los factores que influyen en este diagrama son la temperatura del hierro y su contenido de carbono en por ciento, pero solamente hasta un contenido de 6.68% porque la cementita pura se -

forma cuando el contenido de carbono es de 6.68% que es el porcentaje estequiométrico de la cementita. Con el fin de hacer comparaciones se repiten las comparaciones más importantes del metal netamente puro: El hierro desde temperatura ambiente hasta  $910^{\circ}\text{C}$  se llama ferrita o hierro alfa. La estructura de su red atómica es cúbica con un átomo centrado en el cuerpo. El hierro alfa sufre una variación de sus características magnéticas a los  $768^{\circ}\text{C}$ , sin que ocurra un cambio en la estructura de la red atómica. Esta temperatura se llama "Punto Curie". La ferrita es magnética, pero arriba de  $768^{\circ}\text{C}$ , pierde el magnetismo y para poder distinguirlo se le llama ferrita beta. La modificación beta no es de interés en soldadura. A  $910^{\circ}\text{C}$  ocurre otra transformación: Se forma una red atómica cúbica pero con un átomo central en cada cara. Esta modificación del hierro se llama austenita o gamma y no es magnética. La austenita es estable desde  $906^{\circ}\text{C}$  hasta  $1401^{\circ}\text{C}$ , y es la modificación del hierro con el más alto peso específico.

A  $1535^{\circ}\text{C}$ , es la temperatura de fusión del hierro netamente puro.

Por conveniencia se han dado símbolos a los puntos más importantes de la transformación del hierro a causa de temperaturas elevadas:

- $A_4$ : Significa el punto de la transformación Delta-Gamma,  $1401^{\circ}\text{C}$ .
- $A_3$ : Significa la temperatura a la cual sucede la transformación Gamma-Beta.

$A_2$ : Marca la temperatura del cambio de magnetismo, transformación Beta-Alfa a  $768^{\circ}\text{C}$ . Para la soldadura es de menor importancia.

$A_1$ : Fija la temperatura del eutéctico Fe-C y al mismo tiempo - la temperatura de la formación de la perlita pura a  $721^{\circ}\text{C}$ .

Es muy importante agregar que tanto la temperatura  $A_1$  como  $A_3$  tienen una histéresis que depende de la velocidad del calentamiento o del enfriamiento: Velocidades rápidas de enfriamiento desplazan la temperatura  $A_1$  y  $A_3$  hacia temperaturas más bajas. Solamente un enfriamiento de  $20^{\circ}\text{C}$  por minuto o más rápido hace aparecer histéresis y velocidades rápidas de calentamiento desplazan la transformación hacia las temperaturas más altas.

#### LOS EFECTOS PRINCIPALES DEL CARBONO

Al agregar carbono al hierro puro se reduce gradualmente su punto de fusión hasta llegar a un mínimo,  $1145^{\circ}\text{C}$ , que se logra cuando el contenido de carbono es de 4.3%. El punto mínimo de fusión corresponde al punto eutéctico, al cual se le ha dado el nombre de Ledeburita y es la aleación entre hierro y carbono con la más baja temperatura de fusión. Pero no solamente en temperatura de fusión se refleja el contenido de carbón, sino también en otros aspectos más. La temperatura de transformación Austenita-Ferrita ( $A_3$ ) se desplaza hacia temperaturas más bajas y como resultado se aumenta el rango de temperatura de la existencia de la austenita. El punto más bajo de esta transformación está en  $721^{\circ}\text{C}$ . En el diagrama Hierro-Carbono,

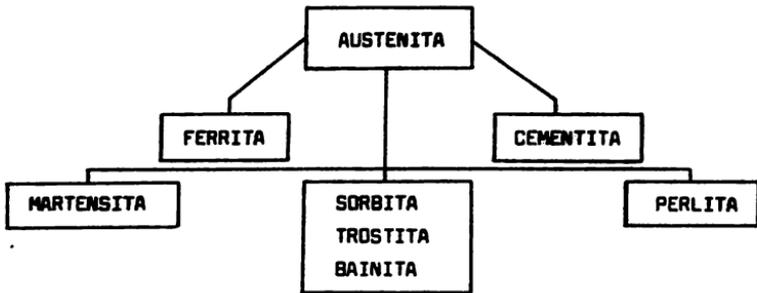
que se aprecia en la gráfica (1.1), este punto de transformación está marcado con la letra "S". Por otro lado se desplaza también la temperatura de transformación Gamma-Delta, hacia temperaturas más altas y alcanza en su máximo  $1487^{\circ}\text{C}$ . --- (Marcado con J.) Al punto "S" corresponde un contenido de --- carbono de 0.86% y al punto "J" uno de .20% aproximadamente.

El carbono también es el causante que, aparte de la fase líquida y la fase sólida, existe en la aleación hierro-carbono una zona con una fase plástica que se compone de hierro líquido y cristales sólidos de hierro Gamma. La zona mencionada está comprendida entre los puntos A,B,C,E,I, del diagrama de fases, mientras abajo de la línea C,E,I solamente -- existe hierro sólido.

Al calentar un acero arriba de la línea GOS (O si contiene más carbono arriba de la línea GOSE) o al enfriar -- por abajo de las temperaturas que marcan los puntos N,J,E, se forma el hierro Gamma, Austenita, que puede considerarse como la modificación clave para la explicación de qué es el acero. Y decimos que el acero es un hierro que contiene carbono y -- que se puede transformar completamente en austenita aumentando debidamente la temperatura. La definición dada es válida solamente para aceros de baja aleación, en virtud de que los aceros inoxidables, por ejemplo, no muestran siempre una --- transformación Austenita-ferrita. En el diagrama podemos ver que la transformación solamente es posible cuando el carbono es menor del 2% (Punto E).

Con más contenido de carbono no es posible obtener Austenita pura, sino solamente Austenita con Cementita y esta mezcla recibe el nombre de Ledeburita. La interpretación no es totalmente exacta, pero limita para fines técnicos la definición de acero. Además solamente es aplicable en los casos de hierro sin ningún otro aleante, porque muchos de ellos, y principalmente el Cromo, el Manganeso y el Níquel refuerzan o disminuyen los efectos del carbono. Mediante aleantes es posible ampliar la zona de existencia de la Austenita, efecto que causa, por ejemplo, el Cromo.

El carbono se encuentra en la Austenita en una solución en estado sólido y como ya se mencionó el máximo de Carbono que se disuelve es el 2% de carbono a una temperatura de  $1450^{\circ}\text{C}$ . (Punto E en la gráfica de Fe-C). Al enfriarse una aleación de hierro y carbono que contiene menos del 2% de carbono, primeramente procede una precipitación de carbono, porque con temperaturas descendentes el equilibrio se vuelve inestable al pasar la línea marcada con los puntos GSE hacia temperaturas más bajas. Depende de la velocidad del enfriamiento que se presenten diferentes formas de los productos de la descomposición de la Austenita, compuestos que en su totalidad forman la "microestructura del hierro" y que no son nada más que formas especiales de ferrite y cementita, porque éstas dos sustancias son los componentes estables en el rango de temperaturas abajo de  $721^{\circ}\text{C}$ . Con toda razón se puede considerar que el acero es, a la temperatura ambiente, un producto de la descomposición de la Austenita, y los componentes están en formas esquemáticas.



#### COMPONENTES DEL ACERO

De lo que se expuso con anterioridad se deduce fácilmente que los diferentes componentes que forman el acero son la clave para todo el comportamiento del material y su evaluación, su interpretación y su control son de vital importancia para toda la industria siderúrgica, la técnica y los métodos que se usan para descubrir e interpretar los diferentes componentes -- del acero se llama Metalografía y se aprovecha de los métodos -- más modernos de la Física.

Para hacer más visible los diferentes componentes que forman la microestructura se pule una probeta (Pieza del acero) e pulido espejo y después se ataca con diferentes soluciones, -- siendo la de más uso una mezcla de alcohol metílico, o etílico, con el 3% de ácido nítrico, llamándose esta mezcla "Nital". -- Las diferentes soluciones de ataque actúan en una forma diferente en cada uno de los variados componentes del acero. Mediante un microscopio metalográfico se puede distinguir los componentes, gracias a la variación en el grado y la forma como han --

sido atacados por el agente químico. De las múltiples formaciones de componentes del fierro se presentarán a continuación una selección de los más importantes sin que la lista de estos componentes esté completa.

### FERRITA

La Ferrita es la modificación del hierro estable a la temperatura del ambiente. En su red atómica corresponde al sistema cúbico centrado en el cuerpo. Bajo el microscopio metalográfico se aprecian cuerpos de color claro y formas muy irregulares. La modificación no magnética de la ferrita, la llamada "ferrita beta" es muy similar en su aspecto, para fines de soldadura tiene poca o ninguna importancia. Existe además una modificación delta de la misma ferrita, estable a temperaturas muy altas, y de poco interés práctico también. Esta modificación tiene la misma estructura de la red atómica que la ferrite alfa. Tanto la ferrite alfa como la delta mantienen en estado sólido menos carbono en solución que lo que tiene la Austenita, siendo solamente 0.018% de carbono a los  $721^{\circ}\text{C}$ . Con el descenso de la temperatura se reduce todavía más esta solubilidad y a la temperatura ambiente el porcentaje del carbono soluble en ferrite alfa llega a un valor infinitamente pequeño. Esta insolubilidad del carbono en ferrite es la base para un posible endurecimiento de aceros que normalmente se consideran como aceros suaves, si mediante un enfriamiento extra-rápido se suprime total o parcialmente la separación del carbono.

## AUSTENITA

La rejilla atómica que corresponde a la Austenita es cúbica con un átomo centrado en las caras. Al disolverse el carbono a temperaturas elevadas la austenita se coloca en lugares entre los átomos del hierro. Esta colocación es posible porque el volumen del átomo del carbono es relativamente pequeño comparándolo con el volumen del átomo de hierro. Los lugares preferidos del carbono son el centro del cubo y también -- los centros de las aristas del mismo. Observar la estructura de la austenita, a temperaturas del ambiente, solamente es posible en aceros aleados con los elementos que amplifican la -- zona de la existencia de la austenita, principalmente Níquel y Manganeso. La Austenita no es magnética y es de todos los --- componentes del hierro la del mayor peso específico. Su conductividad térmica y eléctrica es menor que la del hierro alfa (ferrita). Para que un acero responda a un temple mediante -- enfriamiento rápido en agua, aire o aceite, es necesario que -- el material en cuestión pueda ser transformado en Austenita -- con un aumento de temperatura. Los aceros inoxidables ferríti- cos que mediante temperatura no se pueden transformar en Auste- nita no responden al temple por esta razón. Una de las líneas más importantes de aceros austeníticos es la de aceros inoxidables a base de Cromo y Níquel.

## PERLITA

Se llama así porque bajo el microscopio presenta un aspecto comparable a una perla por su brillo. La perlita es una mezcla tipo laminar entre ferrita y cementita, únicamente que las laminitas individuales son de un tamaño tan reducido que solamente con microscopio de alta amplificación se pueden distinguir bien.

En la perlita hay alrededor del 13% de cementita, - se forma al enfriarse el hierro abajo de la temperatura de --  $721^{\circ}\text{C}$ . Aceros con 0.86% de carbono se componen netamente de perlita, si es que han sido enfriados lentamente. Si el contenido de carbón es menor del 0.86% (A la izquierda de la línea con punto y raya en la gráfica Fe-C) se forma primeramente ferrita hasta que el resto se enriquece al 0.86% de carbono y entonces es cuando el resto del hierro se transforma en perlita. Así se obtiene una textura mixta que se compone de ferrita y perlita. Por otro lado, teniendo la aleación más - de 0.86% de carbono, se precipita primeramente Cementita (a - la derecha de la línea con punto y raya en la misma gráfica) hasta que el resto se ha empobrecido en carbono y ha llegado a 0.86%, formándose entonces perlita. Al igual que en toda - la cristalografía, en el hierro también rige, un enfriamiento lento cause un crecimiento de los cristales individuales, --- mientras que un enfriamiento rápido suprime el crecimiento y provoca muchos cristales finos. Si esto sucede con el acero, se desplaza la transformación austenita perlita hacia temperaturas más bajas y resulta una estructura de hojitas de ferrita y cementita de tamaños tan reducidos que no se logra distinguir con un microscopio de luz. Estas modificaciones se

llaman Bainita, Sorbita y Troostita y no son nada especial, sino simplemente modificaciones de la perlita. Los términos Sorbita y Troostita se usaron, aunque hoy en día se consideran como anticuados y realmente no deberían usarse. Pero hay muchas publicaciones que usan tales términos y además caracterizan una microestructura entre perlita y la verdadera Bainita. La velocidad del enfriamiento y la formación de la perlita es de suma importancia, porque al reducir la velocidad de enfriamiento, o más efectivo todavía, mantener un poco abajo de  $A_1$  (aproximadamente  $20^{\circ}\text{C}$  abajo) se suprime la formación de perlita fina y se forma ferrita y cementita modular que hace suave el acero. El mecanismo exacto de esta transformación es tema de los tratamientos térmicos y esté fuera del alcance de este resumen.

### MARTENSITA

Como se vio anteriormente, también la Martensita es un producto de la descomposición de la austenita y se forma cuando por la alta velocidad del enfriamiento no hay tiempo suficiente para que los átomos de carbono puedan colocarse en los lugares que les corresponden para formar perlita, y se obligan a quedarse dentro de las redes atómicas en lugares que no les corresponden. La red será forzada y a consecuencia se deforma. A la martensita le corresponde una red igual que a la ferrita, pero el carbón que queda incrustado en la red, deforma la misma red hacia cuerpos tetragonales. Por el estado forzado de la red martensítica no se puede considerar esta modificación como un sistema estable, sino como un sistema que trata de transformarse en un sistema estable, pero con una velocidad infinitamente lenta: El tiempo de transformación es infinito. Estos sistemas se llaman "Meta-Estables". La formación del sistema estable en el caso de la martensita se puede lograr con un aumento en la temperatura, sin llegar necesariamente a la temperatura  $A_1$ : Porque con más temperatura, aumenta también la movilidad de los átomos y así ellos tendrán la mayor facilidad de colocarse en el lugar que realmente les corresponde. Este tratamiento se llama Revenido.

Las condiciones que originan la formación de martensita son muy variables y para una explicación más amplia se necesite consultar la literatura respectiva.

### CEMENTITA

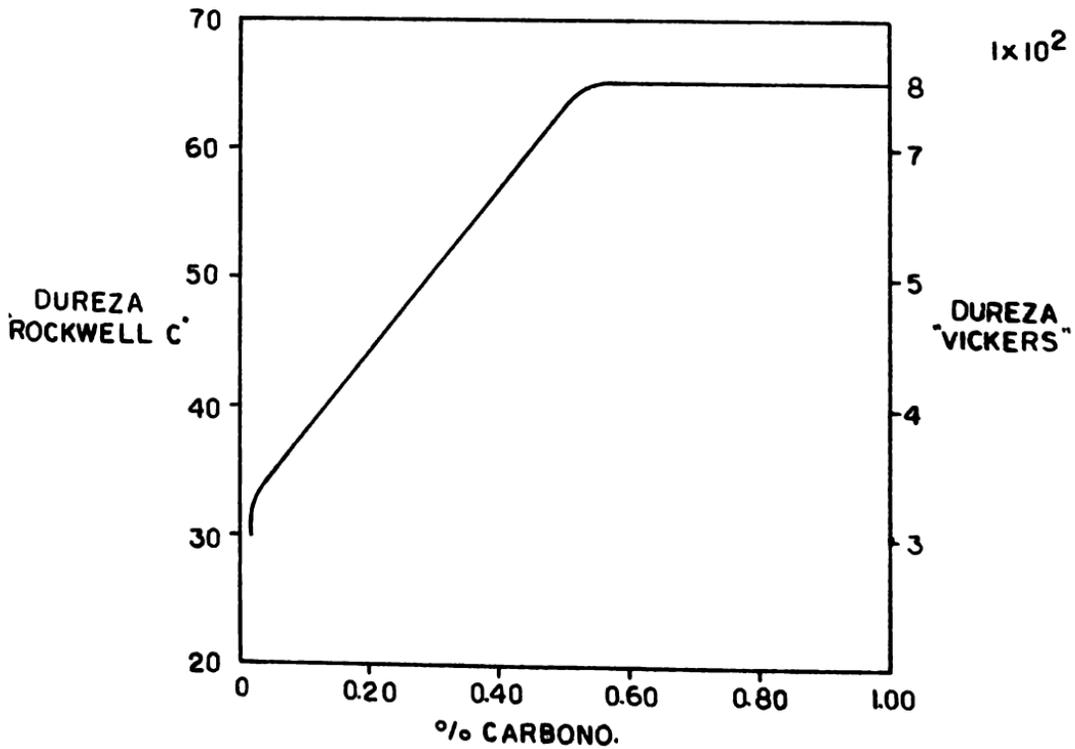
Es químicamente carburo de hierro ( $\text{Fe}_3\text{C}$ ), con 6.68% de carbono. Aparte de la cementita  $\text{Fe}_3\text{C}$  existen otros carburos de hierro que en su composición química no se definen con exactitud. Si se precipita la cementita al enfriarse el hierro líquido (fundición) se habla de "cementita primaria" y si se precipita como producto de la descomposición de la austenita, por ejemplo en un proceso de temple, se llama "cementita secundaria".

### LEDEBURITA

La ledeburita es, como ya se hizo mención, el Eutéctico de Hierro y Carbono con el punto de fusión más bajo de -- todas las aleaciones entre carbono y hierro. También la ledeburita, por ser eutéctico, se forma de preferencia y en aleaciones que contienen más de 4.3% de C, se separa primeramente Cementita hasta que el resto del material empobreció el contenido de carbono que corresponde a la ledeburita. No es una -- sustancia homogénea, sino que se compone, a temperaturas altas, de una mezcla de austenita saturada con Carbono y Cementita, -- pero por su forma especial y su característica presentación -- obtuvo un nombre propio.

## EFECTOS DEL CARBONO EN SOLDADURA

El elemento carbono no solamente es el más común en los aceros, sino también el elemento que más efectos causa y, visto desde el punto de las soldaduras, sus efectos siempre son desfavorables. Esto se debe principalmente a la propiedad del carbono de mantenerse en solución dentro del hierro  $\gamma$  (Austenita) a temperaturas altas y a la separación del carbono cuando la temperatura cae abajo de la línea de transformación GOS en el diagrama de equilibrio de fases Hierro-Carbono. Tal separación, como ya se ha mencionado, puede ser suprimido total o parcialmente, resultando entonces una estructura del hierro llamada "Martensita", la misma que causa un aumento de dureza en el material. El grado de dureza varía con el aumento del carbono hasta llegar a un máximo, de ahí en adelante no se logra más aumento en la dureza (Gráfica 2). La formación de la martensita también depende de la velocidad del enfriamiento, entre más rápido sea el enfriamiento mayor será el porcentaje de la martensita y, lógicamente, la dureza. Para obtener una formación netamente martensítica es necesario una determinada velocidad mínima de enfriamiento, expresada en grados por segundos, llamada "Velocidad Crítica de Enfriamiento". Pero el contenido de carbono en un acero no solamente aumenta la dureza obtenible sino también reduce la velocidad crítica del enfriamiento, en otras palabras: Un contenido mayor de carbono causará más dureza a la misma velocidad de enfriamiento. Esta característica del carbono (aumento de la dureza) se usa ventajosamente en aceros expuestos al desgaste, mientras para uniones hechas a base de soldadura con fines de construcción siempre es indeseable.



GRAFICA 2

Bajo circunstancias normales y en ausencia de otros aleantes se considera que el límite que permite soldar con seguridad y sin medidas especiales de precaución es el 0.25% de carbono en el material base.

El aumento de la dureza en un acero no tendría efectos desfavorables si se limitara únicamente a esto. Pero un aumento en la dureza siempre lo acompaña una reducción en la elasticidad del material y, en la misma proporción, que se reduce la elasticidad, aumenta la fragilidad. Además, la reducción de la elasticidad del acero, causada por un aumento de la dureza, trae consigo que los esfuerzos por contracción no se distribuyen en toda la zona que ha sido expuesta, sino la mayor parte de estos esfuerzos se concentran en la soldadura y, en muchas ocasiones (especialmente si el contenido de carbono excede del 0.25%, la soldadura no soporta los esfuerzos de contracción, resultando fisuras en el depósito. Desde luego, no solamente el carbono sino otros elementos también causan el mismo efecto o refuerzan los efectos del carbono.

En la práctica se presenta muchas veces el problema de cómo determinar con seguridad si un material, que en su composición este cerca del límite que permite soldar con confianza, todavía se puede soldar o si la soldadura ya representa un riesgo. Este mismo problema se presenta también en el caso de aceros de una composición desconocida.

Para resolver muchos de los problemas es necesario recurrir a la teoría de la transformación del hierro y aplicando los conocimientos teóricos en la práctica se encontrará una solución: Se sabe que la dureza es causada por una estructura martensítica, provocada por un enfriamiento rápido. La

martensita se puede suprimir cuando el enfriamiento es lo suficientemente lento, abajo de la velocidad crítica. En este caso se logra la formación de ferrite y sus variaciones y precisamente estas formas de la microestructura del acero son las que no presentan una dureza exagerada. La meta será procurar que el acero al enfriarlo se haga a una velocidad lenta para no provocar la formación de la martensita. Además, es bien conocido -- que con un contenido creciente de carbón se reduce la velocidad crítica del enfriamiento con lo cual todavía es posible que --- aparezca la formación de la martensita.

En la práctica se logra el enfriamiento lento mediante un calentamiento de la pieza a soldar antes de llevar a cabo la soldadura y la temperatura necesaria para este precalentamiento, con el fin de evitar el endurecimiento, depende del contenido de carbono: Entre más alto es el contenido de carbono -- más alto debe ser la temperatura de calentamiento. Las indicaciones que se darán a continuación son de tipo general y, aunque son útiles para muchos casos, no son una solución perfecta, pues el comportamiento de un acero es un mecanismo complejo.

Para poder precisar la temperatura necesaria de un precalentamiento, con el fin de reducir la velocidad del enfriamiento, haciéndolo suficientemente lento para no provocar martensita, es indispensable tomar en cuenta no solamente el contenido del carbono del material sino también otros aleantes que casi todos actúan en el sentido de favorecer la formación de martensita. Con un aumento de estos aleantes, principalmente Cromo, Manganeso y Níquel, aumentará también la temperatura necesaria para el precalentamiento. Naturalmente sería muy complejo considerar a cada uno de los aleantes por separado y, con

el fin de simplificar el proceso, se ha establecido el "Equivalente de Carbono". Este equivalente de carbono indica qué porcentaje de carbono sería necesario en un acero aleado para causar los mismos efectos de endurecimiento si todos los aleantes fueran sustituidos por carbono. Para calcular el equivalente de carbono se da la siguiente fórmula:

$$E_c = \%C + \frac{\%Mn}{6} + \frac{\%Ni}{15} + \frac{\%Cr}{5} + \frac{\%Mo}{4} + \frac{\%Cu}{13} + \frac{\%Si}{4} + \frac{\%V}{5}$$

Donde  $E_c$  significa "Equivalente de Carbono" mientras los porcentajes de los elementos se refieren a su composición química.

Es de mucha importancia mencionar que la fórmula del equivalente de carbono solamente se puede aplicar si la suma de todos los aleantes es de 5% ó menos y proporciona únicamente una orientación sin ser completamente exacta.

## INFLUENCIA DE ALEANTES E IMPUREZAS

El carbono es sin duda el elemento más importante en provocar dureza, pero no es el único que se usa como aleante o que aparece como impureza en un acero. Aparte del endurecimiento del material, que siempre está sujeto a la presencia de carbono, se notan otros factores de influencia en la soldabilidad de un acero, causando de vez en cuando dificultades que impiden una soldadura. A continuación se dará un resumen de los elementos de más importancia y al mismo tiempo sus efectos más sobresalientes en soldadura.

### AZUFRE

El azufre es una impureza que se encuentra en cantidades pequeñas, prácticamente en todos los aceros, en la mayoría de los casos como impurezas de refinación y en algunos casos, como aleante. El uso de aceros aleados con azufre se limita al material que se usa en torno revólver porque el azufre hace que las rebabas de corte sean más cortas, propiedad deseada para tornos automáticos. En este caso se usan contenidos hasta de 0.45% de azufre. Para fines de soldadura el azufre es, en todos los casos, una impureza que puede provocar múltiples dificultades y hasta hacer imposible la soldadura. El límite hasta el cual no se esperan dificultades es el 0.05% en el material base y 0.03% en el material de aporte. Azufre y hierro forman un compuesto químico, sulfuro de hierro ( $FeS$ ). Este compuesto no es soluble en el hierro y se separa en las orillas de los granos. Además se forma un eutéctico entre  $FeS$  y Austenita cuyo punto de fusión es de  $986^{\circ}C$ , principalmente en las zonas enriquecidas de azufre

como son los límites de los granos y este eutéctico se mantiene líquido a temperaturas a las cuales el resto del hierro ya se ha solidificado. El eutéctico líquido real es similar a un "lubrificante" o película separadora, permitiendo que los granos del hierro patinen sobre esta película, efecto notorio en la separación de los cristales, la llamada "grieta". Un contenido elevado de azufre en el material base se puede compensar, hasta -- cierto grado, usando electrodos de un contenido de Manganeso -- más alto (arriba de 0.6% en depósitos no aleados) porque el elemento Manganeso se liga más fácilmente con el azufre formando  $MnS$ , cuyo punto de fusión es más alto que el de  $FeS$  y así no se forma la película lubricante entre los cristales. Es esta la razón por la cual para aceros de un contenido alto de azufre la selección del electrodo adecuado es de tanta importancia.

#### MANGANESO

El elemento manganeso se usa en aceros no aleados en cantidades hasta del 2% y, generalmente hablando, se trata de - un elemento que facilite la soldabilidad, entre otras razones - por ligarse con el azufre. El Manganeso aumenta la resistencia a la tracción y el límite elástico, pero también -en combinación con carbono- reduce la velocidad crítica del enfriamiento provocando en este caso un endurecimiento del material. Mientras el carbono no excede de 0.25% y el manganeso de 1.3% se -- considere como "sin problema", de acuerdo con la fórmula del -- equivalente de carbono. Aceros muy pobres en Manganeso, con mg nos del 0.25% o depósitos con una cantidad similar de Manganeso, pueden causar problemas en soldadura por su falta de elasticidad y su tendencia a las fisuras.

En investigaciones recientes se aclaró que la influencia del Manganeso y del Azufre en aceros requiere una nueva y más amplia explicación, K. Born y W. Lauprecht. Alarmados por fallas en construcciones soldadas, y de grandes dimensiones, se efectuaron investigaciones amplias que descubrieron una enorme diferencia en los datos físicos de aceros, si se comparan los datos de especímenes tomados en diferentes direcciones en relación con la dirección de laminación.

El fenómeno se conoce como "anisotropía" y sus efectos se presentan como grietas dentro del material base a poca distancia de la soldadura y paralelas a la superficie del material. En las investigaciones se comprobó que las grietas fueron originadas por incrustaciones de MnS, pese al detalle que todos los aceros fueron de un contenido de azufre bajo (entre 0.007 y 0.030%) y con suficiente manganeso (0.60 - 0.90%) como para no esperar ninguna dificultad. Se ha comprobado que las incrustaciones de MnS no son de ninguna manera sin efectos si las planchas están expuestas a esfuerzos perpendiculares a la dirección de laminación, cosa común en recipientes de presión. El efecto desfavorable del MnS se nota aunque el contenido de azufre esté muy abajo de 0.05% y además se descubrió que aceros desoxidados y aceros de grano fino, principalmente si se trata de material desoxidado con aluminio, son más sensitivos a este tipo de desperfectos.

## FOSFORO

Similar al azufre se considera el fósforo como una de las principales impurezas que causan dificultades al soldar. - Este elemento provoca en los aceros el fenómeno de hacerlos que bradizos a una temperatura alrededor de  $400^{\circ}\text{C}$  y esta característica del fósforo se nota en la soldadura como una sensibilidad a fisuras durante el enfriamiento del acero, porque por falta de elasticidad en el rango de temperaturas alrededor de  $400^{\circ}\text{C}$  - se agrieta el material al tener que soportar las fuerzas de contracción. Para material base se considera como límite que no - cause problema el 0.05%, mientras que para depósitos se permiten hasta 0.03% de fósforo. Como aleante se usa el fósforo en fundición artística porque hace más fluido el hierro colado, -- formando un eutéctico, llamado Esteadide, que se funde a  $950^{\circ}\text{C}$ . A este uso del fósforo, hacer que fluya más el hierro colado, - se deben muchas veces las dificultades al tratar de soldar hierro fundido. Otro efecto desfavorable del fósforo es su gran - tendencia a segregaciones que se manifiestan en una concentra-ción local del elemento en ciertas zonas, especialmente en las que en el proceso de fundición se solidificaron al último. Los fabricantes de aceros aplican una desoxidación con ferrosilicio y otros medios para contrarrestar las segregaciones, mejorando así las características del material para fines de soldadura.

**CROMO**

El cromo es uno de los metales de más uso en aceros de resistencia elevada, porque cantidades relativamente reducidas (menos del 1%) aumentan considerablemente la resistencia a la tracción y al límite elástico, pero también la dureza aumenta, principalmente en presencia de carbono. Además, tiene el efecto de reducir la velocidad crítica de enfriamiento, proporcionando al acero mucha facilidad de endurecimiento y por esta razón los aceros con cromo siempre son delicados para soldar. Un contenido arriba del 1% del cromo aumenta la resistencia a la corrosión. Dentro de la línea de electrodos que se encuentran en el mercado existen tipos con una resistencia elevada y muchas veces se usan estos electrodos para soldar aceros de alta resistencia a la tracción, sin tomar en cuenta las razones del porqué el acero es de una resistencia elevada. Muchas veces, por ejemplo en la varilla corrugada para la construcción, la resistencia elevada se logra mediante un contenido en carbono arriba de 0.40% y soldar este tipo de varillas con electrodos a base de cromo es de sumo peligro, debido a la fácil formación de zonas duras en la región donde se mezcla el material base con el material de aporte, en este caso las fisuras son una consecuencia inevitable. Los aceros al cromo, incluyendo los aceros de alta aleación, requieren una atención especial en todo proceso de soldadura y si el carbono excede de 0.12% casi siempre es inevitable precalentar antes de soldar.

### NIQUEL

Este elemento se usa tanto en aceros de baja aleación como en aceros del tipo inoxidable. Desde el punto de vista de soldadura no se presentan problemas aun en aceros cuyo contenido de carbono sea un poco más alto que lo normal. En combinación con el cromo el níquel refuerza los efectos del cromo en endurecimientos. Aceros con 3% de níquel, aproximadamente, se distinguen por sus excelentes características físicas a temperaturas bajas.

### SILICIO

Es un elemento de mucho uso en aceros. Mientras el porcentaje no sea mayor de 0.50% este elemento no causa problema en las soldaduras.

Contenidos mayores, especialmente en el depósito, reducen las características de la resistencia al impacto, haciendo al acero menos tenaz. Aceros de alto contenido se usan en transformadores y son delicados para soldar.

### COBRE

Se encuentra en pequeñas cantidades (hasta de 0.25%) prácticamente en todo hierro. Mientras el contenido no pase el límite mencionado el cobre cause pocos problemas. Cantidades mayores y especialmente en combinación con azufre causan problemas similares a los del azufre.

Además, puede indicar que el acero es de grano fino o de alta resistencia.

**MOLIBDENO**

El molibdeno se usa en aceros estructurales hasta el 1% y se puede considerar como un elemento sin problemas para soldaduras. Según algunos autores un contenido de molibdeno hasta del 0.5% es favorable para la soldabilidad.

Aceros con molibdeno son de una resistencia a la -- tracción más alta y requieren un cuidado especial en la selección del tipo de electrodo.

Esta lista de elementos aleantes de ninguna manera -- esta completa y solamente se consideran los aleantes principales. Aparte de los mencionados se encuentran en aceros que no son del tipo inoxidable los elementos Aluminio, Titanio, Niobo, Tantalio, Boro, Vanadio y algunos otros más, aunque en cantidades menores.

## CRISTALIZACION Y RECRISTALIZACION

Hasta ahora se ha tratado el acero como si formara una masa uniforme que tiene un orden de sus átomos conforme a las dos configuraciones básicas del hierro. Tal suposición - es correcta dentro de ciertos límites pero si se observa una pieza de acero como una unidad es necesario hacer ciertas consideraciones. En realidad una pieza de hierro no se compone de una masa completamente homogénea con todos los átomos en - el mismo orden, sino lo correcto es que una gran cantidad de las células o celdillas elementales forman conjuntos más grandes, los llamados "Cristales de Hierro". Estos cristales a - su vez se juntan formando así el total de la pieza de acero - que se observa y, aunque a simple vista no se puede apreciar, no hay lugar a dudas que el hierro, como todos los metales, - es de una estructura cristalina. Aparte de su microestructura y los fenómenos relacionados con ella es la estructura --- cristalográfica el factor más importante que influye en las - características físicas de un acero. Para diferenciar de la microestructura a la formación cristalográfica también se le llama estructura porque aplicando los métodos adecuados es posible ver los cristales del fierro sin el uso de una lupa o de un microscopio.

Los cristales de un metal, y específicamente de un acero, se forman en el momento de la solidificación cuando el - metal pasa del estado líquido al sólido y los dos factores -- que más influencia tienen en el tamaño de los futuros cristales son el número de núcleos de cristalización, presentes en el momento de la solidificación y la velocidad del enfriamiento. La formación de los cristales no es completamente irregular sino sujeta a ciertas reglas y leyes. de

más importante para la soldadura es que un cristal una vez iniciado, crece siempre en sentido opuesto a la absorción de calor. En el caso de la soldadura la zona de más conductividad térmica está en las partes que tienen contacto con el material base, -- siendo las orillas del depósito, porque los metales son mejores conductores del calor que el aire: La solidificación del metal fundido por el arco progresa del material base hacia el centro del cordón.

Paralelo a esta solidificación procede también el crecimiento de los cristales del hierro: Todos comienzan a formarse con un núcleo cerca o directamente en el material base que no se ha fundido y crecen en una misma dirección que es hacia el centro del depósito, zona que se solidifica al último.

Al mismo tiempo con la solidificación en un determinado sentido se nota también un crecimiento dirigido de los cristales de un tamaño relativamente grande con ejes cristalográficos dirigidos hacia la zona fundida. La formación característica de cristales grandes y dirigidos en aceros se conoce como -- "estructura dendrítica". Este tipo de cristales grandes, y especialmente los dendríticos, son de características físicas pobres, frágiles y de poca resistencia a esfuerzos dinámicos.

Con el conocimiento del origen de las columnas dendríticas se descubre al mismo tiempo cómo remediarlas: Disolviéndolas y procurando que se formen mayor cantidad de cristales de un tamaño más reducido. El proceso de disolver los cristales y la formación de nuevos de un tamaño más reducido se llama "Re--cristalización" y es un efecto muy deseable y beneficioso a la --

soldadura, un detalle que esta en contra de la creencia común que considera a la recristalización como dañina, mientras en realidad lo peligroso, no solamente para la soldadura sino para los aceros en general, es una cristalización que cause granos de grandes tamaños. Para originar una recristalización, con el fin de refinar los granos, no es necesario lograr el estado líquido del material, sólo basta con calentar arriba de la temperatura crítica, que es diferente en los distintos aceros que existen. En la práctica se usa el propio calor de la soldadura para obtener una refinación del grano; al colocar un segundo cordón encima del primero, éste, el primero, recibe un tratamiento térmico que se refleja después en una refinación del grano.

El conocimiento teórico de la recristalización del hierro, aplicado a la práctica de soldar, permite la siguiente conclusión: El uso de electrodos delgados que se depositen en cordones múltiples, en lugar de un solo cordón, hecho con electrodo grueso, o bien, la soldadura en dos capas delgadas, en lugar de una gruesa, de más categoría. Este fenómeno, la refinación del grano mediante el cordón siguiente, se refleja en recomendaciones de los fabricantes de material para soldar con procesos automáticos en los cuales el alto rendimiento en una sola pasada es uno de los factores de más importancia. Hay materiales en el mercado que se recomienda solamente para soldar en una sola capa y también hay material que se ofrece solamente para pasos múltiples. Este punto es de suma importancia en la selección del material para evitar el uso de la soldadura inadecuadamente.

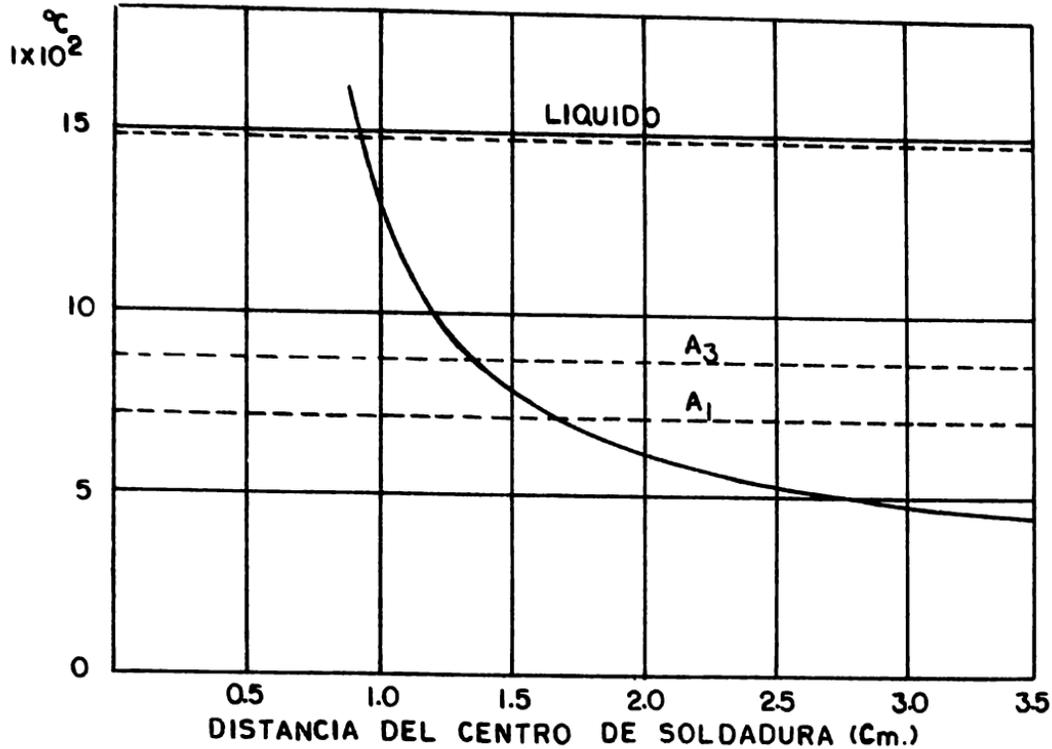
La teoría permite otra conclusión más: Soldar con una velocidad de avance más rápido es ventajoso, porque así se logran cordones más delgados y por tanto un enfriamiento más rápido, formándose así cristales más pequeños y consecuentemente de más calidad. -- Esta recomendación ha sido confirmada en pruebas de laboratorio efectuadas por el autor del libro "Bases de la Soldadura Eléctrica".

La recomendación de un enfriamiento rápido no debe --- confundirse bajo ninguna circunstancia con el enfriamiento rápido a la temperatura de ambiente (temple) sino se refiere a un --- rango de temperatura entre el punto de fusión y una temperatura - de aproximadamente  $550^{\circ}\text{C}$ . Dentro de este rango es donde se logra una recristalización, mientras el crecimiento de los granos termina para fines de soldadura al haber solidificado el material.

### ZONAS AFECTADAS POR EL CALOR

En el desarrollo de la metalurgia en la soldadura se consideraban hasta ahora únicamente los factores que afectan directamente el depósito mismo, sin tomar en cuenta todavía los efectos que tiene el calor producido por el arco eléctrico en las zonas vecinas al depósito. No hay duda alguna que esta influencia afecta al material base y, para poder juzgar la calidad de una unión soldada, es indispensable conocer también los posibles efectos en esta zona.

Una unión soldada parece, a primera vista, completamente homogénea y sin ninguna diferencia apreciable, pero analizando la sección de la misma con métodos metalográficos, como es por ejemplo el ataque con ácidos, se aclara que no es así. El material base cerca del depósito sufrió, por el calor aportado con la soldadura, importantes cambios en su estructura y, en consecuencia, también en sus propiedades físicas. El origen -- del cambio de propiedades en el material base es comprensible -- si se tiene presente que el calentamiento por el calor del arco, que hace fundir el material de aporte y las orillas del material base, no se limita solamente a la zona directamente afectada. Debido a la conductividad térmica del material, que absorbe parte del calor en el material base la temperatura tope a la cual se calienta un punto determinado durante un proceso de soldar, éste se reduce al aumentar la distancia del punto de referencia, que es el centro de la soldadura. En una gráfica que represente la temperatura tope de varios puntos de un material en sentido perpendicular al depósito (Gráfico 3) se pueden distinguir -- diferentes zonas de calentamiento. La subdivisión de toda la --



GRAFICA 3

zona afectada por el calor en tramos individuales permite observar y analizar las diferentes zonas dentro de las cuales el calor produce efectos similares y, en particular, se trate de los siguientes:

1.- La zona que se calentó arriba del punto de fusión. En esta zona se funde el material y se mezcla material -- base y material de aporte. Durante el enfriamiento sigue la formación de la micro-estructura, las mismas reglas que al vaciar un acero. Por lo que se explicó con anterioridad se puede esperar una estructura dendrítica de cristales dirigidos con la influencia conocida en las características físicas del depósito.

2.- Una zona que no llegó al punto de fusión pero -- que se mantuvo arriba de la línea que limita en el diagrama de equilibrio de fases la existencia de material completamente sólido. En esta zona se logra una fundición parcial, manteniéndose dentro del líquido una parte del material en estado sólido. Esta es la zona de más peligro ya que por falta de la fundición completa se presentan segregaciones, especialmente de azufre, que debilitan el material. Esta zona no resiste, en casos críticos, los esfuerzos de la contracción, provocando así grietas que después también afectan al depósito sano.

3.- La zona que logró una temperatura de  $1100^{\circ}\text{C}$  y el límite de la existencia del material pastoso (zona núm. 2). El alto calor producido en esta zona provoca un crecimiento de los granos y se manifiesta muchas veces por un aumento de dureza, -- efecto que sucede también en aceros que normalmente no responden a un tratamiento térmico. En aceros que no son de un contenido de carbono alto o que no responden al temple el aumento de dureza es poco y no presenta peligro. Aceros con más carbono y los que sí responden al temple pueden subir su dureza en una forma -- muy notable, formándose una gran cantidad de martensita. Es la

zona que más problemas causa en estos aceros y solamente un precalentamiento puede reducir el exceso de dureza.

4.- Zona que llegó a temperaturas poco arriba del -- punto  $A_{C3}$ . Las condiciones térmicas en esta zona son favorables y el resultado es una refinación del grano. Los datos físicos - del material en esta zona son casi siempre superiores a los del resto del material. El efecto del calor de la soldadura corresponde a un tratamiento térmico de normalización.

5.- Zona calentada entre  $A_{C3}$  y  $A_{C1}$ . En esta zona -- hubo una transformación parcial en austenita y al enfriarse una retransformación en ferrita o perlita en la misma proporción. -- Las consecuencias son, por lo general, de poca importancia, aunque bajo circunstancias desfavorables, especialmente en el caso de un enfriamiento rápido, puede haber en esta zona también un - endurecimiento.

6.- Zona que no sobrepasó la temperatura  $A_{C1}$ . En es te zona no hay cambio de la micro-estructura por transformación porque el material no alcanzó la temperatura necesaria para convertirse en austenita. El material que antes de soldar ha sido tratado térmicamente, por ejemplo acero bonificado, se presenta un fenómeno comparable con un revenido.

7.- En toda la zona afectada por el calor se nota -- una recristalización en el caso de los materiales que han sido elaborados en frío. Ejemplo clásico de estos materiales son --- las varillas corrugadas de alta resistencia, torcidas o pretensadas en frío. Estas varillas y todo material elaborado en frío (a este grupo pertenece entre otros también el "Cold Rolled"), se deforma en frío siempre con la finalidad de dar más resistencia al material, deformando los cristales durante el proceso de elaboración. El aumento de la resistencia se pierde total o parcialmente en la zona afectada por el calor y el resultado es que

después de soldar se nota una diferencia en las propiedades físicas, resultando una zona menos resistente. El detalle es de importancia porque las varillas corrugadas torcidas en frío no tendrán su resistencia nominal después de soldar, sino una resistencia menor. La pérdida de resistencia es independiente del tipo y de la marca de soldadura y para los cálculos de esfuerzos debe -- considerarse la resistencia reducida después de soldar.

La zona afectada por el calor no se puede evitar en -- una soldadura y se presenta con todos los métodos de soldar. Naturalmente es posible influir, hasta cierto grado, en la velocidad del enfriamiento, especialmente con el fin de prevenir el endurecimiento a causa de un enfriamiento rápido. También es posible controlar dentro de ciertos límites el ancho de la zona afectada por el calor, por ejemplo con un precalentamiento que ensanche la zona afectada. Este efecto es muy útil en algunos casos -- para evitar que se concentren los esfuerzos en una zona reducida, dando así más seguridad a la unión soldada.

## **CAPITULO VI**

**PREPARACION DE MUESTRAS DE SOLDADURAS  
PARA RECUBRIMIENTOS Duros**

Para el mejor estudio de este trabajo seleccionamos nuestras soldaduras de acuerdo a los términos físicos de: Fricción, Abrasión, Erosión e Impacto.

Sabiendo que la fricción es la fuerza de oposición generada entre dos metales por el movimiento continuo entre -- ellos, este movimiento puede ser por deslizamiento o por rodamiento.

La abrasión es el desgaste producido en los equipos de trabajo de las máquinas de construcción, agrícolas y de minas. Cuando éstas trabajan con materiales de dureza mayor que el acero y normalmente son elementos no metálicos. El desgaste es producido por deslizamiento.

La erosión es la pérdida progresiva de metal producida por la acción de roca continuo de gases ó líquidos que -- contienen materias en suspensión, de mayor dureza que nuestro metal (abrasivos).

A continuación damos una clasificación de abrasivos naturales.

Primero - de grado superior son: Diamante, Corindón, Esmeril y Granate.

Segundo - los derivados de Sílice: Arenisca, Cuarzita, Pederrenal, Cuarzo y Pómez.

Tercero - polvos de pulimentación como: Bauxita, Magnesita, - Oxidos de estaño, Hierro, Cromo y Manganeso.

**IMPACTO.**

Es cuando nuestros metales están sujetos continuamente a choques entre ellos mismos o con otros materiales y por tanto se provoca la ruptura, o rotura, de la estructura de una superficie.

**MATERIAL BASE.**

Para el análisis metalográfico de nuestro depósito de soldaduras el material base fue un Cold Rolled 1020, de este material se prepararon 95 muestras con las siguientes dimensiones: largo y ancho 2.5 cm. y espesor 1 cm.

En el centro de cada una de estas muestras se le practicó un avellanado con, más o menos, una profundidad de un  $3/16''$  a  $1/4''$  que son 0.1875" y 0.250", respectivamente. Esta profundidad corresponde al centro del avellanado.

**MATERIAL DE APORTE.**

El material de aporte se adquirió de seis empresas -- productoras de electrodos para recubrimientos especiales y estas son:

EUTECTIC CASTOLIN	cinco electrodos clasificados
ARC WELDING	cinco electrodos clasificados
AGA	tres electrodos clasificados
UTP	tres electrodos clasificados
FLEX ARC.	dos electrodos clasificados

**Procedimiento para preparar nuestras muestras para la metalografía:**

Se prepararon 5 muestras por cada tipo de electrodo - hasta completar 95 o 19 soldaduras especiales.

Nuestro material de aporte tuvo un enfriamiento a la temperatura ambiente.

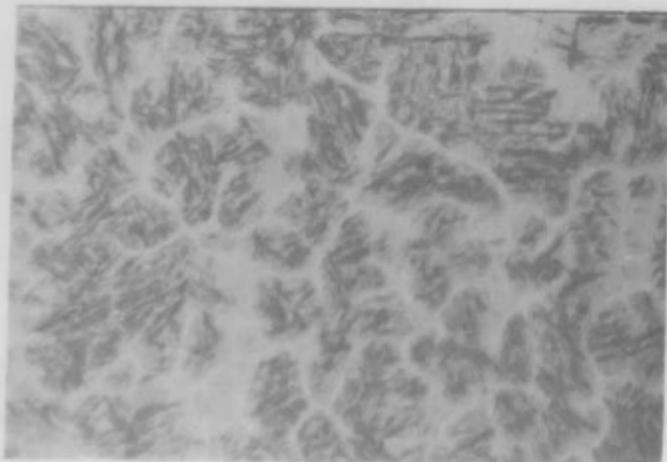
Algunas muestras pasaron por esmeril para emparejar su superficie, tomando en cuenta no rebajar demasiado y no provocar el calentamiento que nos pudiera deformar nuestra microestructura original. En estas condiciones nuestra muestra pasa a un pulido por lijas de diferente graduación para después pasar a discos giratorios con paños donde se agrega slúmina de diferente granulometría. Así, nuestra muestra con un pulido espejo se le agrega un reactivo que puede ser Picral, Nital o Agua regia, teniendo cuidado de que nuestra muestra no se pase de ataque por el reactivo usado, o bien que a nuestra muestra le falte tiempo de exposición con, dicho reactivo, ya que si sucede lo primero no se apreciará nuestra microestructura por exceso de coloreado y si es lo segundo le faltaría color a las estructuras para su apreciación. Si las condiciones son óptimas de nuestra probeta por el ataque se toma la fotografía con el equipo para fotografía microscópica tomando en cuenta la zona objeto de estudio.

## CAPITULO VII

ESTRUCTURAS METALOGRAFICAS DE SOLDADURAS DURAS,  
PARA ABRASION FRICCION E IMPACTO

Muestra 1

Uso del Depósito:	Se emplea para recuperar piezas sujetas a la abrasión y fricción.
Microestructura:	Matriz Ferrita, Martensita, Perlita y Cementita.
Dureza:	Escala "Rockwell C" 58,59,61,61, y 59
Dureza Promedio:	60 Rockwell C.
Reactivo Usado:	Nital 5
Tiempo de Exposición:	12 seg. 15 seg. y 25 seg.
Fotografía:	Aumento 400X
Elementos en el Depósito:	Cr, Mo, Mn, Si, C.



Muestra 2

Uso del Depósito: Se emplea como base o cojín para --  
depósitos de soldaduras con alta du-  
reza.

Microestructura: Ferrita y Perlita.

Dureza: Escala "Rockwell B" 48,48,48,47 y 48.

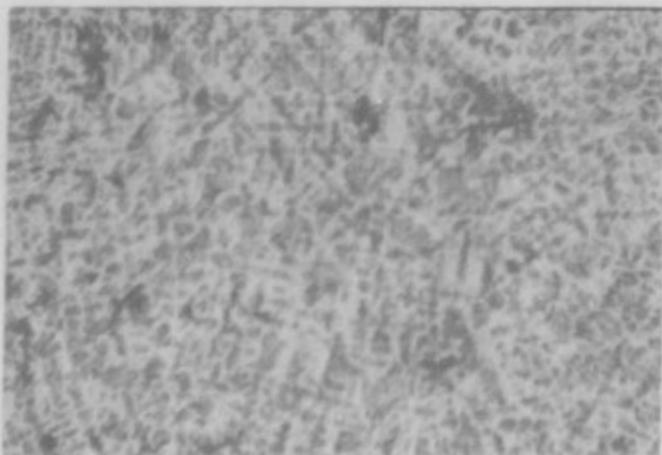
Dureza Promedio: 48 Rockwell B.

Reactivo Usado: Nitel 5.

Tiempo de Exposición: 8 seg. 10 seg. y 12 seg.

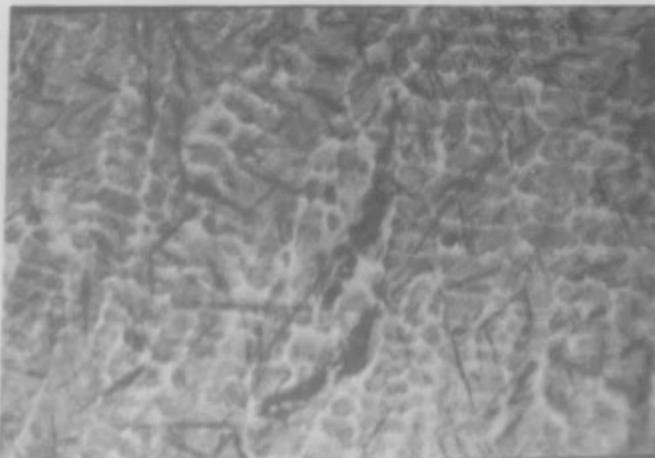
Fotografía: Aumento 400X

Elementos en el Depósito: Ni, Cr, C, Si.



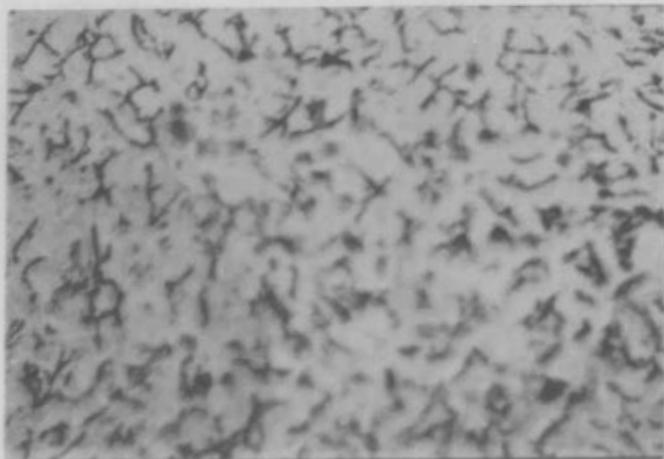
Muestra 3

<b>Uso del Depósito:</b>	Se emplea para recuperar piezas sujetas a la abrasión y fricción.
<b>Microestructura:</b>	Matriz Ferrita, Cementita y Martensita.
<b>Dureza:</b>	Escala "Rockwell C" 52,54,52,52 y 52.
<b>Dureza Promedio:</b>	52 Rockwell C.
<b>Reactivo Usado:</b>	Nital 5.
<b>Tiempo de Exposición:</b>	12 seg. 15 seg. y 25 seg.
<b>Fotografía:</b>	400X
<b>Elementos en el Depósito:</b>	Cr, Mn, Si, C.



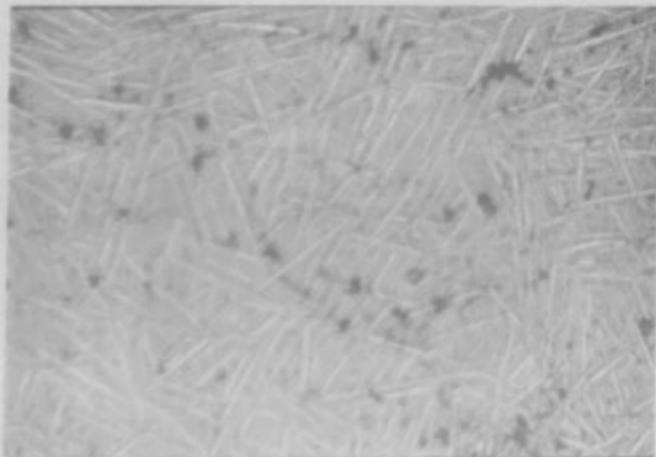
Muestra 4

Uso del Depósito:	Se emplea como base o cojín para depósitos de soldaduras con alta dureza.
Microestructura:	Ferrita y Cementita.
Dureza:	Escala "Rockwell B" 48,48,48,47 y 48.
Dureza Promedio:	48 Rockwell B.
Reactivo Usado:	Nital 5.
Tiempo de Exposición:	8 seg. 12 seg. y 15 seg.
Fotografía:	Aumento 100X
Elementos en el depósito:	Ni, Cr, C.



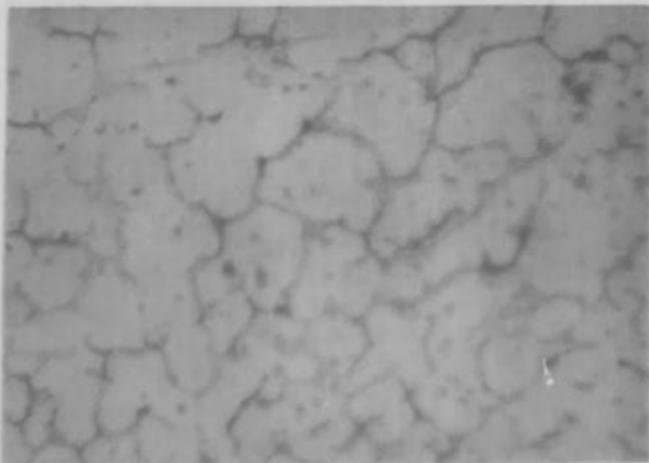
Muestra 5

Uso del Depósito:	Se emplea para recuperar piezas sujetas a la abrasión y fricción.
Microestructura:	80% Martensita Blanca, Perlita, Matriz Ferrita.
Dureza:	Escala "Rockwell C" 64,66,66,64 y 66.
Dureza Promedio:	66 Rockwell C.
Reactivo Usado:	Nital 5.
Tiempo de Exposición:	15 seg. 20 seg. y 30 seg.
Fotografía:	Aumento 400X
Elementos en el Depósito:	Cr, Mn, C, Si.



Muestra 6

Uso del Depósito:	Se emplea para recuperar piezas sujetas a impactos.
Microestructura:	Ferrita y Austenita.
Dureza:	Escala "Rockwell B" 54,55,55,55, y 56.
Dureza Promedio:	55 Rockwell B.
Reactivo Usado:	Agua Regia.
Tiempo de Exposición:	30 seg. 45 seg. y 60 seg.
Fotografía:	400X
Elementos en el Depósito:	Cr, Ni, C, Si.



Muestra 7

Uso del Depósito:	Se emplea para recuperar piezas sujetas a la abrasión y fricción.
Microestructura:	Perlita, Cementita Globular, Carburos complejos y Carburos de Tungsteno.
Dureza:	Escala "Rockwell C" 67,67,67,68 y 67.
Dureza Promedio:	67 Rockwell C.
Reactivo Usado:	Nital 5.
Tiempo de Exposición:	20 seg. 30 seg. y 40 seg.
Fotografía:	Aumento 400X
Elementos en el Depósito:	W, C, Si, Mn.



Muestra 8

**Uso del Depósito:** Se emplea para recuperar piezas sujetas a la abrasión y fricción.

**Microestructura:** Austenita, Cementita y Perlita.

**Dureza:** Escala "Rockwell C" 49,49,50,49 y 50.

**Dureza Promedio:** 49 Rockwell C.

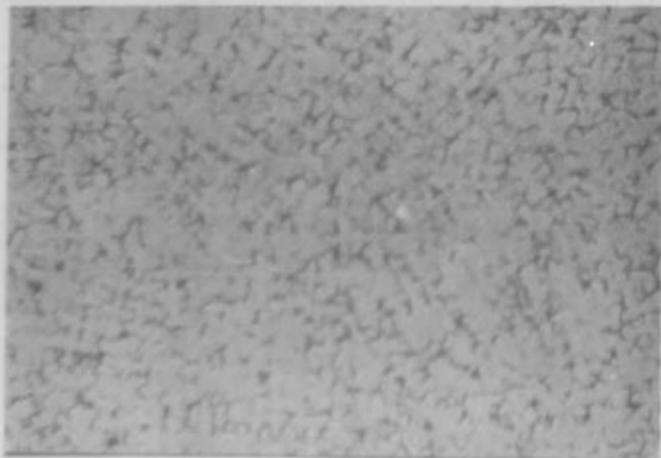
**Reactivo Usado:** Nital 5.

**Tiempo de Exposición:** 15 seg. 20 seg. y 25 seg.

**Elementos en el Depósito:** Cr, Ni, Mn, Si.

Muestra 9

Uso del Depósito:	Se emplea como base o cojín para depósitos de soldaduras con alta dureza.
Microestructura:	100% Ferrita.
Dureza:	Escala "Rockwell B" 47, 48, 48, 49 y 49.
Dureza Promedio:	48 Rockwell B.
Reactivo Usado:	Nital 5.
Tiempo de Exposición:	10 seg. 15 seg. y 20 seg.
Fotografía:	Aumento 100X
Elementos en el Depósito:	Ni, Cr, C, Si.



Muestra 10

**Uso del Depósito:** Se emplea para recuperar piezas sujetas a la abrasión y fricción.

**Microestructura:** Matriz Ferrita, Martensita y Perlita.

**Dureza:** Escala "Rockwell C" 49,50,49,50 y 50.

**Dureza Promedio:** 50 Unidades Rockwell C.

**Reactivo Usado:** Nital 5.

**Tiempo de Exposición:** 25 seg. 35 seg. y 45 seg.

**Elementos en el Depósito:** Ni, C, Si, Mn, Cr.

Muestra 11

**Uso del Depósito:** Se emplea para recuperar piezas sujetas a la abrasión y fricción.

**Microestructura:** Matriz Ferrita, Perlita laminar y -- Cementita.

**Dureza:** Escala "Rockwell C" 46,47,47,47 y 47.

**Dureza Promedio:** 47 Rockwell C.

**Reactivo Empledo:** Nital 5.

**Tiempo de Exposición:** 10 seg. 15 seg. y 20 seg.

**Elementos en el Depósito:** C, Si, Cr, Mn, Ni.

Muestra 12

**Uso del Depósito:** Se emplea para recuperar piezas sujetas a la abrasión y fricción.

**Microestructura:** Matriz ferrita, Cementita globular y Perlita.

**Dureza:** Escala "Rockwell C" 38,38,39,38 y 39.

**Dureza Promedio:** 38 Rockwell C.

**Reactivo Empleado:** Nital 5.

**Tiempo de Exposición:** 1 min. 2 min. 3 min. y 4 min.

**Elementos en el Depósito:** C, Cr, Si, Mn, Ni.

Muestra 13

**Uso del Depósito:** Se emplea para recuperar piezas sujetas a la abrasión y fricción.

**Microestructura:** Matriz ferrita, Cementita globular y Perlita.

**Dureza:** Escala "Rockwell C" 37,37,37,37 y 37.

**Dureza Promedio:** 37 Rockwell C.

**Reactivo Empleado:** Nital 8

**Tiempo de Exposición:** 2 min. 3 min. y 5 min.

**Elementos en el Depósito:** Ni, Cr, C, Mn, Si.

Muestra 14

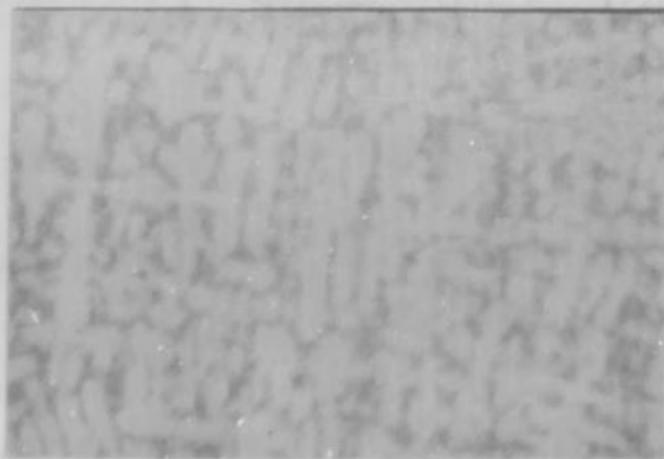
**Uso del Depósito:** Se emplea para recuperar piezas sujetas al impacto.  
**Microestructura:** Matriz ferrita y Granos de Perlita.  
**Dureza:** Escala "Rockwell B" 63,64,64,63 y 64.  
**Dureza Promedio:** 64 Rockwell B.  
**Reactivo Empleado:** Nital 5.  
**Tiempo de Exposición:** 25 seg. 30 seg. 35 seg. y 40 seg.  
**Elementos en el Depósito:** Ni, C, Cr, Mn.

Muestra 15

**Uso del Depósito:** Se emplea como base o cojín para depósitos de soldaduras con alta dureza.  
**Microestructura:** 100% Ferrita.  
**Dureza:** Escala "Rockwell B" 61,59,59,58 y 59.  
**Dureza Promedio:** 59 Rockwell B.  
**Reactivo Empleado:** Nital 5.  
**Tiempo de Exposición:** 8 seg. 12 seg. y 15 seg.  
**Elementos en el Depósito:** Ni, Cr, C, Si.

Muestra 16

Uso del Depósito:	Se emplea para recuperar piezas sujetas al impacto.
Microestructura:	Ferrita y Austenita.
Dureza:	Escala "Rockwell B" 84,84,85,84 y 84.
Dureza Promedio:	84 Rockwell B.
Reactivo Empleado:	Agua Regia.
Tiempo de Exposición:	40 seg. 60 seg. y 80 seg.
Fotografía:	Aumento 400X
Elementos en el Depósito:	Ni, Cr, C, Si.



Muestra 17

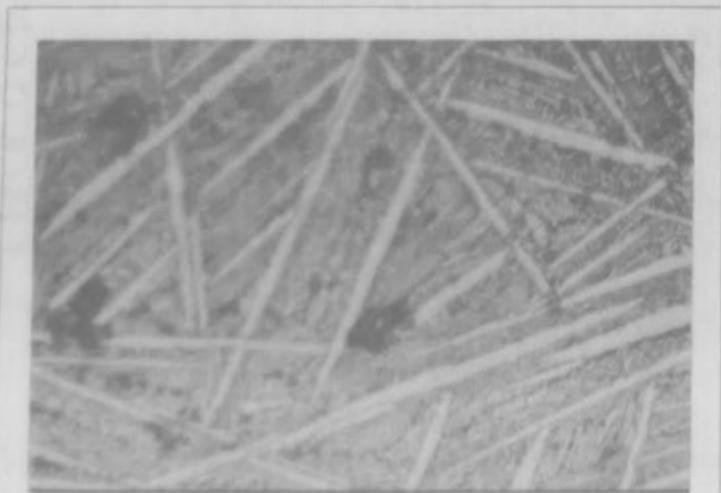
**Uso del Depósito:** Se emplea como base o cojín para depósitos de soldaduras con alta dureza.  
**Microestructura:** Ferrite y Perlita.  
**Dureza:** Escala "Rockwell B" 10,10,11,10 y 10.  
**Dureza Promedio:** 10 Rockwell B.  
**Reactivo Empleado:** Nital 5.  
**Tiempo de Exposición:** 20 seg. 25 seg. y 30 seg.  
**Elementos en el Depósito:** Ni, Cr, C, Si.

Muestra 18

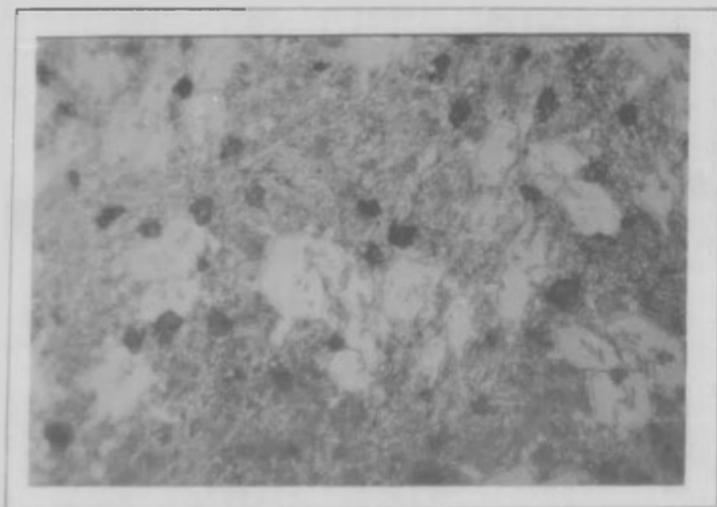
**Uso del Depósito:** Se emplea para recuperar piezas sujetas al impacto.  
**Microestructura:** 100% Austenita.  
**Dureza:** Escala "Rockwell B" 84,84,85,84 y 86.  
**Dureza Promedio:** 85 Rockwell B.  
**Reactivo Empleado:** Nital 5.  
**Tiempo de Exposición:** 2 min. 3 min. y 3.5 min.  
**Elementos en el Depósito:** Cr, Ni, C, Si.

Muestra 19

Uso del Depósito:	Se emplea para recuperar piezas sujetas a la Abrasión y Fricción.
Microestructura:	Ledeburita, Carburos de Cromo, Carburo de Hierro y Martensita.
Dureza:	Escala "Rockwell C" 68,68,68,67 y 68.
Dureza Promedio:	68 Rockwell C.
Reactivo Empleado:	Nital 5.
Tiempo de Exposición:	50 seg. 70 seg. 90 seg. y 120 seg.
Fotografía "A" y "B":	Aumento de "A" y "B" 400X
Elementos en el Depósito:	Cr, C, Si, Mn.



A



8

## CAPITULO VIII

## APLICACIONES

Para la aplicación de una soldadura hay que tomar en cuenta el material base a recubrir así como las condiciones en las cuales éste trabaja.

Preguntas previas como estas se deben establecer para llevar a cabo un buen material de aporte.

- 1.- ¿Qué es la pieza o de qué equipo y cómo trabaja? ¿Cuál es la naturaleza del material que procesa.
- 2.- ¿Cuál es el tipo de desgaste al que está sometido? ¿Es impacto, abrasión, fricción? ¿O estén combinados dos o más tipos? ¿Cuál es el más grave?
- 3.- ¿Cuál es la composición metalúrgica del metal base? ¿Es acero fundido, acero al carbón o acero al manganeso o cualquier otro? ¿Cuál es el procedimiento recomendable para revestir ese metal? ¿Requiere precalentamiento o enfriamiento lento?
- 4.- ¿En que condiciones se encuentre el metal base? ¿Tiene grietas, zonas erosionadas, desgastadas, o hay partes endurecidas? ¿Hay restos de soldaduras de revestimientos anteriores? ¿Se requiere reconstruir o volver a dar forma antes de aplicar el revestimiento duro?
- 5.- ¿En que posición se va a soldar? ¿Que secuencia de cordones se va a seguir?
- 6.- ¿Un solo cordón basta o requiere de varios? ¿Requiere maquinado posterior?
- 7.- ¿Se debe tomar en cuenta qué soldadura nos sirve para reconstruir y cuál para recubrir o revestir?

A) Las soldaduras que en su microestructura contengan cristales de carburo de hierro, carburo de cromo, carburos de molibdeno, - carburos de wolframio, carburos de vanadio, carburos complejos ó martensita sirven para reconstruir las siguientes piezas o equipos:

Trituradores de rodillos  
 Partes de dragas  
 Cuerpos de bombas  
 Cangilones  
 Martillos de molinos  
 Dientes y labios de cucharones  
 Ruedas de molinos  
 Cortadores laterales de escrapes  
 Quebradoras de rodillos  
 Botes de palas mecánicas  
 Alabes y hélices  
 Barrenas para perforación  
 Palas mezcladoras de asfaltos  
 Martillos de péndulo  
 Paletas de molinos de bolas  
 Piezas en trituración y molienda  
 de minerales  
 Palas de molinos revolventes  
 Molinos de sinterizado: Barres y  
 Quebradores  
 Zapatas empujadoras de coque  
 Removedores de cenizas en hornos  
 calcinadores  
 Gusanos transportadores  
 Palas mezcladoras de arena para  
 moldes de fundición

Arados de molinos de rueda para  
tabique refractario  
Rippers, tranxcavos y buldozer  
Martillos desfibradores de celulosa  
Guías de molinos de laminación  
Roles formadores de tubo  
Cuchillas de tijera  
Dientes de engranes  
Recubrimientos en flechas  
Dados y matrices de estampado  
Etc.

B) Las soldaduras que en su microestructura contengan un alto porcentaje de Austenita se debe al manganeso presente que va desde un 12% hasta un 18% formando la fase Austenita del hierro y sirven principalmente para piezas sujetas a trabajos de alta resistencia y tenacidad ya que la propiedad de este tipo de aleación incrementa notablemente su tenacidad con el trabajo. Se usa para:

Reconstrucción de dientes y cucharones

Rodillos trituradores

Coples de molinos de rodillos

Ejes de molinos

Quebradoras de quijada

Martillos de molinos

Cucharones de palas mecánicas

Sepos de vías

Rodillos de molinos

Ejes excéntricos

Quijadas para romper o triturar

Paredes de molinos de bolas

Etc.

## CAPITULO IX

## CONCLUSIONES

Tres son las principales conclusiones:

10) Conocimiento de la estructura.

Es de gran importancia el conocer la estructura metalográfica de una soldadura, ya que en función de su estructura tenemos sus - propiedades físicas.

20) Aplicación de la soldadura.

Conocido el primer punto se logra una acertada aplicación en recubrir piezas gastadas en la industria en general.

30) Economía.

La ventaja económica lograda al recuperar piezas por la buena aplicación de una soldadura.

**BIBLIOGRAFIA**

**TRATADO MODERNO DE SOLDADURA**

**Ing. Emilio Rinaldi**

**José Monteso**

**Barcelona 1976**

**TRABAJOS DE SOLDADURA**

**Dr. Ing. W. Pockrandt**

**José Monteso**

**Barcelona 1976**

**BASES DE LA SOLDADURA ELECTRICA**

**Ing. Kurt H. Nadler**

**Editado en CSMM**

**1968**

**TRATADO GENERAL DE SOLDADURA ELECTRICA**

**P. Schimpke - H. A. Horn**

**Tomo II**

**Ed. Gustavo Gili**

**1977**

**INTRODUCCION A LA SOLDADURA ELECTRICA**

**José Ma. Rivas Aries**

**Ed. Paraninfo**

**1971**

**TRANSFORMATIONS IN METALS**

**Paul G. Shewmon**

**Copyright by Mc. Gran - Hill**

**1969**

**TRATAMIENTOS TERMICOS DE LOS ACEROS**

**Ing. José Apreiz Berreiro**

**Ed. Dossat - Plaza de Sta. Ana**

**Madrid 1971**

**SOLDADURA Y METALURGIA**  
**Guillermo Fernández Flores**  
**Cía Editorial Continental**  
**C.E.C.S.A.**

**MANUALES CONSULTADOS**

**ELECTRODOS PARA REVESTIMIENTOS Duros**  
**U.T.P. Industria Mexicana, S. A.**  
**Ave. Henry Ford Esq. Edison,**  
**Tlalnepantla, Edo. de Méx.**

**GUIA DE ALEACIONES Y PRODUCTOS PARA**  
**LA RECUPERACION DE PIEZAS CRITICAS**  
**EN LA IND. EN GRAL.**  
**Eutectic Castolin**  
**Autopieta Méx.-Querétaro km 365**

**GUIA DE ELECTRODOS Y ALEACIONES PARA SOLDAR  
A.G.A.**

**Lerma 15 - Fraccionamiento Industrial  
Tlalnepantla, Edo. de México**

**SOLDADURAS TECNICAS**

**GUIA PARA SOLDAR CON ELECTRODOS Y  
SOLDADURAS AUTOGENAS**

**Lago Silverio 238 y Laguna Mayrán 300  
México 17, D. F.**

**ARC WELDING**

**ELECTRODOS Y SOLDADURAS ESPECIALES**

**Félix Guzmán 16  
Neuquapan, Edo. de México**

**ESAB**

**Welding Handbook**

**Filler materials and welding equipment for  
manual and automatic welding.**

**1976**