



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO**

---

**FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES  
" CUAUTITLAN "**

**" CORTE, SOLDADURA Y ALEACIONES DEL HIERRO "**

**T E S I S**

**PARA OBTENER EL TITULO DE**

**INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA**

**P R E S E N T A**

**FELIX ARTURO PEREZ PEREZ**

**DIRECTOR DE TESIS**

**ING. SAMUEL PEREZ DIAZ**

**CUAUTITLAN IZCALLI, EDO. DE MEXICO 1985**



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

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

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

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

## I N D I C E

### CAPITULO 1.- GENERALIDADES

#### 1.1.- INTRODUCCION

#### 1.2.- BREVE HISTORIA DE LA SOLDADURA

### CAPITULO 11.- METALURGIA

#### 2.1.- LA METALURGIA DE LA SOLDADURA

#### 2.2.- TRATAMIENTO TERMICO

#### 2.3.- METALOGRAFIA FISICA

#### 2.4.- PROPIEDADES MECANICAS DE LOS METALES

### CAPITULO 111.- PROCESOS DE LA SOLDADURA

#### 3.1.- INTRODUCCION

#### 3.2.- SOLDADURA CON OXIGENO Y LOS COMBUSTIBLES

##### 3.2.1.- SOLDADURA OXIACETILENICA

##### 3.2.2.- SOLDADURA CON OXIGENO E HIDROGENO

##### 3.2.3.- EQUIPO COMUNMENTE UTILIZADO PARA LA SOLDADURA CON OXIACETILENO

#### 3.3.- SOLDADURA CON ARCO ELECTRICO PROTEGIDO

#### 3.4.- PROCESO T.I.G.

#### 3.5.- PROCESO M.I.G.

### CAPITULO 1V.- PROCESO DE CORTE

#### 4.1.- CORTE CON OXIGENO + GAS COMBUSTIBLE

##### 4.1.2.- EQUIPO UTILIZADO PARA EL CORTE OXIACETILENICO

#### 4.2.- CORTE CON SOPLETE POR ARCO PLASMA.

### CAPITULO V.- METAL DE APORTACION

#### 5.1.- CLASIFICACION DEL METAL DE APORTE

#### 5.2.- CRITERIO A SEGUIR EN LA SELECCION DEL METAL DE APORTE.

## CAPITULO VI.- TECNICAS PARA LA SOLDADURA DE METALES

### 6.1.- SOLDADURA DE ACEROS

6.1.1.- ACEROS CON BAJO CONTENIDO DE CARBONO

6.1.2.- ACEROS CON MEDIANO CONTENIDO DE CARBONO

6.1.3.- ACEROS CON ALTO CONTENIDO DE CARBONO

6.1.4.- ACEROS ALIADOS

### 6.2.- ACEROS INOXIDABLES

6.2.1.- SOLDADURA DE ACEROS INOXIDABLES AUSTENITICOS

6.2.2.- SOLDADURAS DE ACEROS INOXIDABLES FERRITICOS

6.2.3.- SOLDADURA DE ACEROS INOXIDABLES MARTENSITICOS

## CONCLUSIONES

## BIBLIOGRAFIA

## 1.1.- INTRODUCCION.

El presente estudio, relativo a las bases de soldadura y del corte del hierro y sus aleaciones, trata de comunicar los principios y adelantos que se han tenido en esta rama.

Todavía hace unos cuantos años, dada la incipiente aplicación de esta disciplina se tenía poco conocimiento de ella -- sin embargo, dada la extensa y creciente aplicación de esta disciplina a todos los dominios de la construcción, es necesario señalar que uno de los problemas fundamentales que predominan en la soldadura de los metales, sin duda, es la tendencia al agrietamiento de las uniones, producto de -- las transformaciones estructurales del material base.

Igualmente se hace notar la función del electrodo en la soldadura por arco, que constituye uno de los problemas más importantes.

Las reacciones de oxidación, de carburación y de absorción -- de gases inherentes a la operación de la soldadura, hacen de ella una actividad digna de estudio, la cual mientras sea -- más extenso indudablemente será mejor comprendida.

## 1.2.- BREVE HISTORIA DE LA SOLDADURA.

Por el término "Soldadura" se entiende una diversidad de procesos por medio de los cuales se logra la unión de piezas metálicas con aplicación localizada de calor, ejerciendo presión o sin ella durante todo o parte del tiempo que dure la operación, agregando o no metal de aporte de composición se-

mejante o diferentes a las partes por unir. Tales procesos se clasifican atendiendo fundamentalmente a la fuente de calor utilizada y a la manera de depositar el metal de aporte cuando este se utiliza.

El origen de la soldadura se pierde en la antigüedad y se puede decir que la historia de la soldadura es la misma que la del hombre, que a través de los tiempos han experimentado y buscado nuevos caminos en la utilización de sus recursos energéticos para lograr la unión de piezas metálicas. Es probable que los principios de la soldadura hayan sido descubiertos, perdidos y encontrados repetidas veces por los antiguos pobladores del mundo, pues se ha probado que tribus primitivas de diferentes continentes desarrollaron y usaron los métodos básicos del fundido, moldeado y tratamiento del hierro. Así en la época del renacimiento se establece la práctica de unir piezas metálicas utilizando el fuego y siguiendo un procedimiento al cual se le llamó CALDA (soldadura por forja) y que consiste en calentar las piezas metálicas en una forja, o en un horno a la temperatura adecuada, o sea la temperatura a la cual el material se vuelve plástico, se presentan las partes por unir a su posición final y se forjan una contra otra por un medio conveniente (martillo, rodillo, prensado, etc.), durante un lapso definido en el cual se deben mantener las piezas a la temperatura adecuada, una vez hecho esto, el trabajo se retira del fuego y se termina un yunque.

El calentamiento se hace generalmente en una fragua de carbón o coque, aún cuando las instalaciones modernas frecuentemente emplean hornos de aceite o gas. El proceso manual

se limita a trabajos ligeros debido a que todo el formado y soldado se efectúa con marro a mano. El proceso de preparación de las piezas metálicas se conoce con el nombre de ESVIAJE.

La soldadura de hierro por "CALDA" tuvo un desarrollo de considerables proporciones dentro de la industria y fué hasta 1890 el único medio recomendable para soldar este metal; pero se vió limitado debido a que requería gran destreza y mucha labor para obtener juntas de piezas grandes y pesadas dada la dificultad que existía para mantener la temperatura adecuada en las piezas por unir, ya que se necesitaban grandes grúas para manejar las piezas. No obstante, hoy en día se práctica la soldadura por calda con alguna extensión principalmente en la industria de los ferrocarriles y en los países subdesarrollados.

Es innegable que los procesos de soldadura en los que se utiliza la energía eléctrica como un recurso para proporcionar la fuente de calor, han sido determinantes en el proceso de la unión de piezas metálicas y entre todos ellos sobresale el de soldadura por arco, tanto para la fabricación en serie como para las reparaciones y recubrimientos con soldaduras de gran dureza en piezas sometidas a erosiones y abrasiones intensas.

La mayor parte de los adelantos de la soldadura moderna aparecieron desde la Primera Guerra Mundial, como resultado de la demanda de la industria por medios de fabricación y ensamble de partes metálicas más rápidas. Los procesos de soldadura se emplean más extensamente en la fabricación de carrocerías para automóviles, en la industria.

aeronáutica, en coches de ferrocarril de alta velocidad, en trabajos estructurales, en tanques, etc. En la industria petrolera, la soldadura se usa extensamente en las refinerías y en la fabricación de ductos.

Durante la Guerra, la máxima utilización de la soldadura fue en la producción de barcos; en tiempos de paz, es en la fabricación de estructuras metálicas.

La competencia de la soldadura se ha hecho sentir también en la industria de la fundición, puesto que muchas partes de las máquinas, que antiguamente eran fundidas se hacen ahora con miembros de aceros soldados entre sí. La construcción tiene la ventaja de que es más ligera y más fuerte que el hierro fundido.

El corte con gas también ha tenido su influencia sobre los productos forjados. Muchas partes se cortan ahora con gran exactitud partiendo de las placas gruesas de acero, ahorrando así el costo de matrices caras. Casi no existe una industria a la fecha, que no sea afectada en alguna forma por los procesos de soldadura y corte.

El método de la soldadura moderna es debido a SIR HUMPHREY DAVY, porque fué el quien descubrió el arco eléctrico a principios del siglo XIX, aunque probablemente el primer intento de utilizar el calor intenso generado por un arco eléctrico con el propósito de unir piezas metálicas, lo hizo el inventor DE MERIENS que en 1887 obtiene la patente para un proceso de soldadura por arco eléctrico con los electrodos de carbono, dentro del metal, haciéndolo duro y cuadrado.

Dos años más tarde en el método SLAVIANOFF el electrodo de carbono es reemplazado por una barra metálica, la cual se funde gradualmente al establecer el arco y el metal fundido es agregado a las piezas metálicas en el lugar de la unión.

Hasta 1910 se habían obtenido electrodos de varias clases que si bien hacían el proceso de soldar más rápido, producían juntas frágiles y débiles. En este mismo año un Sueco llamado OSCAR KJELLBORG produce un electrodo cubierto con un fundente pesado que hace posible el arco protegido (arco blindado) que es la característica de la soldadura moderna, pero este electrodo tiene una desventaja -- que prohíbe su inmediata adopción, esto es, el costo de la cubierta la cual se hacía con un alambre fino de aluminio envuelto en asbesto doble, cubierta con diferente punto de fusión y otras ideas ingeniosas pero costosas.

Es hasta 1927 , cuando se producen electrodos cubiertos con fundentes por estirado a presión, y es esta forma de cubrir los electrodos una de las más significativas aportaciones al progreso de la soldadura, porque hace posible la aplicación comercial de los electrodos cubiertos en todos los procesos de soldadura.

2.1.- LA METALURGIA DE LA SOLDADURA.- La metalurgia puede ser definida como la ciencia que estudia la extracción de los metales desde su estado primitivo, su refinación y preparación para su uso, incluyendo su composición, estructura y propiedades, así como su conducta al exponerlos a las diferentes condiciones de uso. Los procesos metalurgicos comprenden la extracción del metal de sus minerales, la refinación en composición y calidad de la fundición, el trabajo, y formado de los metales para obtener sus productos semiterminados, y terminados. La física de la metalurgia incluye el tratamiento térmico, las pruebas mecánicas, la metalografía y otros procedimientos concernientes a las pruebas que se hacen a los productos metálicos.

2.2.- TRATAMIENTO TÉRMICO.- El tratamiento térmico es necesario para restaurar las propiedades afectadas en el metal base por el calor de la soldadura, para eliminar esfuerzos residuales, y para producir la microestructura deseada en la junta soldada, esto es, en el metal base y en el metal de aporte. Lo que determina que el tratamiento térmico ha de usarse en una junta soldada, son los cambios efectuados en las propiedades originales del metal base a lo largo de la zona afectada por el calor y depende siempre de la temperatura a que fue sometida durante la operación.

2.3.- LA METALOGRAFIA.- Es la parte de la metalurgia que estudia la estructura, constitución y aleación de los metales sólidos en la fabricación y tratamiento de los mismos.

El estudio de la metalografía física se ayuda de las -- pruebas mecánicas de los metales antes, después y en algunas ocasiones durante su tratamiento, para convertirlos en productos útiles. Tales pruebas deben ser ejecutadas por personal capacitado (en laboratorios respectivos), cuyos resultados son de gran ayuda para el éxito de la soldadura.

Entre las pruebas mecánicas realizadas en los metales podemos mencionar: tensión para determinar su resistencia mecánica; flexión para conocer la resistencia a la fatiga; dureza para determinar la resistencia a ser penetrado, y otras diversas maneras según el particular destino o aplicación del metal. Con frecuencia la calidad de una soldadura se determina por los resultados de las pruebas mecánicas.

Hay muchas maneras de examinar una pieza metálica, siendo una de ellas la que se verifica mediante el examen superficial deduciendo su capacidad para la función a la que se le destina. El examen por medio de rayos X muestra si existen defectos interiores. De todos modos los exámenes y pruebas son parte de la metalografía física.

2.4.- PROPIEDADES MECANICAS DE LOS METALES.- Los metales se diferencian entre sí por su diferentes colores, peso, y características.

Comprimiendo enérgicamente por medios mecánicos unas -- piezas delgadas de cobre y de plomo, se observará que -- unas se desrajan antes que las otras. Esta diferencia -- en los metales se llaman resistencia a la compresión, --

que es una de las muchas propiedades mecánicas que indican la resistencia a una clase de fuerza aplicada contra el metal. En adición a estas propiedades mecánicas se incluyen resistencia a la tracción, ductilidad y otras.

Todas esas características se determinan, conocen y valorizan por medio de pruebas mecánicas. Para obtener un mejor aprovechamiento de ellas, se describen y se clasifican en grupos estandarizados mediante pruebas hechas por las asociaciones técnicas, industriales, y oficinas gubernamentales. A continuación se darán algunas de las más importantes desde el punto de vista de la aplicación

Algunas otras de las propiedades de los metales que no se refieren a fuerzas aplicadas, se le denomina propiedades físicas tales como la densidad, resistencia a la corrosión, conductividad térmica y eléctrica, expansión térmica, etc.

2.4.1.- RESISTENCIA A LA TRACCION.- Es la propiedad del metal a resistir una fuerza que lo jala y trata de separarlo (Tensión).

2.4.2.- RESISTENCIA MAXIMA A LA TRACCION.- Se define como el esfuerzo máximo que resiste un material antes de fracturarse al ser sometido a un esfuerzo de tensión.

2.4.3.- LIMITE DE ELASTICIDAD.- Es la resistencia máxima que soporta un material sin sufrir deformación permanente, falla o fractura.

2.4.4.- LIMITE DE FLUENCIA.- Es el punto en el cual el metal

resiste la tracción mínima que produce deformación permanente o fractura del metal, para fines prácticos se considera que el límite elástico es igual al límite de fluencia.

2.4.5.- PUNTO RUPTURA.- Es el punto en el que una fuerza fractura el metal.

2.4.6.- MODULO DE ELASTICIDAD.- Proporción de la fuerza tensora y el esfuerzo que origina en la escala de elasticidad, --- donde hay una línea definida entre fuerza y esfuerzo. --- Mientras mayor sea el módulo, menor será el grado de elasticidad.

2.4.7.- DUCTILIDAD.- Es la propiedad del metal a deformarse permanentemente, sin fracturarse, permaneciendo sus propiedades más o menos constantes.

2.4.8.- FRAGILIDAD.- Es la propiedad opuesta a la ductilidad, o sea que es la propiedad de un metal a fracturarse en vez de deformarse.

2.4.9.-ELASTICIDAD.- Es la propiedad del metal a deformarse bajo la acción de una carga y regresar a su estado original -- al desaparecer dicha carga.

2.4.10.- RESISTENCIA A LA FATIGA.- Es la propiedad del material de no fracturarse al ser sometido a un esfuerzo repetido ya sea de tensión, torsión, o compresión, el cual no --- sobrepasa su capacidad para ninguno de los casos.

La ruptura por fatiga se debe a que cuando un material -

se somete repetidas veces a un determinado esfuerzo, se --  
producen en el grietas muy pequeñas que se agrandan a medi--  
da que se repite el esfuerzo, hasta llegar a formar una --  
grieta que hace que el material se fracture.

2.4.11.- **TENACIDAD.**- Es la capacidad de un metal para resistir la --  
aplicación de golpes o cargas repetidas. Para usos en los--  
cuales hay cargas repetidas, se requieren por lo general --  
materiales tenaces, siendo las cargas más comunes las vi--  
bracionales y las de impacto.

2.4.12.- **DUREZA.**- Se define como la resistencia que presenta un --  
cuerpo al ser penetrado por otro. Es una propiedad de mu--  
cha utilidad práctica pues está íntimamente relacionada --  
con la resistencia a la tracción y compresión.

## 3.1.- INTRODUCCION.

Siendo la soldadura un proceso por medio del cual se logra la unión de piezas metálicas, que envuelve un gran número de variables tales como el origen de la fuente de calor la aplicación u omisión de presión durante todo o parte del tiempo que dura la operación, de agregar o no metal de aporte, de composición semejante o diferente a la de las partes por unir, la manera de depositar el metal de aporte en caso de ser utilizado, se comprende que no podría existir una secuela única para lograr la unión de piezas metálicas. La selección y agrupación de una o más de estas variables en conjuntos que pueden ser denominados y controlados á voluntad para obtener juntas soldadas que satisfagan las necesidades del servicio, dió origen a la selección de secuelas y equipos apropiados capaces de controlarlas, constituyendo los diferentes procesos de soldaduras.

## 3.2.- SOLDADURA CON OXIGENO + GAS COMBUSTIBLE.

Con este nombre se agrupan varios procesos de soldadura en los que la unión se efectúa con un calentamiento producido con una o varias flamas de gas, con o sin la aplicación de presión y agregando o no metal de aporte. - El más importante de estos procesos es el OXIACETILENICO

## 3.2.1.- SOLDADURA OXIACETILENICA.

En este proceso la unión se efectúa por el calentamiento

to producido con una o varias flamas de gas obtenidas de la combustión del acetileno con el oxígeno, con o sin la aplicación de presión y agregando o nó metal de aporte.

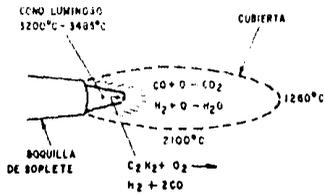
El acetileno es muy utilizado debido a que se alcanzan temperaturas superiores a las de los puntos de fusión de los metales comerciales y porque su flama proporciona una cubierta protectora para el metal fundido durante la soldadura y tiene la característica que cuando se usa una cantidad de acetileno con igual volumen de oxígeno, se produce una temperatura más elevada que la obtenida con cualquier otro gas comercial.

3.2.1.1.- Tipos de llamas de Oxiacetileno.- Existen tres tipos útiles de llamas, los cuales son los siguientes:

3.2.1.1.1.- La llama neutra.- Cuando se queman volúmenes iguales de oxígeno y de acetileno esta llama consta de dos partes que son el cono exterior y el cono interior, claro y redondeado.(FIG. A.1)

3.2.1.1.2.- Llama reductora.- Cuando se quema mayor volumen de acetileno que de oxígeno, y consta de tres partes que son: el cono exterior, y el cono interior y la pluma. -- (FIG. A.2)

3.2.1.1.3.- La llama oxidante.- Cuando se queman volúmenes mayores de oxígeno que de acetileno esta llama también consta de dos partes que son el cono exterior que es de color púrpura y con sus extremos desiguales y el cono interior que es puntiagudo. (FIG. A.3)



**FLAMA OXIACETILENO HACIENDO REFERENCIA  
A REACCIONES Y TEMPERATURAS**



**FIG. 1 FLAMA OXIACETILENO NEUTRAL**



**FIG. 2 FLAMA OXIACETILENO REDUCTORA  
O POBRE EN OXIGENO**



**FIG. 3 FLAMA OXIACETILENO OXIDANTE**

**TESIS PROFESIONAL**

**UNIVERSIDAD**

**TIPOS DE FLAMAS  
OXI-ACETILENICAS**

**FELIX ARTURO PEREZ PEREZ**

**1985**

**FIG. A**

El oxígeno y el acetileno se mezclan en un soplete que permite un control manual de la flama. Además por medio de controles de regulación se puede obtener una inspección visual de la flama.

El equipo más comunmente utilizado se compone de tanques para contener el gas, mangueras para conducirlos, reguladores y sopletes con boquillas de diferentes medidas.

El uso de fundente es muy común, debido a que algunos óxidos presentes en las partes por unir impiden la transmisión de calor normalmente tales óxidos tienen un punto de fusión mayor a los de las partes por unir, pero en presencia de un fundente adecuado, se disuelve a bajas temperaturas son eliminadas en forma de escoria.

Un buen fundente deberá reunir las siguientes características;

- 1) Ayudará a remover los óxidos durante la soldadura, formando escorias fusibles que flotarán en la parte superior de la charca fundida, de la cual serán eliminados.
- 2) Proteger la charca fundida del oxígeno atmosférico.
- 3) Limpiar y proteger las superficies del metal base y en algunos casos las del metal de aporte durante la soldadura.

La soldadura oxiacetilénica, tiene un campo de acción muy grande, pues se utiliza para soldar casi todos los metales ferrosos y no ferrosos y sus aleaciones.

3.2.2.- SOLDADURA CON OXIGENO E HIDROGENO.- En este proceso la --  
unión se efectúa por el calentamiento producido por una --  
o varias flamas obtenidas de la combustión del hidrógeno --  
con el oxígeno. No se aplica presión y puede o no agregar --  
se metal de aporte.

Las cantidades de oxígeno e hidrógeno que entran en la --  
combustión, están determinadas por la ecuación:  $2H_2 + O_2 =$   
 $2H_2O$ , sin embargo, la observación visual no puede ser --  
utilizada para ajustar la flama con los volúmenes correc- --  
tos de hidrógeno y oxígeno, debido a que la flama es casi --  
invisible y no proporciona ningún indicio de las propor- --  
ciones del gas, por lo que el operador ajusta la flama --  
hasta obtener el máximo calor sin llegar al punto donde --  
se forma óxido sobre la charca fundida esto ocasiona una --  
flama con exceso de hidrógeno y el consecuente abatimiento --  
de la temperatura máxima obtenible pero asegura una atmós- --  
fera libre de oxidación.

Aparte del ligero abatimiento en la temperatura, el exceso --  
de hidrógeno no causa ningún efecto perjudicial a la solda --  
dura porque la atmósfera reductora no produce ningún depó- --  
sito de carbono.

El proceso de soldadura con Oxihidrógeno, es considerado --  
de baja temperatura y se usa principalmente para soldar --  
metales con bajo punto de fusión.

### 3.2.3.- EQUIPO COMUNEMENTE UTILIZADO PARA LA SOLDADURA CON OXIACETILENO.

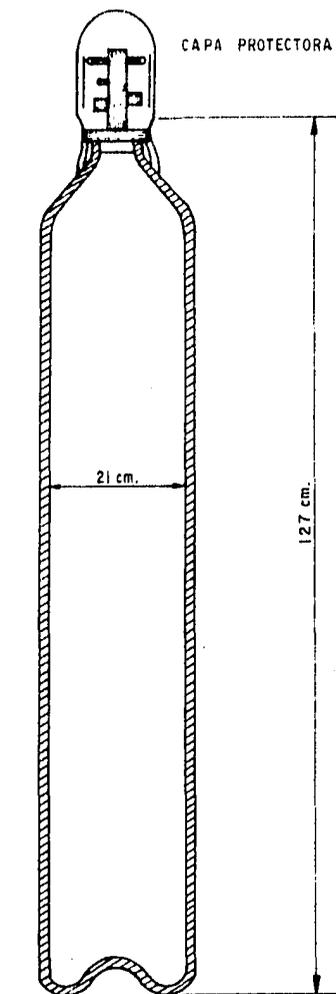
El equipo fundamentalmente usado consta de:

- 1.- Cilindro de oxígeno
- 2.- Cilindro de acetileno
- 3.- Reguladores de presión
- 4.- Soplete

3.2.3.1.- Cilindro de oxígeno.- El cilindro de oxígeno debe construirse sin costura como el mostrado en la figura B. El oxígeno en forma gaseosa se entrega al consumidor en los cilindros de aceros que por lo general son de color azul o verde y su llave de pasos de operación manual.

El cilindro de acero para su uso normal se fabrica en varios tamaños y el gas que contiene se comprime a 2200 PSI (Lbs/Pulg<sup>2</sup>) ó 154.5 Kg/cm<sup>2</sup> a 70°P (21.1° C). La falta de presión de carga hace posible que se introduzcan 5.6 M<sup>3</sup> de oxígeno a una presión de 154.5 Kg/M<sup>3</sup> en un cilindro de 127 cm. de longitud (Incluye el casquillo protector de válvula) y un diámetro -- aproximadamente de 21 cm; como mostrado en la Figura B.

También se encuentra equipado con una válvula de paso con dispositivo de seguridad que consisten en laminas calibradas que se rompen cuando la presión va aumentando paulrosamente, las conexiones de las val



TESIS PROFESIONAL

U  
N  
A  
M  
F  
E  
S  
I  
C

CILINDRO DE OXIGENO

FELIX ARTURO PEREZ PEREZ

1985

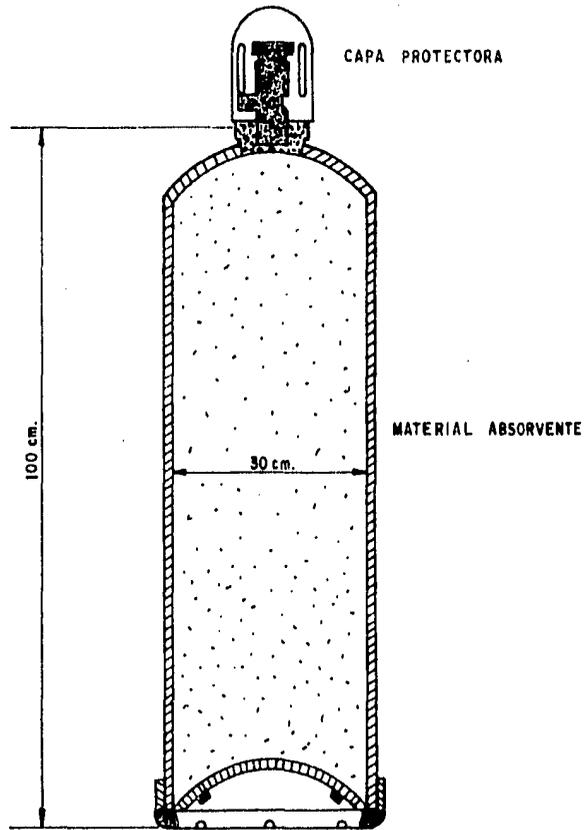
FIG. B

vulas son de cuerdas derechas y ademas cuenta con una capa metálica protectora que deberan tener siempre que no -- esten en uso los cilindros.

3.2.3.2.- Cilindro de acetileno.- Como el acetileno no puede ser -- sometido a elevadas presiones, el cilindro es de pared más delgada que el de oxígeno y además si admiten ser construído de varias partes soldadas como mostrado en la figura C.

Si de acuerdo a la ley el gas acetileno no debe usarse a -- más de 15 PSI (1.06 Kg/Cm.<sup>2</sup>) si esta presión se llegara a sobrepasar existe el riesgo de una explosión. Para evitar -- este riesgo y permitir el almacenamiento de grandes cantidades, el cilindro de acetileno se llena con una mezcla de asbesto desmenuzado, cemento y carbono alguna mezcla simi -- lar en forma de pasta. Las mitades del cilindro son soldadas y se hornea todo junto hasta secar la pasta de relleno Al secar la mezcla queda en forma de panal. Se presiona un líquido llamado acetona dentro de los compartimientos de -- este panal. La acetona absorbe y disuelve el acetileno -- hasta 25 veces su propio volumen el arreglo de panal tiene la ventaja de evitar que se extienda cualquier descomposi -- ción que se inicie si se dirige una llama accidentalmente a la superficie del cilindro. Los cilindros que contienen acetona líquida deben conservarse siempre en posición -- vertical si se acuesta, la acetona fluiría hacia la válvula y puede salir sobre el area que se suelda, este es perju -- dicial para la soldadura.

El gas acetileno es inflamable y altamente explosivo. Debe tenerse mucho cuidado con el manejo del gas y de los cilin -- dros que lo contienen. Este gas es ligeramente venenoso, -- causando dolor de cabeza, y mausia si sé inala por perio -- dos prolongados.



TAPONES DE PLOMO DE SEGURIDAD

TESIS PROFESIONAL

U  
N  
I  
V  
E  
R  
S  
I  
D  
A  
D

CILINDRO DE ACETILENO

FELIX ARTURO PEREZ PEREZ

1985

FIG. C

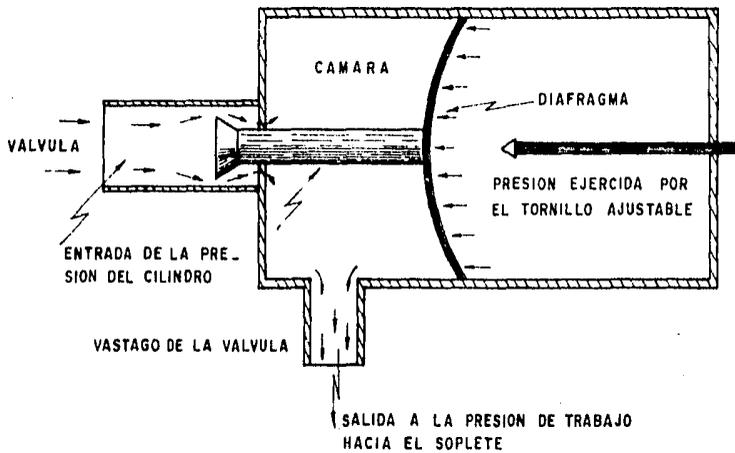
3.2.3.3.- Regulador de presión.- La función de los reguladores es disminuir la alta presión de los cilindros de oxígeno y acetileno hasta llegar a las presiones de trabajo necesarias y dar salidas a estos gases a una -- presión uniforme.

En la figura D.- Se muestra el trabajo que se efectúa dentro de un regulador. El gas procedente del cilindro entra al regulador saliendo hacia la manguera que esta conectada con el soplete.

El gas a alta presión entra al cuerpo del regulador-- a través de una tobera pequeña controlada por una -- válvula y se introduce a la cámara del regulador. La presión en la cámara se eleva hasta vencer la tensión del resorte. Cuando esto sucede, el diafragma es flexionado a la derecha y la válvula unida a él, se cierra evitando que entre más gas a la cámara.

A medida que el gas escapa de la cámara o por la apertura de las válvulas en el soplete, la presión -- disminuye, bajando a cierto valor. La tensión del -- resorte flexiona al diafragma a la izquierda reabriendo la válvula. Cuando se equilibran la tensión-- del resorte y la presión del gas en la cámara, se -- obtendrá un flujo de gas constante en el soplete.- - La posición del diafragma se controla balanciando--- las fuerzas de un resorte en compresión por un lado y la presión del gas por el otro.

Si se incorpora un tornillo ajustador de presión en un extremo del resorte para variar su tensión, se puede



TESIS PROFESIONAL

UNAM  
FES  
CIS

PRINCIPIOS DEL REGULADOR

FELIX ARTURO PEREZ PEREZ

1985

FIG. D

de obtener la presión que se desee en la descarga. Si el tornillo ajustador de presión es roscado hacia dentro y se abre la válvula del cilindro, la fuerza total instantánea contra un diafragma estándar de 7 pulgadas<sup>2</sup> (45cm<sup>2</sup>) es de 15,400 Libras o más de 7 toneladas. Este impacto produce muy frecuentemente daños al regulador.

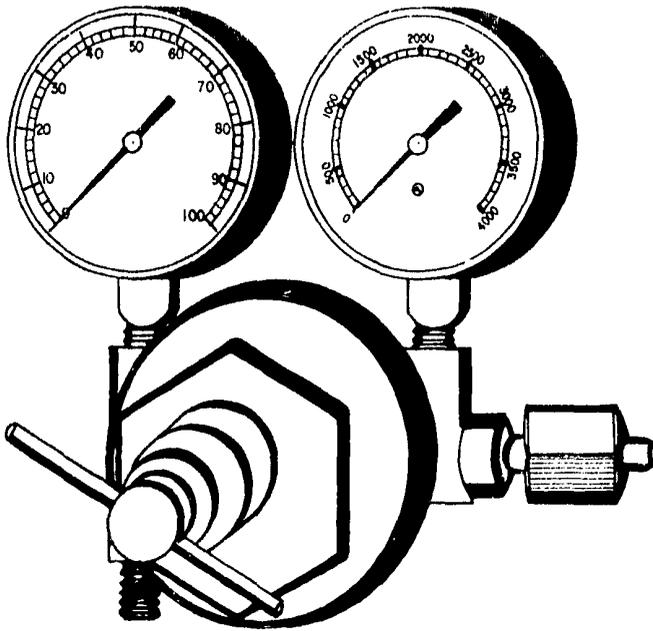
El regulador de presión para el oxígeno es de más capacidad que el de acetileno, en la fig. E, se muestran los reguladores para oxígeno y para acetileno.

Aparte de que la capacidad entre el regulador de oxígeno y el de acetileno, es diferente, para que no existan equivocaciones, el de acetileno es de cuerda izquierda y el de oxígeno de cuerda derecha, tanto en la tuerca de acople a la válvula como en la tuerca de acople a las mangueras.

3.2.3.4.- Soplete.- (Fig. F) El soplete tiene dos funciones la de mezclar el oxígeno y el acetileno y dirigir esta mezcla a la zona de fusión y de ser un medio fácilmente sujetable para poder dirigir correctamente la fusión.

El soplete se divide en una parte que se mezcla los gases misma que se aprovecha para sujetarlo y maniobrar con él, y la parte que concentra la combustión haciendo un flujo laminar del gas al salir, esta parte es la boquilla y como es la más cercana a la zona de fusión es intercambiable.

Las boquillas son las que determinan la cantidad de flujo de oxígeno y acetileno que fluye hacia la zona de fusión, ya que en general cuando se regula una flama se puede y -



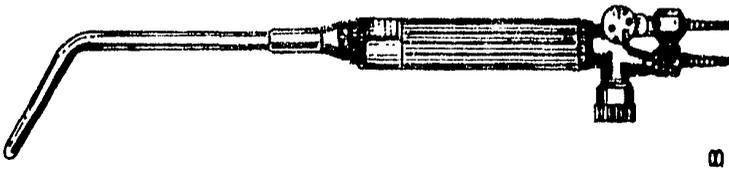
TESIS PROFESIONAL

REGULADORES PARA OXIGENO Y  
PARA ACETILENO

FELIX ARTURO PEREZ PEREZ

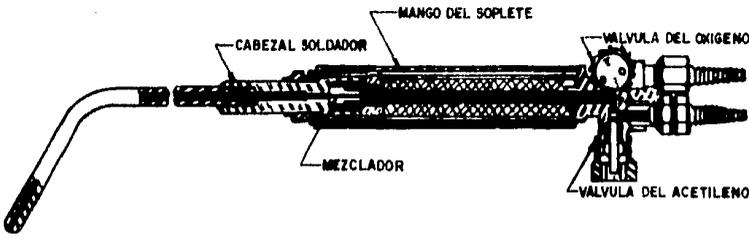
1985

FIG. E

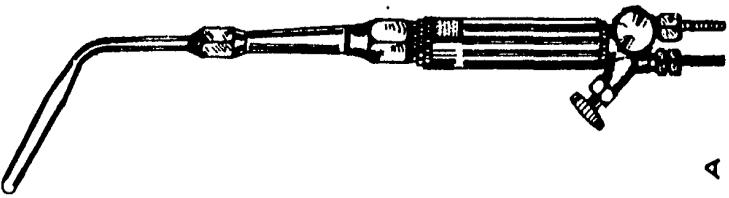


GASES MEZCLADOS

B

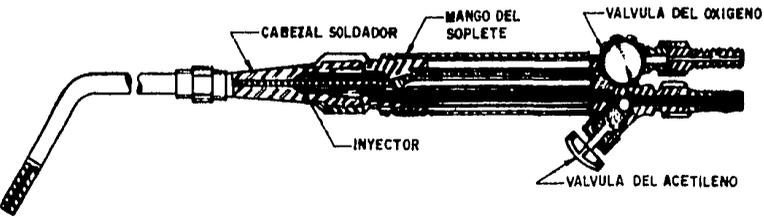


ACETILENO



OXIGENO

A



SIGNOS CONVENCIONALES

<b>TESIS PROFESIONAL</b>	
<b>U N A M P E S I C</b>	<b>SOPLETE SOLDADOR</b>
	<b>FELIX ARTURO PEREZ PEREZ</b>
	1985
	<b>FIG. F</b>

debe observarse que no produzca ruidos ni silbidos que son-- provocados por exceso de flujo de gases que en algunos casos llegan al grado de hacer una flama turbulenta que deforma la fusión y hace incomoda la operación de soldadura esto se debe a que el flujo de gas no está de acuerdo al diámetro de la boquilla, si en un caso dado la flama tarda mucho en calentar el metal base, no resolveremos el problema abriendo ambas valvulas del soplete para permitir mayor cantidad de flujo de gas, sino que lo correcto es cambiar la boquilla.

### 3.3.- SOLDADURA CON ARCO ELECTRICO PROTEGIDO.

En estos procesos se utiliza como fuente de energía el calor producido por un arco eléctrico y requiere un suministro de corriente eléctrica en cantidad suficiente y de voltaje adecuado para mantener el arco. El rango de voltaje fluctúa entre 17 y 45 volts, y cuando está operando, el voltaje varía constantemente debido a los cambios en las condiciones del arco.

El rango de la corriente es desde 100 hasta 1,200 amperes, correspondiendo los más altos amperajes para operaciones automáticas. En este proceso se puede utilizar corriente alterna y corriente continua.

La fuente de corriente alterna más eficiente, es el transformador del tipo de voltaje variable, el cual se ajusta también automáticamente a la demanda del arco.

Existen dos tipos de soldadura con arco eléctrico protegido que son: uno con arco de carbono y el otro con arco metálico.

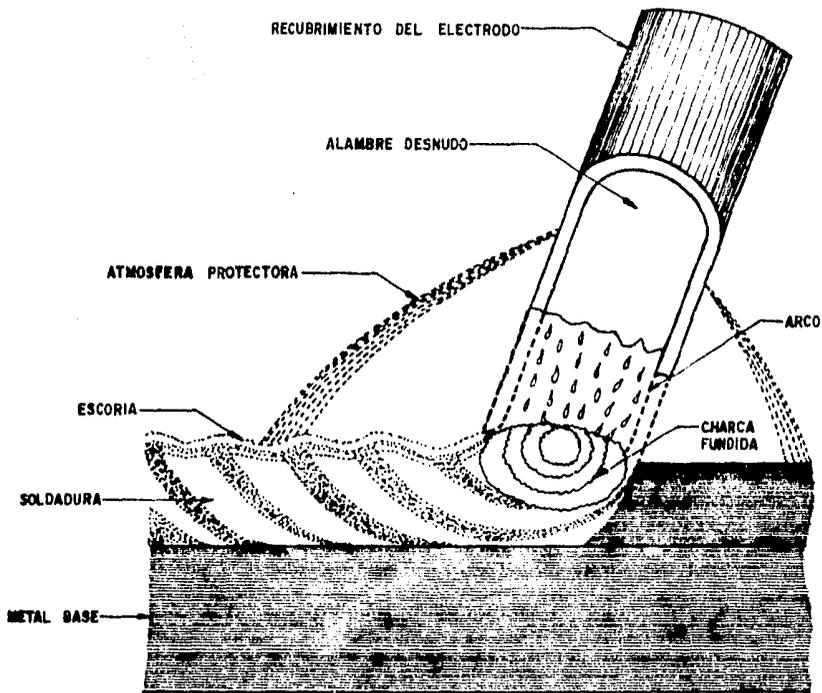
La soldadura con arco metálico protegido, con electrodos cubiertos, (mostrado en la figura G) se define como el proceso en el que la unión se efectúa con un calentamiento -- producido mediante un arco eléctrico, que se establece entre un electrodo cubierto y las partes por unir, la cubierta o protección del arco se obtiene de la descomposición del material que recubre el electrodo, no se aplica pre-sión y el metal de aporte se obtiene del electrodo.

La soldadura por arco protegido con electrodo de carbono -- se efectúa con el calentamiento producido por un arco -- eléctrico que se establece entre un electrodo de carbono y las partes por unir.

La protección del arco es obtenida de la combustión de un material sólido alimentado dentro del arco eléctrico o de un fundente puesto sobre la junta o de ambos. Este proceso puede hacerse con o sin la aplicación de presión y agregando o no metal de aporte.

#### 3.4.- PROCESO T.I.G.- (Proceso de soldadura de arco eléctrico con electrodo no fusible de tungsteno y gas inerte.)

Básicamente este proceso consiste en la protección del arco de la soldadura con una atmósfera inerte producida por un gas.



TESIS PROFESIONAL

U  
N  
A  
M  
P  
E  
S  
I  
O

REPRESENTACION ESQUEMATICA DEL  
ARCO METALICO PROTEGIDO

FELIX ARTURO PEREZ PEREZ

1985

FIG. G

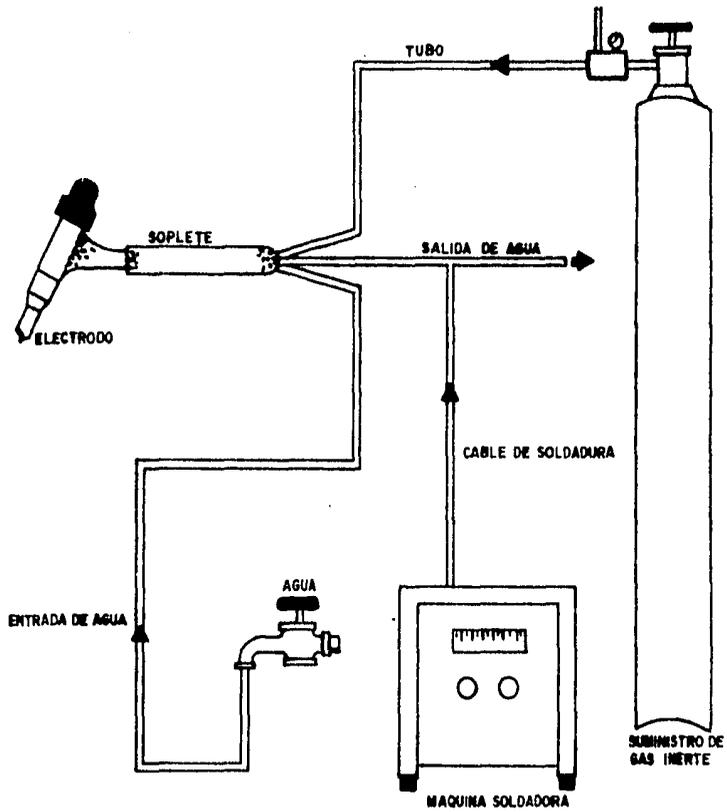
Los gases más comúnmente usados para este fin son: argón helio, y dióxido de carbono. En este proceso se usa un electrodo no consumible con el que se origina el arco, - este electrodo puede ser de carbono o de tungsteno, el electrodo de tungsteno puede ser de metal aleado que le - de mayor durabilidad como el torio.

Con el sistema de arco de carbono o de tungsteno se puede soldar metales entre sí, con o sin metal de aporte.

El proceso con electrodos no consumibles, usándose materiales adecuados para soldar el metal base, una de las ventajas que ofrece es que se puede usar varillas del mismo metal base para soldar.

En este proceso la zona de la soldadura se protege con una cubierta de gas inerte suministrado a través del portaelectrodo enfriado por agua. El argón es más frecuentemente usado aunque se puede emplear helio o una mezcla de ambos. Se puede utilizar ya sea corriente continua o alterna, la selección la determina la clase de metal que se va a soldar.

La corriente continua con polaridad directa, se requiere para aceros, hierro fundido, aleaciones de cobre y aceros inoxidable, en los cuales no se han usado con amplitud la polaridad inversa. La corriente alterna es más versátil en sus aplicaciones y se usa para, aluminio, magnesio, hierro fundido y otros numerosos metales. Debido al costo de los gases inertes para proteger el electrodo, este proceso se usa mejor en la soldadura de partes de espesores delgados y no compete en los procesos -



<b>TESIS PROFESIONAL</b>	
<b>U N A M P E S I C</b>	<b>EQUIPO BASICO DE T.I.G.</b>
	<b>FELIX ARTURO PEREZ PEREZ</b>
	1 0 0 5
	<b>FIG. H</b>

usados para soldar materiales de espesores gruesos.

La mayoría de las soldaduras con gas inerte no consumible se hace a mano.

El equipo básico para la soldadura T.I.G. es:

- 1.- Una máquina de soldar por arco, completa con sus cables.
- 2.- Un abastecimiento de gas inerte completo, con manguera reguladores, etc.
- 3.- Abastecimiento de agua (para algunos tipos de sopletes)
- 4.- Un soplete el cual se conecta todo lo anterior y que actúe como portaelectrodo y mango. Puede tener interruptor que controle todo lo anterior incorporado al mango-soplete (Fig. H).

### 3.5.- PROCESO M.I.G. (Proceso de soldadura de arco metálico fusible protegido con gas inerte).

En este proceso la coalescencia se produce con un calor de un arco entre un electrodo metálico y el material que se encuentra protegido por una atmósfera, ya sea de argón -- o helio,  $CO_2$ , ó una mezcla de gases. En este proceso se usa como electrodos un alambre de metal consumible. Este método se adapta a la soldadura manual o automática con máquina y no se requiere fundente o revestimiento para la protección de la soldadura.

Como el material de relleno es transferido a través del arco protegido, se obtiene mayor eficiencia que en el proceso de electrodos no consumible, dando esto como resulta-

do una soldadura más rápida. Es un proceso simple, puesto que el metal se deposita en una atmósfera que evita las contaminaciones.

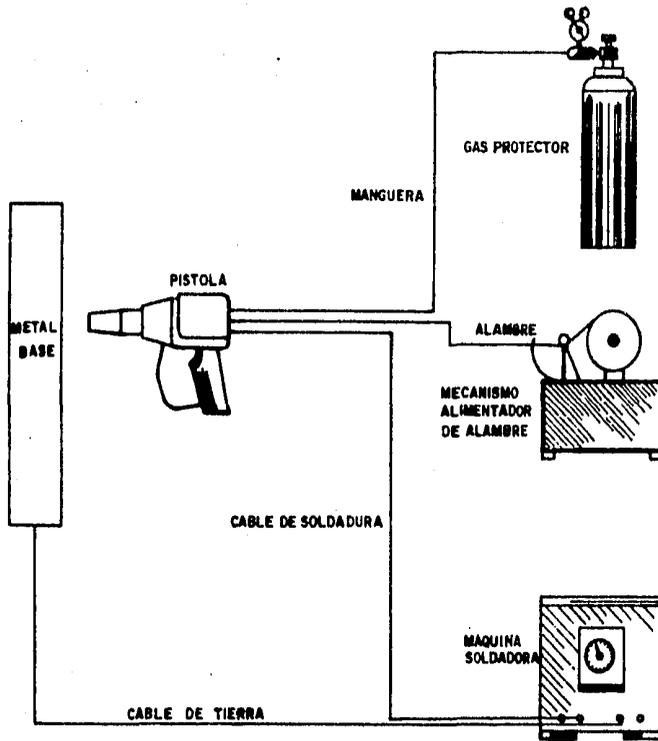
En este proceso, mostrado esquemáticamente en la fig. I), se alimenta continuamente un alambre a través de una pistola hasta la superficie de contacto, la cual le suministra una corriente al alambre. La corriente continua con polaridad inversa proporciona un arco estable y ofrece la mayor alimentación de calor en la pieza a soldar.

Generalmente se recomienda para aluminio, magnesio, cobre y acero. La polaridad directa con argón tiene altas cifras de consumo, pero el arco es inestable, con muchas salpicaduras. La corriente alterna también es por naturaleza inestable y poco usada en este proceso.

El gas  $\text{CO}_2$  se usa ampliamente en la soldadura de acero al carbono y acero de baja aleación. Teniendo excelente penetración, produce soldaduras sólidas a alta velocidad.

El bioxido de carbono que es un gas de protección, aunque no inerte, tiene ciertas ventajas sobre este tipo de soldadura.

La soldadura de arco metálico con gas se puede efectuar manual o automáticamente.



**TESIS PROFESIONAL**

**U  
N  
A  
M  
F  
E  
S  
-  
C**

**EQUIPO BASICO DE M.I.G.**

**FELIX ARTURO PEREZ PEREZ**

**1985**

**FIG. I**

Dicha operación proporciona un control estricto sobre la velocidad de la soldadura y la longitud del arco.

El equipo básico para la soldadura M.I.G. es:

- 1.- Una máquina soldadora de arco completa con sus cables
- 2.- Abastecedor de gas inerte complete con mangueras, reguladores, etc.
- 3.- Mecanismo alimentador de alambre.
- 4.- Electrodo (Carrete o molinete).
- 5.- Pistola soldadora completa con manguera y cable, (determinada por el tipo de procesos que se use.)

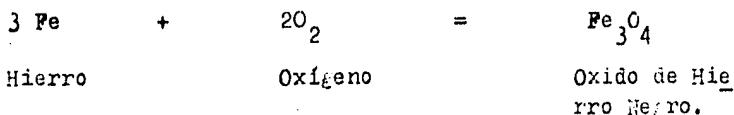
4.1.- CORTE CON OXIGENO + GAS COMBUSTIBLE.- El proceso que sigue para el corte de los metales ferrosos con oxígeno -- y acetileno es el siguiente:

El material a cortar se precalienta a una temperatura -- que oscila entre  $760^{\circ}\text{C}$  a  $870^{\circ}\text{C}$  dando al metal base una -- coloración roja brillante, esta temperatura es la que se considera más apropiada para producir posteriormente una oxidación rápida, la cual es originada por un chorro regular de oxígeno.

Este proceso está basado en la marcada afinidad química que tienen los metales ferrosos con oxígeno al llegar -- a la temperatura antes citada.

La mezcla del oxígeno y el acetileno produce una flama -- de alta temperatura aproximadamente  $3,482^{\circ}\text{C}$ , la cual con una adición de oxígeno inicia la oxidación del hierro, -- transformandose en escoria quebradiza.

La ecuación completa de la reacción oxiacetilénica es:



Tres átomos de hierro (fe) se combinan con dos moléculas de oxígeno (O) lo cual produce una molécula de oxido de hierro negro. En esta reacción el hierro al oxidarse produce  $1,595 \text{ K cal/Kg}$ .

Este calor representa la energía calorífica generada por la oxidación del hierro, alcanzando el metal en el corte una temperatura superior a la de fusión.

En otras palabras la oxidación del hierro se debe considerar en dos periodos:

El primero corresponde al precalentamiento del material -- con una flama que tenga únicamente esa propiedad y que -- una vez que se alcanza la temperatura de oxidación se añada a la flama un chorro de oxígeno, el cual oxida -- el hierro, al mismo tiempo que la energía cinética que -- lleva, barre la escoria. Para este efecto los sopletes -- de corte generalmente tienen una palanca que permite un -- flujo súbito de oxígeno en la flama que se tiene para el precalentamiento del material a cortar.

Este soplete o maneral, lo podemos observar en la fig. J.

Ordinariamente los aceros contienen carbono, manganeso, -- silicio, y otros elementos, los cuales casi no tienen -- influencia en la oxidación que produce el corte, así -- mismo, ciertos componentes aleados como el cromo, níquel y otros elementos en cantidades grandes provocan un marcado retardo para la reacción de oxidación.

El carbono en forma grafitica o liore tal como existe en los hierros fundidos tienen un efecto similar, estos materiales son difícilmente cortados y requieren técnicas especiales para lo mismo.

El oxígeno empleado en el proceso anterior deberá ser de alta pureza para un corte rápido y eficiente. La pureza --

estandar suministrada por los proveedores es de 99.5%

En general, al cortar acero este se endurece a lo largo del corte. El endurecimiento, que se produce por medio de este sistema de corte obedece al rápido enfriamiento que provoca la temperatura ambiente. Es el mismo principio que se usa para el endurecimiento -- (Templado) de herramienta.

Al cortar acero al carbono en las partes adyacentes al corte se produce un calentamiento en el material (color rojo brillante, correspondiente a una temperatura de --  $900^{\circ}\text{C}$ ) que llega hasta una profundidad de 1 a 4 mm. -- en espesores de láminas de acero de espesores delgados de 2 a 3 mm. este efecto es más notable pues por la -- misma masa reducida de material, el descenso de la temperatura después del corte es más rápido, pues el área adyacente calentada no es mayor de 1 mm.

Los cortes oxiacetilénico en placas gruesas que vayan a ser maquinados posteriormente, deberán someterse de ser posible, a un precalentamiento ( $300^{\circ}\text{C}$  aproximadamente) -- antes de hacer el corte para evitar así el endurecimiento del material y que las herramientas, mecánicas de -- corte o acabado en las secciones cortadas, no presenten dificultades para su maquinado. Cuando por alguna razón no sea posible precalentar la parte por cortar habrá -- necesidad de darle un tratamiento térmico (recocido), -- en un horno a una temperatura de 800 a  $900^{\circ}\text{C}$ .

El recocido es una operación que tiene como fin someter

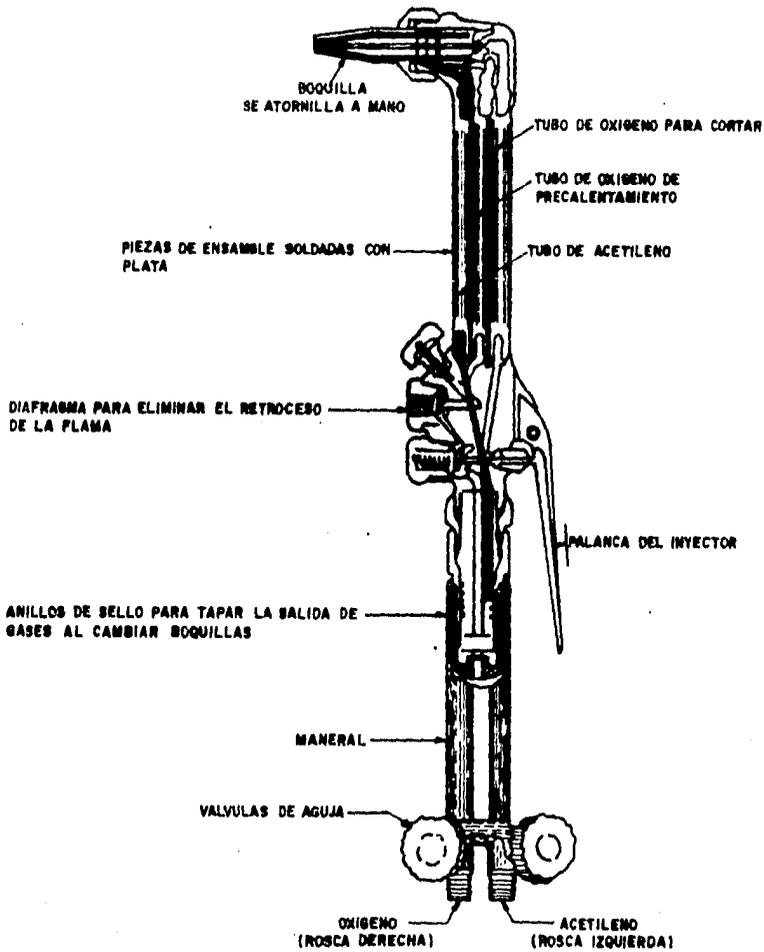
el material a una temperatura tal que homogenice y produzca una estructura granular uniforme en el material -- base al enfriarlo lentamente después de alcanzar la temperatura recomendada, éste enfriamiento debe procurarse a cabo en un espacio cerrado sin corriente de aire. La práctica recomienda mantener la temperatura deseada durante una hora por cada 25.4 mm. de espesor del material.

Otros elementos que afectan dando mayor endurecimiento a los aceros por el rápido enfriamiento además del carbono, son: el cromo, el vanadio, y el tungsteno.

4.1.2.- EQUIPO UTILIZADO PARA EL CORTE OXIACETILENICO.- Para el corte oxiacetilénico se usa el mismo equipo de soldadura -- solo que ahora cambiamos el soplete soldador por un soplete cortador.

4.1.2.1.- SOPLETE CORTADOR.- (Fig. J) Es una combinación de un soplete similar al soldador, con la diferencia de que tiene una alimentación de oxígeno directa hasta la salida de la boquilla.

O sea que el soplete tendrá ahora tres válvulas de paso -- dos de las cuales serán similares a la del soplete soldador, con las cuales regulamos la flama como si fuera para soldar, balanceando oxígeno y acetileno, la tercera válvula es accionada por la palanca que se aprecia en el soplete de la figura J y este flujo de oxígeno llega directamente a la salida de la boquilla; por lo tanto la boquillas -- tendrán un orificio para la salida del oxiacetileno y -- otros para la salida del oxígeno.



TESIS PROFESIONAL

U  
N  
A  
M  
F  
E  
S  
-  
C

SOPLETE CORTADOR

FELIX ARTURO PEREZ PEREZ

1985

FIG. J

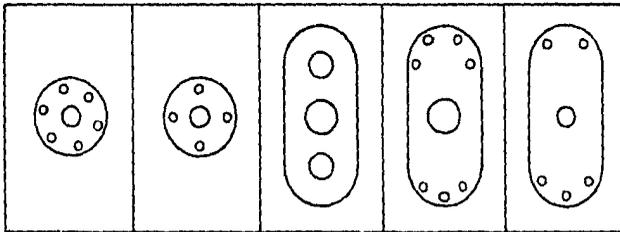
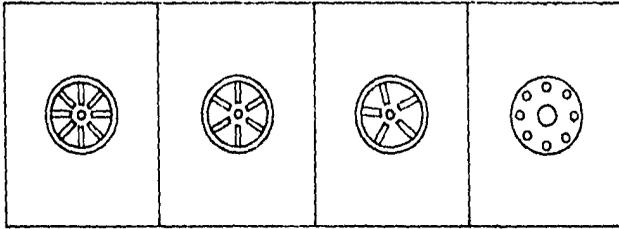
El orificio central es para la salida del oxígeno, y el -  
concentrico a los orificios pequeños al rededor son para  
la salida del oxígeno y el acetileno mezclados. En la fi-  
gura K se puede observar diferentes tipos de orificios de  
la boquillas cortadoras.

Al igual que las boquillas soldadoras las boquillas corta-  
doras también son intercambiables y se fabrican de dife-  
rentes tamaños que se clasifican de acuerdo al diametro -  
de los orificios de salida de las boquillas.

4.2.- CORTE CON SOPLETE POR ARCO PLASMA.- En un soplete de plas-  
ma se calienta una corriente de gas por medio de un arco  
con electrododo de tungsteno, hasta una temperatura tan --  
alta, que el gas se ioniza y actúa como conductor de la -  
electricidad. En este estado el arco gaseoso se conoce --  
como plasma. El soplete se diseña generalmente en tal for-  
ma que el gas se vea confinado, estrechamente a la colum-  
na del acero, através de un pequeño orificio.

Esto aumenta la temperatura del plasma y concentrada su -  
energía sobre una pequeña área de la pieza trabajada, lo-  
que funde rápidamente al metal. Al abandonar la boquilla,  
el flujo de gas se dilata rápidamente removiendo conti-  
nuamente el metal fundido a medida que progresa el corte,  
puesto que el calor obtenido no depende de una reacción -  
química, este soplete podrá utilizarse para cortar cual-  
quier metal.

La temperatura llega a 33 000°C, lo cual es aproximada-  
mente 10 veces la posibilidad obtenida por la reacción -  
del oxígeno y del acetileno.



TESIS PROFESIONAL

U  
N  
A  
M  
F  
E  
S  
-  
C

ORIFICIOS DE LAS BOQUILLAS  
CORTADORAS

FELIX ARTURO PEREZ PEREZ

1985

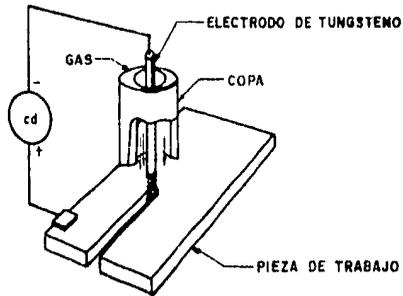
FIG. K

Los sopletes con el arco de plasma transferido usados para el corte, se ilustran según la figura 1. La pieza a trabajar es el ánodo y el arco continúa hacia ella en el chorro de gas con la pieza a trabajar como uno de los electrodos, aumentan la intensidad de transferencia de calor y la eficiencia, siendo esto más conveniente para el corte de metal, que el soplete de plasma no transferido.

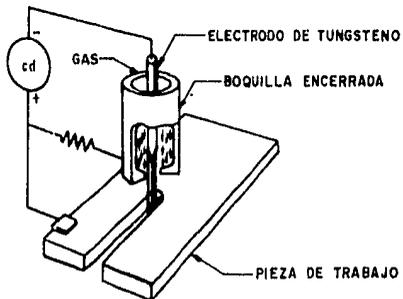
El soplete de corte Heliarc, ilustrado en la fig. 1 no encierra el arco y se le puede utilizar tanto para soldar como para cortar a la mayoría de los metales comunes. Cuando se le usa como soplete de corte se aumenta la densidad de corriente, sobre las buenas condiciones de soldadura y se emplea una mezcla de gases argón-hidrógeno. Se obtiene una línea de corte de buena calidad de un lado de la pieza, pero el espesor a cortar está limitado a 13 mm.

Para cortes precisos de alta velocidad es más satisfactorio el soplete de arco construido como se ilustra en la Fig. 2. El arco es construido con una abertura estrecha al final del soplete, creando un arco de alta velocidad que funde rápidamente un corte estrecho en metales tanto ferrosos como no ferrosos. Se obtienen temperaturas más elevadas que el soplete no construido y se puede cortar espesores hasta 101.6 mm. en cualquier metal.

Mientras que los gases usados en el soplete de corte por plasma incluyen el argón, hidrógeno y nitrógeno, los mejores resultados los proporciona una combinación de argón y nitrógeno. Para operación manual el arco se ini-



1) SOPLETE DE CORTE HELIARC (NO ENCERRADO)



2) CORTE POR ARCO DE PLASMA (ENCERRADO)

TESIS PROFESIONAL

UNAM  
FES  
C

SOPLETES CON ARCO DE PLASMA  
TRANSFERIDO

FELIX ARTURO PEREZ PEREZ

1985

FIG. L

cia una atmósfera de argón, después de lo cual se mezcla en la corriente del gas, una proporción correcta del nitrógeno. En las operaciones de corte hasta con 400 amperes, se utiliza una mezcla de 80% de argón y 20% de hidrógeno. Para mayores corrientes se recomiendan porcentajes de 65% de argón a 35% de hidrógeno. El nitrógeno se recomienda solamente para el mecanizado por corte de aceros inoxidables. Debido a lo tóxico de sus emanaciones deberá utilizarse un sistema de extracción de los gases.

El corte por arco de plasma tiene muchas aplicaciones; se le puede utilizar para operaciones ya sean manuales o mecánicas. El proceso tiene poco efecto sobre las características metalúrgicas o propiedades físicas del metal adyacente, debido a la rapidez de su acción.

Es particularmente útil en el corte de materiales tales como aluminio, aceros inoxidables, cobre y magnesio.

En la soldadura con arco metálico, el material a ser soldado es generalmente una aleación ferrosa como: --- hierro fundido, acero fundido, acero al cromo, acero al manganeso, y muchos otros.

Hay aleaciones no ferrosas tales como: bronce, latón, y otras más por supuesto existen metales que también son soldados en estado puro como aluminio.

Los elementos reaccionan de diferente manera bajo la acción del calor producido por el arco, por lo que los requisitos para la fabricación de electrodos tienen características específicas; por ejemplo, cuando se calientan los metales sufren una expansión las cuales son diferentes entre uno y otro, oxidándose más fácilmente unos que otros. Además el metal por soldar puede tener un coeficiente de expansión diferente al del metal depositado.

Esto ocasiona que en la soldaduras se produzcan esfuerzos y algunas veces fracturas, por lo que es necesario que los electrodos y las técnicas para soldar sean adecuados para que no se produzcan estos efectos.

5.1.- CLASIFICACION DEL METAL DE APORTE. Actualmente son de uso común los siguientes:

Electrodos sin recubrimientos, electrodos con recubrimientos en polvo, electrodos con recubrimientos ligero, electrodos con recubrimiento medio y semi-recubierto, y electrodos con recubrimiento grueso.

5.1.1.- ELECTRODOS CON RECUBRIMIENTO EN POLVO O LIGERAMENTE RECUBIERTO.- El polvo con el cual están recubiertos es un compuesto químico el cual tiene como única finalidad establecer el arco. El principal recubrimiento de este tipo, es cal fijada a la varilla del electrodo con un aglutinante que puede ser el mismo lubricante que se usó durante el proceso de estirado y calibrado del alambre para fabricación del electrodo. Este tipo de recubrimiento no adiciona ninguna característica al metal depositado, por lo que no previene la oxidación y no forma una película de escoria sobre el cordón formado por el metal depositado.

5.1.2.- ELECTRODO MEDIO O SEMI RECUBIERTO.- Tiene un recubrimiento de un espesor apreciable, el cual sirve para estabilizar el arco y controlar parcialmente la oxidación del metal fundido cuando se va depositando, formando una película delgada de escoria sobre la superficie del cordón.

La cantidad de recubrimiento es aproximadamente 1 y 2% del peso total del electrodo.

5.1.3.- ELECTRODOS RECUBIERTOS.- Son los que utilizan todos los beneficios de los recubrimientos químicos; éstos tienen aproximadamente el 10% del peso total del electrodo y hacen posible tener el control de las características del arco, así como las propiedades físicas y químicas del metal depositado.

El recubrimiento del electrodo es consumido en el arco muy lentamente a la misma velocidad que el consumo del me

tal. (aunque hay electrodos "de arrastre" donde el recubrimiento se consume o funde más lentamente).

El recubrimiento del arco también permite que el mismo se estabilice y siga el sentido deseado. Esto hace que las pérdidas térmicas se reduzcan y se aumente la temperatura en la punta del electrodo, por lo que nos dá por resultado un incremento en el depósito, así como mejor penetración del metal en la soldadura.

El fundente, simultáneamente a la formación del arco, cubre el metal depositado con una capa de escoria resultante de la combustión de los componentes y que evita el enfriamiento rápido del metal depositado, con esto se obtiene un riesgo menor de fractura en la soldadura.

El calor generado por el arco hace que el recubrimiento, al consumirse genera grandes cantidades de gas protegiendo completamente el arco y el metal contra el aire ambiente. La cubierta gaseosa es producida por la volatilización, disociación, y combustión de materias orgánicas con lo que está hecho generalmente el recubrimiento.

Otra función más del recubrimiento es consumir oxígeno cuando este se genera en la fusión del metal base y el electrodo, cuando no se adiciona material combustible, el arco es cubierto por vapores de óxido metálicos y silicatos.

La acción del arco en el recubrimiento dá como resultado la formación de escoria, la cual flota en la superficie del metal fundido aislándolo del aire mientras el metal fundido pasa de estado líquido a estado sólido.

La escoria es producida por la acción y reacción de ingredientes de recubrimientos librados, más o menos volátiles-- los cuales pueden ser fácilmente removidos después de que el metal de la soldadura está suficientemente frío.

Otra propiedad importante de la escoria fundida es que al estar en contacto con el metal remueve la oxidación e impureza del metal soldado e incrementa la fluidez del metal, lo que hace que fluya más suave y uniformemente.

Algunos constituyentes del recubrimiento, tomado de A. W.- S. Son: goma o resina celulosa, silicato de aluminio en -- polvo, talcos (Silicatos de magnesio), titanio (rutilo, --- bioxido de titanio), oxido de hierro, carbonatos de calcio asbesto, ferromanganeso, silicato de potacio o sales de po tacio, silicato de sodio.

Como el recubrimiento es usualmente muy mal conductor de -- la electricidad, permite el uso de electrodos recubiertos-- para soldar en partes angostas sin provocar corto circuito al hacer contacto el electrodo con los lados del material-- al soldar.

El recubrimiento es un medio excelente para introducir en la soldadura elementos aleados, que sirven para poder producir mayor resistencia a la tensión, dureza, corrosión, y otras propiedades físicas que eliminan las pequeñas cantidades de oxígeno que pueden ser libradas en el proceso de soldadura, para obtener el control deseado en el aumento -- de los elementos aleados los desoxidantes de metales, son-- usualmente adicionados al recubrimiento.

Cada fabricante desarrolla su propio proceso de manufactura

pero el recubrimiento es aplicado al alambre por uno de los siguientes procesos:

- 1.- Una o más veces se sumerge al alambre en la pasta.
- 2.- Extrusión de la pasta la cual debe tener una consistencia bastante viscosa para que se adhiera en la superficie del alambre.
- 3.- Aplicación de una manga impregnada con el material de recubrimiento.
- 4.- Aplicación en forma de espiral cerrada de un cordón de asbesto o de algodón y ésta a la vez cubierta por extrusión de la pasta del recubrimiento.
- 5.- Cubrir el alambre con el recubrimiento y ferrarlo con una tierra enrollada en toda su extensión por una cinta de papel o de metal.
- 6.- Aplicación de una malla tejida sobre el alambre y llenado por extrusión del espacio entre el alambre y la malla, dejándose descubierta la punta de electrodo.

5.2.- **CRITERIO A SEGUIR EN LA SELECCION DEL METAL DE APORTE.** Los electrodos metálicos son generalmente usados para soldar manualmente y se fabrican en diámetros de 1.58 mm. a 9.5 mm y en largos usuales de 355 mm. a 455 mm.

El tamaño apropiado del electrodo, depende de los requisitos de la soldadura y del material por soldar.

La longitud del electrodo es un factor importante cuando --

el soldador no tiene la práctica necesaria, por lo que se deben usar de preferencia electrodos cortos.

El tipo de trabajo y la composición química del material a soldar, determina la composición química del electrodo; subsiste aún el uso de algunos tipos de electrodos que -- han sido usados en el pasado.

En un principio, el electrodo usado para la soldadura con arco eléctrico era un alambre de uso común, que no tenía ninguna especificación especial para su fabricación y no estaba recubierto; posteriormente se vieron las dificultades que presentaba la soldadura con este tipo de material y se fué mejorando la calidad del mismo, hasta llegar a la fabricación bajo normas estrictas que actualmente son las que rigen.

Especificaciones de electrodos AWS-ASTM .- Los fabricantes de electrodos a fin de tener una evaluación estandar de sus productos en el mercado, han preparado especificaciones que cubren un número de estos materiales. En esta tecnología no se encuentran todas las especificaciones, -- pero si se consideran las de más importantes características.

Electrodos de aceros suaves y de baja aleación.- Hay dos especificaciones: la de "Electrodos de acero suave" -- (Designación AWS, 45.1; designación ASTM a 233) y "Electrodos de baja aleación" (Designación AWS, 45.5; Designación ASTM a 316).

Las series de especificaciones que principien en E 45 y -- en E 60 corresponden a "Electrodos de Acero Suave" y las-

E 70, E 80, E 90, E 100, corresponden a "Electrodos de baja aleación", a estas especificaciones se les adicionan dos dígitos, que indistintamente se usan para un tipo u otro.

Por ejemplo; E 4510; E 3010; E 6010. Estos dígitos son para indicar cualidades especiales en cada caso.

sistema de la AWS de numeración de los electrodos. El prefijo "E" significa electrodo y se refiere a la soldadura por arco.

El prefijo "R" significa varilla y se refiere a la soldadura autógena.

Para los electrodos de acero dulce y los aceros de baja aleación: Las dos primeras cifras de un número de cinco cifras designan resistencia a la tracción: E 60xx significa una resistencia a la tracción de 60,000 libras por pulgadas cuadradas ( $42.2 \text{ Kgs/mm}^2$ ).

E 70xx significa una resistencia a la tracción de 70,000 libras por pulgadas cuadradas ( $42.2 \text{ Kgs/mm}^2$ ).

E 100 significa una resistencia a la tracción de 100,000 libras por pulgadas cuadradas ( $70.3 \text{ Kgs/mm}^2$ ).

La penultima cifra indica la posición para soldar:

Exxlx significa para todas las posiciones.

Exx2x significa posición horizontal o plana

Exx3x significa posición plana solamente.

Para indicar la posición se puede indicar con las iniciales de la misma posición:

- Posición Plana (p)
- Posición Horizontal (H)
- Posición Vertical (V)
- Posición Sobre Cabeza (SC)

La última cifra no tiene significado si se le considera -- por si sola. Pero las dos últimas cifras consideradas en conjunto indican polaridad. Cuando se conecta el cable -- porta electrodos al borne o polo negativo, tenemos polaridad directa, y cuando lo conectamos al positivo tenemos -- polaridad invertida.

Exx 10 significa Corriente Directa por polo positivo.

Exx11 significa Corriente Directa, polo positivo o corriente alterna.

Exx12 significa corriente Directa, polo negativo o corriente alterna.

Exx13 significa Corriente Directa, polo negativo o corriente alterna.

Exx14 significa Corriente **A**lterna o Corriente directa

Exx15 significa Corriente Directa, Polo positivo

Exx16 significa Corriente Alterna o Corriente Directa, Polo positivo.

Exx24 significa Corriente Alterna o corriente Directa ambos polos.

Exx27 significa Corriente Alterna o **C**orriente Directa polo-negativo.

Exx20 significa Corriente Alterna o Corriente Directa

Exx30 significa Corriente Alterna o Corriente Directa.

TODAS ESTAS CARACTERISTICAS LAS PODEMOS VER EN LA SIGUIENTE LA FIG. H

**CARACTERISTICAS DE LOS RECUBRIMIENTOS EN ELECTRODOS  
DE ACEROS AL CARBON Y DE BAJA ALEACION**

CLASE DE ELECTRODO	DESCRIPCION DEL RECUBRIMIENTO O FUNDETE	POSICIONES EN LAS CUALES SE PUEDEN OBTENER SOLDADURAS SATISFACTORIAS	CLASE DE CORRIENTE PARA SOLDAR	CARACTERISTICAS DE PENETRACION	CLASE DE ESCORIA SOBRE EL DEPOSITO	SANIDAD DEL METAL DE SOLDADURA	PRESENTACION
E 4510	PINTURA CON SILICONES	P.V.S.C. H	CD-PD POSITIVA	MODERADA	MUY DELGADA	ALGUNOS POROS	PESIMA
E 4520	PINTURA CON SILICONES Y OXIDO DE HIERRO	H.P	CD-PD	"	"	"	"
E4510	CELULOSA SODIACA	P.V.S.C. H	CD-PI NEGATIVA	"	"	BUENA	MALA
E4510	CELULOSA SODIACA Y POLVO DE HIERRO	P.V.S.C. H	CD-PI	"	DELGADA	"	BUENA
E4511	CELULOSA POTASICA	P.V.S.C. H	CA CD-PI	"	MUY DELGADA	"	REGULAR
E4512	RUTILO SODICO (OXIDO DE TITANIO)	P.V.S.C. H	CD-PD CA	POCO PROFUNDA	MODERADA	UN SOLO PASO, BUENA VARIOS POROS	BUENA
E4513	RUTILO POTASICO (OXIDO DE TITANIO)	P.V.S.C. H	CA, CD, PD CD-PI	"	"	BUENA	MUY BUENA
E4514	POLVO DE HIERRO	P.V.S.C. H	CD-PI CD-PD CA	MODERADA	"	"	EJELENTE
E4515	FLUORITA Y CAL SODICA (BAJO HIDROGENO)	P.V.S.C. H	CD-PI	"	"	EJELENTE	REGULAR
E4516	FLUORITA Y CAL POTASICA (BAJO HIDROGENO)	P.V.S.C. H	CA-CD-PI	"	"	"	"
E4518	FLUORITA, CAL Y POLVO DE HIERRO POTASICO (BAJO HIDROGENO)	P.V.S.C. H	CA-CD-PI	"	"	"	BUENA
E4520	POLVO DE OXIDO DE HIERRO	H-FILETE P.	CA-CD-PD CA-CD-PD CD-PI	PROFUNDA	GRUESA	"	MUY BUENA
E4524	POLVO DE HIERRO	H-FILETE P.	CA-CD-PD PI	POCO PROFUNDA	"	BUENA	EJELENTE
E4527	FLUORITA, CAL Y POLVO DE HIERRO SODICO	H-FILETE P.	CA-CD-PD	MODERADA	"	EJELENTE	BUENA
E4528	FLUORITA, CAL Y POLVO DE HIERRO POTASICO	H-FILETE P.	CA-CD-PI	"	"	"	"
E4530	POLVO DE OXIDO DE HIERRO	P.	CA-CD-PD CD-PI	PROFUNDA	"	"	MUY BUENA

**T E S I S   P R O F E S I O N A L**

**U  
N  
A  
M  
F  
E  
S  
I  
C**

**CARACTERISTICAS DE LOS RECUBRIMIENTOS EN ELECTRODOS DE ACERO AL CARBON Y DE BAJA ALEACION**

**FELIX ARTURO PEREZ PEREZ**

**1 9 8 5**

**FIG. M**

6.1.- SOLDADURA DE ACEROS.- El acero es una aleación cristalizada de hierro, carbono y otros variados elementos,-- que endurecen cuando se le enfría bruscamente después de estar arriba de su temperatura crítica. No contiene escoria y se puede moldear, laminar o forjar. El carbono es un constituyente muy importante, por su habilidad para aumentar la dureza y la resistencia del acero. Se utilizan más megagramos de acero que todos los demás -- metales combinados. No obstante que el acero puede ser baseado en moldes para conformarlo a un perfil y tamaño definido y complejo, lo más común es que se le moldee en forma de lingotes, para usarlo después, en la fabricación de tubos, barras, láminas o formas estructurales.

El acero se clasifica de acuerdo con los elementos de aleación que contiene. El carbono es el elemento más -- importante, por cuya razón todos los aceros se clasifican de acuerdo con el contenido de carbono. El acero -- al carbono, contiene principalmente hierro y carbono -- y se le clasifica como aceros 10xx, en donde los dos -- primeros dígitos se refieren a los aceros al carbono. -- El tercer y cuarto dígitos, se refieren al contenido -- de carbono en centésimos de porcentajes. Así, un acero-1035 en un acero al carbono con 0.35% de carbono. Existen diferentes cantidades de otros materiales en el -- acero al carbono, pero su contenido es tan pequeño que -- no afecta las propiedades físicas.

Los aceros se pueden clasificar más ampliamente como -- sigue:

## A. Aceros al carbono

- 1.- De bajo carbono (menos de 0.30% )
- 2.- De medio carbono (0.30 a 0.70% )
- 3.- De alto carbono (0.70 a 1.40% )

## B. Aceros aleados

### b.1.1.- ACEROS CON BAJO CONTENIDO DE CARBONO.- (0.05 a 0.30%)--

los aceros con bajo contenido de carbono, dulces con -- 0.30% de carbono, es el material que se utiliza para la construcción de puente, rascacielos, etc. Resisten todos los trabajos pesados, pudiendo ser doblados o perforados aún más, ser calentados al rojo sin llegar al rojo blanco, y enfriarlos en agua fría sin que se vuelvan quebradizos.

Los aceros con bajo contenido de carbono pueden soldarse con cualquiera de los procesos conocidos. La preferencia de aplicación de determinado proceso, la dicta el bajo-- costo así como el grueso del material de trabajo, la cla-- se de unión y la posición de la soldadura. Todos los ace-- ros al carbono, son soldables con arco eléctrico; pero si el contenido de carbono es demasiado bajo, entonces esta condición no se presta para aplicar soldaduras a alta -- velocidad, siendo ésto especialmente en aquellos aceros-- que tienen menos de 0.13% de carbono y 0.40% de mangane-- so, en virtud de que tienden a desarrollar porosidad -- interna. Sin embargo, El acero de bajo contenido de car-- bono es ideal para la soldadura, siempre y cuando se -- observen las recomendaciones de buena fijación de la --- pieza, superficies limpias, etc.

Respecto a los aceros con bajo contenido de carbono, es decir aquellos que tienen 0.13% de carbono, podemos decir que son de baja resistencia a la tensión y a la dureza; pero en cambio son de gran ductilidad y gran resistencia al impacto.

6.1.2.- ACEROS CON MEDIANO CONTENIDO DE CARBONO.- ( de 0.30% a 0.70% de carbono ). Los aceros de medio contenido de carbono pueden soldarse pero la técnica y materiales a usar están determinados por las características metalúrgicas del metal base. En muchos casos a fin de eliminar o reducir la formación de partes duras y queoradizas en la zona de fusión, puede ser necesario el calentamiento previo y el recocido posterior a la operación de soldar. Esto debe tenerse especialmente presente si el acero contiene más de 0.40% de carbono.

Los aceros con mediano contenido de carbono pueden soldarse indistintamente con electrodos desnudos o descuier-  
tos.

En ambos casos, la intensidad de la corriente debe ser lo suficientemente elevada para producir el calor preciso, para una perfecta penetración y facilitar al operario el agitado del baño. La plasticidad de un metal aumenta con el contenido, del carbono y es necesario agitar más para desprender los gases con el objeto de conservar el metal exento de poros.

Para obtener los resultados optimos, es conveniente usar como metal de aporte ción una varilla recuier-  
ta, adecuada

mente fabricada para su utilización en aceros con contenido de carbono análogo al que se trata de soldar.

6.1.3.- ACEROS CON ALTO CONTENIDO DE CARBONO.- (0.70% a 1.40% de carbono).- a causa de su elevado contenido de carbono los aceros de esta clase son más difíciles de soldar que los de las restantes calidades. Pueden originarse fácilmente una dureza y fragilidad excesivas en la zona de fusión.

Los aceros con alto porcentaje de carbono pueden soldarse mediante un tipo, especial de electrodos de acero recubiertos, previsto para depositar un metal denso que tenga una superficie tenaz y de moderada dureza. También pueden usarse electrodos de aceros suave para ejecutar la soldadura en los aceros de que estamos tratando.

El metal aportado absorbe carbono del metal base, lo cual motiva una considerable pérdida de su ductilidad, para conseguir los mejores resultados, las piezas a unir deben precalentarse a una temperatura de por lo menos 260°C. La dureza se aumenta considerablemente, si después de soldar se calienta hasta una temperatura de 650 a 790°C y se temple en agua fría. Cualquier forma de trabajo en frío, tal como batido, endurecerá la superficie en un 10 a 20%. Para que sea mecanizable, el metal de la soldadura de alto porcentaje de carbono deberá dejarse enfriar lentamente o deberá ser recocido. La mecanización a efectuar puede consistir en el esmerilado o rectificadado de la soldadura para reducirla a las dimensiones exactas que se precisen. La soldadura se utiliza frecuentemente en los aceros, para resistir a sus primitivas dimensiones algunas superficies desgastadas, o para crear una superficie de alta resistencia al desgaste.

GRUPO	ELEMENTO DE ALEACION	SEMOLO QUIMICO
1	Carbono	C
2	Níquel	Ni
3	Níquel Cromo	Ni-Cr
4	Molibdeno	Mo
5	Cromo	Cr
6	Cromo-Vanadio	Cr-V
7	Tungsteno	W
8	Cromo-Níquel-Molibdeno	Cr-Ni-Mo
9	Silicio-Manganeso	Si-Mn

En la tabla anterior se ha mencionado un número de --- grupo correspondiente a uno o varios elementos de la --- aleación y se ha hecho con el fin de seguir la clasificación de aceros establecidas por la Sociedad de Ingenieros Automotrices (SAE) y por el Instituto Americano del Hierro y del Acero (AISI) o, sea que los aceros en general se identifican de acuerdo a numeroso que corresponden al mismo tiempo a normas establecidas, pues bien, el primer número de la serie de cuatro que son generalmente los que clasifican a un acero al carbono y tres los que clasifican a un acero inoxidable, es el que indica a que grupo pertenece este acero y por la tabla rápidamente sabemos cuál es su principal elemento de aleación; información imprescindible para poder seleccionar el material de aporte, electródo y proceso que se debe seguir para la soldadura de cualquier acero.

Explicaremos a continuación las características o propiedades que le dan al acero, cada uno de los elementos de aleaciones mencionadas.

En tales casos es innecesario el calentamiento previo y el tratamiento térmico posterior a la ejecución de la soldadura, a menos que el porcentaje de carbono en el metal base este próximo al límite máximo.

6.1.4.- ACEROS ALEADOS.- Los aceros aleados son aquellos que contienen hierro y carbono más elementos de aleación y se clasifican de acuerdo a ellos.

Clasificación SAE para aceros

La clasificación de los aceros se hace en base al elemento principal de aleación, es decir al porcentaje del contenido de dicho elemento y al porcentaje de carbono que contenga. La designación se hace normalmente con cuatro cifras, por ejemplo:

Se tiene un acero SAE 2330

SIGNIFICADO

- A) SAE.- Norma
- B) (2) que pertenece al grupo dos de la clasificación SAE.
- C) (3) que contiene 3% del elemento de aleación indicado en el grupo 2
- D) (30) .- Indica que contiene 30 puntos de carbono o sea 0,30% de contenido de carbono.

A continuación se presenta una relación de aceros considerando el primer dígito de la izquierda (Grupo).

CLASIFICACION PARCIAL SAE.- AISI PARA ACEROS-

6.1.4.1.- CARBONO.- ES el principal elemento de aleación y se -- caracteriza por la dureza, cuando un acero contiene más -- del 0.3% de carbono son endurecidos si después de soldar-- los son enfriados rápidamente, los aceros que tienen --- menos del 0.3% difícilmente se endurecen al ser calenta-- dos y enfriados rápidamente.

En general los aceros de mediano contenido de carbono no-- deberan ser enfriados rápidamente después de soldarlos y-- los aceros con alto contenido de carbono requieren a un-- precalentamiento para ser soldados el cual, mínimo debe-- ser de 200°C y después de aplicada la soldadura deberá -- dejarse enfriar lentamente cubriendo la pieza con cal - - o asbesto para que el aire del medio ambiente no la en--- fríe bruscamente y produzca dureza en las zonas soldades-- ya que a medida que se endurece una pieza por el efecto-- del carbono también pierde resistencia a la tensión y al-- impacto.

6.1.4.2.- NIQUEL.- Principalmente le da resistencia a la tensión-- al acero. Los aceros aleados contienen de 1 a 5% de ní--- quel y los aceros inoxidables contienen hasta 20% . Los -- aceros que contienen del 25 al 35% de contenido de níquel son los llamados aceros al níquel que se caracterizan --- principalmente por ser antimagnéticos. A medida que se -- disminuye el contenido del níquel en el acero, este va -- recorando su magnetismo, los aceros inoxidables ferri--- ticos son los que contienen 18% de níquel aproximadamen-- te y son por lo tanto poco magnéticos.

6.1.4.3.- CROMO.- Su principa. función es darle resistencia a - la corrosión al acero para lo cual es necesario aplicar--

mínimo 11% de cromo. Es el elemento de aleación fundamental en los aceros inoxidable los cuales contienen del 11% al 20% en menor importancia, también le dá dureza y resistencia tanto a la corrosión como a la tensión a elevadas temperaturas.

6.1.4.4.- MOLIBDENO.- Este elemento se agrega con dos fines fundamentales. El primero es en los aceros de medianos carbono y se agrega para darles dureza aunque reduce un poco la resistencia a la tensión. A la temperatura ambiente le dá dureza aunque reduce un poco la resistencia a la tensión a elevadas temperaturas (400°C aproximadamente).- El segundo es cuando se agrega en los aceros inoxidables con el fin de evitar los endurecimientos locales, los cuales son quebradizos y fácilmente atacados por los elementos corrosivos.

6.1.4.5.-VANADIO.- Produce, durante el tratamiento en caliente, una estructura de grano fino en virtud de que elimina los efectos del sobrecalentamiento, además ayuda en la dureza y resiste la operación del temple.

6.1.4.6.- TUNGSTENO.- Se usa principalmente en los aceros para herramientas ya que proporciona dureza y la sostiene a temperaturas elevadas.

Si se agrega del 15 al 20% le dá al acero la resistencia mecánica al rojo o sea resistencia a la más elevada temperatura (500°C) que es la temperatura a la cual trabajan algunas herramientas.

6.1.4.7.- TITANIO.- El titánio es un elemento que pertenece al

grupo de zirconio. Es un elemento de aleación con una proyección ilimitada, puesto que aleado con el acero reduce considerablemente el peso para una misma cantidad de esfuerzo, también le dá alta resistencia a la corrosión en cualquier medio ambiente. En soldadura de aceros inoxidable se usa también como estabilizador. Las aleaciones de aceros y titanio, por las características antes mencionadas son ampliamente utilizadas tanto en la construcción de naves aéreas y espaciales, y se prevee una utilización inmediata en el ambiente industrial.

6.1.4.8.- MANGANESO.- En los aceros de mediano y bajo contenido de carbono contaminados de azufre evita la combinación del azufre con el hierro evitando la formación de sulfuros de hierro, que es muy duro y quebradizo, en las soldaduras duras generalmente forman grietas.

6.1.4.9.- ZIRCONIO.- Es un poderoso desoxidante, pero tiene que aplicarse combinado con otro elemento similares; su misión principal es evitar el exceso del punto de dureza.

6.2.- ACEROS INOXIDABLES.- El acero inoxidable fué presentado por primera vez entre los años 1910 por el ingles HARRY BREEDLEY. A partir de entonces muchas aleaciones de acero inoxidable se han desarrollado, los cuales resisten casi todos los tipos de corrosión, así como la oxidación, causados por los gases calientes, sin perder su alta resistencia aún a elevadas temperaturas, todas estas aleaciones tienen una base de hierro-carbono-cromo, en tanto que algunas son adicionadas con níquel, o con níquel y manganeso.

Los aceros inoxidables son designados por el sistema de clasificación de 3 números dígitos, establecidos por la-- Sociedad Americana del Hierro y del Acero (AISI). Las -- especificaciones AISI son aceptadas por un numeroso grupo de Ingenieros de casi toda America.

Designación Numerica "AISI" de Aceros Inoxidablees.

Series	Mayores elementos Aleados	Características
2XX	Cromo Níquel Manganeso	Austenitico no se endurece.
3XX	Cromo Níquel	Austenitico No se endurece.
4XX	Cromo	(1) Martensitico Si se endurece. (2) Ferrítico. - No se endurece.-
5XX	Cromo (4 a 6%)	Martensítico. Se endurece al aire.

Se clasifican de acuerdo a tres cifras. En este caso nos -- referimos a la primera, ya que el dato que nos proporciona es suficiente para poder seleccionar correctamente el proceso adecuado para soldar. (El segundo y tercer dígitos -- identifican el tipo específico de aleación)

La tabla anterior muestra la relación de varios aceros, -- con respecto al contenido de carbono-cromo.

En cuanto a la alta aleación de los aceros inoxidables ---

tiene muchas y valiosas propiedades.

Un alto porcentaje de cromo hace fuerte al acero, tanto a altas como a bajas temperaturas, dándole una excelente resistencia a la corrosión.

Cuando se combinan el cromo y el carbono se forma el carburo de cromo, que proporciona tenacidad, dureza y resistencia al desgaste. El contenido de Níquel dá resistencia a la corrosión y alta tenacidad.

El acero con el alto contenido de cromo (sobre 10%) es conocido como martensítico, ferrítico, o austenítico, aún cuando algunos aleados pueden tener una o otra estructura cristalizada a la temperatura ambiente, dependiendo esto del tratamiento térmico.

El acero martensítico, se comporta como el acero aleado por su alta propensión al endurecimiento. Al calentarlo se forma la austenita y durante el enfriamiento rápido esta se transforma en martensita. Si el acero martensítico es recocido, se forma una estructura maquinable de ferrita y perlita, sustituyendo a la martensita.

El acero ferrítico no responde muy bien al tratamiento térmico en virtud de que la aleación tiene la estructura vidriosa a la temperatura ambiente.

El acero inoxidable tiene propiedades que difieren del acero al carbono. Las comparaciones con el acero de bajo-carbono son las siguientes:

1.- Su conductividad térmica es muy baja, y por ésta ---

razón es más susceptibles de sobrecalentarse y torcerse - durante la soldadura.

2.- Su expansión térmica es mayor, tendiendo esto aumentar la distorsión durante el enfriamiento.

3.- Tiene más resistencia cierto tipo de corrosión que el acero al carbono y es más resistente a la oxidación a - - altas temperaturas.

La mayor parte de tal acero no es afectada por muchos - - acidos, inclusive el nítrico, aunque el hidrociorito y -- algunos otros si lo atacan.

4.- Resiste a la oxidación hasta que el calor llega cerca o al punto de fusión en presencia del aire, y entonces se forma un óxido de cromo refractario, que evita que las -- aleaciones pueden cortarse con el soplete, por cuyas - -- circunstancias deberá utilizarse un proceso de corte espe- cial, con polvo de hierro impulsado dentro de la flama -- mediante aire comprimido. En la operación de soldadura el metal fundido deberá protegerse del aire ambiente.

5.- Algunas aleaciones martensíticas tienen muy alto gra- do de tendencia a la dureza; otras se cristalizan al ca-- lentarse y luego enfriarse, debiéndose esto al crecimien- to excesivo del grano al llegar a las temperaturas eleva- das, en tanto que otras pierden su resistencia a la corro- sión, si hay cantidad apreciable de carbono en el metal - base o en el metal de la soldaduras.

6.- Los grados austeníticos no son magnéticos.

Naturalmente las propiedades ya mencionadas dependen del análisis del acero. Como reglas se establece que al mayor contenido de cromo más notables serán tales propiedades.

6.2.1.- SOLDADURA DE ACEROS INOXIDABLES AUSTENITICOS.- Para la soldadura de los aceros inoxidables austeniticos, se tiene como principal problema la corrosión intercrystalina-- o sea la formación de carburos de cromo. La forma clásica de indentificar los carburos de cromo es por el color azul que aparece en la zona adyacente a la soldadura.

La corrosión intercrystalina solo, es posible en el rango de temperatura de  $400^{\circ}\text{C}$  a  $800^{\circ}\text{C}$  ya que es la condición más favorable para que el carbono forme con el cromo los carburos de cromo.

A este rango de temperatura se le llama temperatura de sensitización y es precisamente en la zona adyacente al cordón de soldaduras en donde es más posible que se sostenga esta temperatura y por lo tanto la más propensa a sufrir la corrosión.

La forma de evitar la corrosión intercrystalina es fundamentalmente con la aplicación de electrodos que aparte de tener un contenido de cromo y níquel igual o mayor al contenido en el metal base. Tenga muy bajo contenido de carbono para lograr que en la zona de la soldadura esté la mínima cantidad de carbono libre, para formar carburos y además contener elementos que tengan mayor afinidad de alearse con el carbono durante la temperatura de sensitización y después de esta temperatura dejarlo libre evitan

do así la corrosión a estos elementos se le llaman estabilizadores y los más usados son:

Columbio, Titanio, Molibdeno, Cesio, Bario, Zirconio

A este tipo de electrodos con bajo contenido de carbono - y elementos estabilizados se le llaman: Electrodos extra-bajo, Carburo estabilizados y puede decirse que, si se aplican correctamente, queda descartada la posibilidad de la corrosión.

En general los aceros inoxidables tienen muy bajas conductividad térmica lo que trae consigo el problema de distorsión sobre todo en láminas, se abolsa en la zona que se calienta porque la temperatura no se difunde uniformemente sino que tiende a concentrarse al recedor de la zona de  fusión, es por esto que se recomienda soldar a la más bajas temperaturas posibles y a la mayor velocidad, con lo cual a parte de lograr reducir las deformaciones --- tambien evitamos su calentamiento en zonas cercanas a la zona de  fusión, que llegan a estar entre la temperatura de sensitización ( $400^{\circ}\text{C} - 800^{\circ}\text{C}$ ) y forman corrosiones.--- Para reducir esta posibilidad es conveniente enfriar -- rápidamente la pieza después de soldada, el enfriamiento puede hacerse con agua o colocando la pieza a soldar sobre placas de cobre, de tal forma que el cobre absorbe -- el calor rápidamente.

Desde luego que la forma más práctica, es ir corriendo -- sobre el cordón una estopa empapada de agua, poco después de haber aplicado la soldadura.

En general los aceros inoxidables pueden soldarse con - -

cualquier proceso, siendo lo más recomendable para láminas delgadas (Espesor menor de 3.2 mm.) y tuberías de regular espesor, el proceso TIG y en menor grado el oxiacetileno— sobre todo en los procesos a bajas temperaturas en los cua les se efectúa la unión por adherencia y se aplican vari— llas de aporte que básicamente contienen plata.

Los tipos de aceros inoxidables 304, 308, y 347, son muy— usados en la fabricación de equipos y accesorios empleados en la Industria alimenticia y se pueden soldar con aleacio nes a base de plata a las más bajas temperaturas (menores— que los 600°C) con el soplete oxiacetilénico, por ----- precaución, para evitar la absorción de carbono de la flama se recomienda balancear la flama o procurar dejarla - - en muy poco grado oxidante. También debe tenerse cuidado - en que las varillas de aportación no contengan elementos - tóxicos tales como plomo, zing, antimonio, y cadmio, para todas las aplicaciones con oxiacetileno es necesaria la -- aplicación de fundentes para disolver la capa de óxido de cromo que se forma en la superficie de todo acero inoxidable.

Esta capa de óxido de cromo tiene la particularidad de no fundirse a la temperatura de fusión del acero, en realidad es un material refractario que si no se elimina impide la unión. El fundente tiene la función de disolverlo y la --- nueva aleación si se funde a bajas temperaturas y lo que - queda del óxido se mezcla con la capa del fundente sobre-- la superficie, posteriormente se elimina esta capa de - -- residuo del fundente (Para quitarla con mayor facilidad es recomendable hecharle agua caliente.)

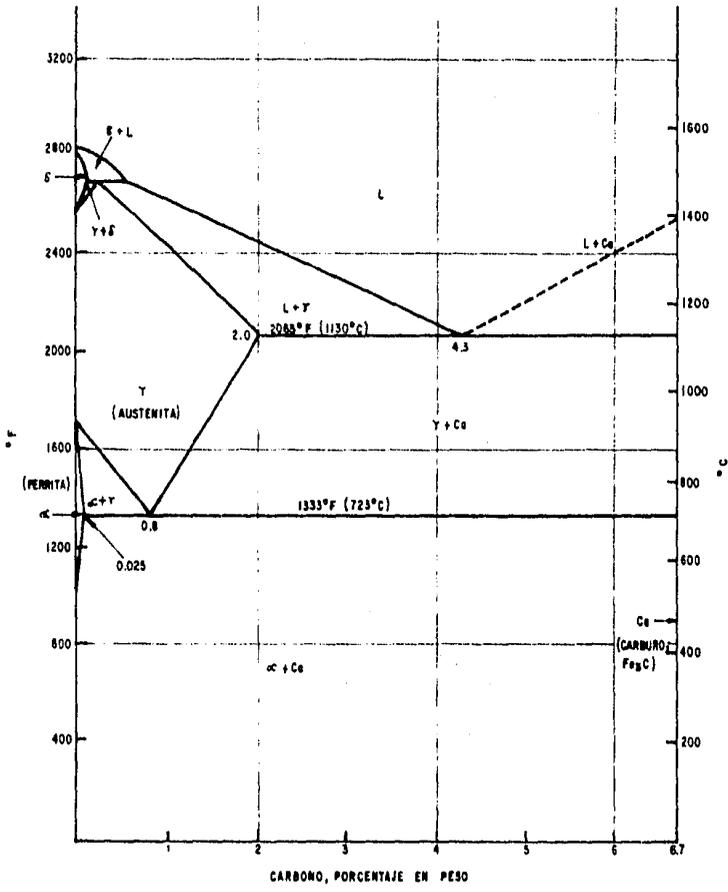
Para la soldadura con el proceso TIG no es necesario apli-

car fundentes ya que la capa de óxido es eliminada por la elevada frecuencia que se aplica al iniciar el arco y posteriormente, una vez rota la capa de óxido en el inicio, la soldadura se continúa a baja frecuencia mientras no se interrumpa el arco y el óxido de cromo queda totalmente eliminado.

El gas inerte usado para soldaduras en acero inoxidable debe ser siempre argón.

Para la soldadura con arco eléctrico manual es conveniente aplicarlos en línea recta y a la mayor velocidad posible, por lo general los electrodos de acero inoxidable se aplican a bajas temperaturas o sea que se aplican a bajo amperaje. Los electrodos para aceros inoxidables austeníticos se recomienda aplicarlos con generador de corriente continúa con polaridad invertida. Para obtener resultados óptimos en calidad y resistencia a la corrosión es recomendable aplicar electrodos con la máxima aleación o sea con 20% Ni 25% Cr, pero en los casos en los cuales resulta antieconómico, lo mejor que se puede hacer es aplicar un electrodo que tenga el mismo análisis químico que el metal base, para lograr esto existe un gran variedad de electrodos que se ajustan a cada tipo de acero inoxidable.

Para el acero inoxidable más empleado en la industria, tipo 304 se emplea un electrodo con aproximadamente 20% de Cr, y 10% Ni, y además de extrabajo contenido de carbono (Contiene máximo 0.035%), con elementos estabilizadores -- para obtener resultados óptimos en calidad y sobre todo la completa seguridad de que no se produce carburo de --



<b>TESIS PROFESIONAL</b>	
<b>U N A M P E S O</b>	DIAGRAMA HIERRO - CARBURO DE HIERRO
	FELIX ARTURO PEREZ PEREZ
	1 0 0 5      FIG. N

cromo, lógicamente es uno de los electrodos de acero inoxidable más costoso y solo es recomendable aplicarlos en zonas donde la corrosión es muy fuerte (Industria química). Para aplicaciones en el mismo acero en donde la corrosión no es muy severa, puede usarse electrodos con 20% de Cr, 10% de Ni, y con 0.06% de carbono.

6.2.2.- SOLLADURAS DE ACEROS INOXIDABLES FERRITICOS.- Los aceros inoxidables ferríticos son más difíciles de soldar que los aceros inoxidables austeníticos, debido a que este tipo de acero tiende a ser quebradizo, con el tratamiento térmico, la posibilidad de que se forme quebradizo aumentan si se sostienen por largo tiempo entre una temperatura de 600°C a 700°C, el hecho de que se haga quebradizo no se debe fundamentalmente a la formación de carburos lo que ocurre es una expansión de grano, o sea no se endurece al mismo tiempo que se hace quebradizo. Esto constituye uno de los problemas fundamentales en la soldadura de aceros inoxidables ferríticos y una de las formas más prácticas de evitar esta fragilidad en las zonas soldadas, es enfriar rápidamente la pieza, de tal manera que se pase rápidamente la temperatura entre 600°C y 700°C y no dar tiempo el crecimiento del grano. Cuando ya se efectuó una soldadura y la pieza se hizo frágil se puede tratar térmicamente, para reducir un poco la fragilidad, el tratamiento consiste en calentarla pieza a 1,100°C durante un regular periodo de tiempo y posteriormente enfriarla rápidamente en agua, si la pieza es pequeña o con aire si es muy grande hasta bajar su temperatura a 400°C o menos. Este tratamiento no asegura a la completa eliminación de la fragilidad, pero si tiende a reducirla.

Los aceros inoxidable ferríticos son también llamados -- acero inoxidable de cromo y como puede verse, no contienen níquel, por lo tanto, los electrodos para soldarlos -- no contienen níquel. (En realidad contienen tanto los aceros inoxidable ferríticos como los electrodos, un pequeño porcentaje de níquel aproximadamente un 0.6%).

El acero inoxidable ferrítico más usado es el tipo 410 y -- los electrodos usados para soldarlo deben tener su contenido aproximado de cromo del 14% y un máximo contenido -- de carbono de 0.08% con lo cual basta para eliminar la --- posibilidad de formación de carburo, o sea que no requiere estabilizadores.

Para disminuir la fragilidad y darle mayor calidad a la -- soldadura, se puede aplicar electrodos con contenido de -- cromo níquel (20%Cr, 15% Ni aproximadamente).

6.2.3.- SOLLADURA DE LOS ACEROS INOXIDABLES MARTENSITICOS.- Este tipo de acero inoxidable presenta más problema para soldar lo que los anteriores debido fundamentalmente a su contenido de carbono el cual le dá propiedad de endurecerse con -- el tratamiento térmico, al soldar un acero inoxidable - -- martensítico es casi inevitable que se haga duro y frágil -- en mayor o menor grado de acuerdo a la técnica que se siga para soldarlo también puede reducirse en gran parte, si de acuerdo al tamaño de la pieza se le puede hacer un tratamiento térmico de recocido, el cual consiste en elevar la temperatura de la pieza hasta 800°C dejarla enfriar lentamente hasta 600°C y posteriormente puede enfriarse rápidamente.

El tipo de acero inoxidable martensítico más usado es el--

502 y su característica principal es su contenido de molibdeno el cual le da máxima resistencia a elevadas temperaturas (Hasta 1300°C). Por lo tanto los electrodos -- usados para soldarlos tienen una buena cantidad de molibdeno (0.9%) que casi es el doble del contenido en el tipo 502 ( 0.5% y con un contenido de cromo un poco más --- elevado que el metal base.

## C O N C L U S I O N E S

Dado el incremento demográfico de nuestro país, que demanda una industria creciente y capas de satisfacer las necesidades internas y proporcionar satisfactores competitivos en el mercado internacional,-- así como; generar un incremento de fuentes de trabajo acorde a las necesidades de la población que trae consigo la creación de nuevas empresas.

Con dicho motivo y con el fin de proporcionar a los compañeros que deseen iniciarse en el campo de la soldadura, se elaboro el presente trabajo.

El trabajo no abarca todos los temas a la profundidad deseada, puesto que lo considero como una introducción al amplio campo de la soldadura.

## B I B L I O G R A F I A

- 1.- TECNOLOGIA DE LA SOLDADURA  
PETROLEOS MEXICANOS
- 2.- TECNOLOGIA APLICADA EN LA CAPACITACION DE LA SOLDADU  
RA. MISES MERCADO LEON Y HECTOR PACHECO V.
- 3.- SOLDADURA  
JAMES A. PENDER.
- 4.- PRINCIPIOS FUNDAMENTALES DE LA SOLDADURA  
EMANUELE STIERI
- 5.- SOLDADURA Y METALURGIA  
GUILLERMO FERNANDEZ FLORES
- 6.- ELECTROSOLDADURA  
A. RUIZ MIJAREZ
- 7.- PROCESOS DE FABRICACION  
MYRON L. BEGEMAN -B. H. AMSTEAN.