



17  
24

**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO**

---

**FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES  
CUAUTITLAN**

**INTRODUCCION A LA SOLDABILIDAD EN  
INGENIERIA QUIMICA**

**T E S I S**

**QUE PARA OBTENER EL TITULO DE :**

**INGENIERO QUIMICO**

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

**JOSE MANUEL ORTIZ ORTIZ**

**DIRECTOR DE TESIS : I. Q. M. RAFAEL SAMPERE MORALES**

**CUAUTITLAN IZCALLI, ESTADO DE MEXICO,**

**1989**

**FALLA DE ORIGEN**



Universidad Nacional  
Autónoma de México

UNAM



## **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.

# CONTENIDO

PAGINA

INTRODUCCION.....	1
CAPITULO I BREVE HISTORIA DE LA SOLDABILIDAD.....	5
1.1 INICIOS DE LA SOLDABILIDAD.....	6
1.2 SOLDABILIDAD POR REACCIONES EXOTERMICAS.....	8
1.3 SOLDADURA DE ARCO.....	12
1.4 TIPOS DE SOLDADURAS.....	17
CAPITULO II LA LLAMA OXIACETILENICA.....	32
2.1 TEMPERATURA EN LA LLAMA EN BASE A LA RELACION ACETILENO/OXIGENO.....	33
2.2 POSICIONES DE LA LLAMA EN LA SOLDABILIDAD DE MATERIALES.....	36
2.3 CARACTERISTICAS DEL MATERIAL DE APORTE Y FUNDENTE.....	50
CAPITULO III ARCO VOLTAICO.....	59
3.1 TEMPERATURA Y CARACTERISTICAS.....	60
3.2 POSICIONES EN LA SOLDADURA POR ARCO.....	68
3.3 CARACTERISTICAS DE LOS ELECTRODOS Y RECUBRIMIENTOS.....	85
CAPITULO IV BREVE DESCRIPCION DE LAS NORMAS EMPLEADAS EN SOLDADURA.....	94
4.1 NORMAS SOBRE ELECTRODOS, MATERIALES DE APORTACION Y FUNDENTES.....	95

CAPITULO V	BREVE DESCRIPCION DE LA SOLDABILIDAD DE LOS RECIPIENTES ATMOSFERICOS Y A PRESION.....	131
5.1	RECIPIENTES ATMOSFERICOS.....	132
5.2	RECIPIENTES A PRESION.....	139
5.3	ESFUERZOS RESIDUALES.....	151
CAPITULO VI	ENSAYOS DE LA SOLDADURA.....	160
6.1	ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS Y SUS LIMITACIONES.....	164
6.2	ENSAYOS DESTRUCTIVOS.....	178
CONCLUSIONES.....		184
APENDICE.....		188
BIBLIOGRAFIA.....		191

# INTRODUCCION

## INTRODUCCION

Para el Ingeniero Químico resulta de gran importancia el conocimiento de las técnicas de soldabilidad, y del uso de los materiales adecuados para soldadura, ya que se tiene una gran aplicación en la industria química tanto en la fabricación de equipo de proceso (recipientes, reactores, intercambiadores de calor, equipo de transferencia de masa etc.), como en montajes instalaciones y mantenimiento preventivo y correctivo en una planta Química o Petroquímica.

También resulta de gran interés el estudio de los fenómenos fisicoquímicos que ocurren en la soldabilidad de un material y el análisis y aplicación de las normas (A.S.T.M. y A.W.S.) que caracterizan este tipo de procesos ; así como los ensayos destructivos y no destructivos de la soldadura.

Podemos decir que en algunas ocasiones el Ingeniero Químico se enfrentará a un problema de soldadura si no es que esto suceda con mucha frecuencia, por tal motivo en el presente trabajo se dan las bases mínimas necesarias para seleccionar electrodos y barras, así como los diferentes tipos de material de aporte que se pueden emplear en los diferentes procesos de soldabilidad .

Comunmente se habla de soldadura e inclusive es aplicada a nivel industrial, sin embargo no se conoce mas allá de lo cotidiano, esto genera la necesidad de profundizar un poco más en el conocimiento de los diferentes metodos y técnicas existentes y su posible aplicación a problemas poco comunes, todo esto sin llegar a ser expertos en soldadura.

La buena aplicación de los métodos y técnicas de soldabilidad pueden reportarnos grandes beneficios y ser de gran ayuda en la solución de problemas cotidianos que se presentan en la Industria.

Podemos citar el caso que se dió en una planta de tratamiento de desperdicios que tenia el siguiente problema :

Después de cinco años de servicio la carcaza de una bomba de 155.0cm. de diámetro y 10 toneladas de peso, fabricada en hierro dúctil, perteneciente a una planta de tratamiento de desperdicios fué corroida en un área hasta un punto en que su espesor de pared cayó por debajo del permisible .

Se probó un método de reparación con material plástico ó epóxico pero ya que no reforzaba adecuadamente la carcaza , fué rechazado. Otra alternativa fué cambiar la carcaza a un costo de 32 millones de pesos, una decisión muy costosa .

Por último se reparó la carcaza utilizando la técnica de arco y un electrodo apropiado para piezas de hierro colado. El electrodo permitió devolver al metal su espesor previo al desgaste, y el revestimiento produjo la mínima penetración en aquellas secciones delgadas.

Podemos definir a la soldabilidad como una coalescencia localizada de metal que se produce mediante el calentamiento a temperaturas convenientes, con aplicación de presión o sin ella, y con utilización de metal de relleno o sin el ; Estas diferencias dan lugar a diferentes procesos de soldabilidad.

Dentro de dichos procesos existen dos de los cuales se hace un análisis más amplio en el presente trabajo los métodos de soldabilidad oxiacetilénica y del arco voltaico, por ser los más frecuentemente usados en la Industria.



# CAPITULO I

## BREVE HISTORIA DE LA SOLDABILIDAD

## 11 INICIOS DE LA SOLDABILIDAD

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

Más recientemente, la soldadura se definió como: La unión de metales por calor. Sin que esta definición sea más correcta que la anterior.

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

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

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

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

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

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

La soldadura fué usada solamente en reparaciones y operaciones de mantenimiento hasta la primera guerra mundial.

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

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

## 12 SOLDABILIDAD POR REACCIONES EXOTERMICAS

En la obtención de temperaturas muy elevadas, los gases juegan un papel de primerísimo plano, ya que son susceptibles de soportar temperaturas muy superiores a las que alcanzan los cuerpos sólidos más refractarios.

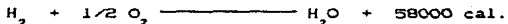
Exceptuando los gases, el carbono es el único elemento que soporta temperaturas superiores a los 3400°C.

Por tanto, los físicos han pensado en la utilización de los gases para la obtención de llamas calientes para la fusión de los metales y las aleaciones.

La llama aero-hidrógena de Desbassanyns de Richemont (1837), cuya temperatura no sobrepasa los 1600°C, fue la primera utilizada con este fin, después la llama oxídrica de Sainte-Claire Deville (1850) permitió alcanzar los 2600°C. Las llamas aeroacetilénicas, después oxiacetilénicas, fueron estudiadas por Le Chatelier (1895), esta última desarrolla una temperatura superior a los 3000°C. Así mismo se ha tratado de utilizar la combustión de otros gases, con el oxígeno: etileno, propano, butano.

## ESTUDIO COMPARATIVO DE LAS LLAMAS DE HIDROGENO Y DE LOS HIDROCARBUROS

Llama oxhídrica: La primera llama propuesta para la soldadura resultó de la combustión del hidrógeno con el oxígeno mediante la reacción:



Esta llama es enormemente oxidante y no puede utilizarse más que con un exceso de hidrógeno, 3 a 4 volúmenes de hidrógeno por cada medio volumen de oxígeno.

La temperatura medida por Ferry fué de 2420°C, el cálculo da 2680°C (Seferian), diferencia importante debida al hecho de que no puede tenerse en cuenta en el cálculo el exceso de hidrógeno introducido en la llama.

Esta llama tiene aplicación en el oxicorte, principalmente en el oxicorte bajo el agua.

Llamas de hidrocarburos: Los hidrocarburos propuestos para la soldadura de los metales son: el metano (CH<sub>4</sub>) el gas de ciudad (gas L.P.), el butano (C<sub>4</sub>H<sub>10</sub>) el propano (C<sub>3</sub>H<sub>8</sub>), el etileno (C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>) que producen todos ellos, por combustión con el oxígeno, una cierta cantidad de productos oxidantes, CO<sub>2</sub> y H<sub>2</sub>O, con temperaturas escalonadas entre los 2700 y los 2800°C.

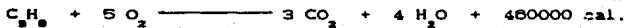
Las reacciones teóricas de combustión y las temperaturas se establecen como sigue:



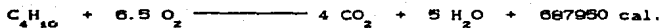
$$t=2720^\circ\text{C}$$



$$t=2730^\circ\text{C}$$



$$t=2900^\circ\text{C}$$

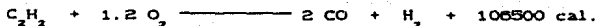


$$t=2900^\circ\text{C}$$



$$t=2825^\circ\text{C}$$

Escribiendo comparativamente las reacciones del acetileno:



$t=3100^\circ\text{C}$



$t=3000^\circ\text{C}$

Vemos entonces que la llama oxiacetilénica es indudablemente la más interesante para la soldadura debido a sus diferentes características.

Efectivamente produce:

- a) Una temperatura máxima de  $3100^\circ\text{C}$  para la combustión práctica es decir con 1.2 volúmenes de oxígeno.
- b) Una composición de la llama que corresponde a propiedades típicamente reductoras.
- c) Una llama flexible, fácilmente regulable ya sea con exceso de oxígeno o con exceso de acetileno según los metales o aleaciones a unir.

Estas importantes propiedades de la llama oxiacetilénica se deben, por una parte, a la proporción elevada en carbono de la molécula de acetileno ( contiene 93.3% en peso de carbono y 7.7% en peso de hidrógeno ) y por otra a la formación endotérmica del acetileno



## 13 SOLDADURA DE ARCO

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

### DESCRIPCION DEL ARCO

El arco de carbón, funcionando con corriente continua, presenta tres zonas (fig. 1).

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



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

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

El arco metálico de soldadura (fig. 1.2), presenta el mismo aspecto:

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

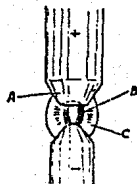


Fig 1.1 Las diferentes zonas del arco de carbón.

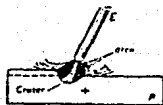


Fig. 1.2 Las diferentes zonas del arco metálico

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

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

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

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

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

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

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

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

El tipo de transferencia del metal desde el electrodo hasta la pieza depende de la intensidad de la corriente. Con corrientes muy elevadas el electrodo parece hervir (el hierro hierve a la temperatura de  $3250^{\circ}\text{C}$ ), aunque esto nunca se hace en la práctica.

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

## 14. TIPOS DE SOLDADURAS

Patton (1) Considera que existen alrededor de sesenta procedimientos de soldadura, sin intentar enumerarlos todos se describirán someramente los más utilizados, agrupándolos en cuatro clases:

- a) soldadura con soplete;
- b) soldadura por resistencia eléctrica;
- c) soldadura de arco eléctrico (descrita en 1.4)
- d) procedimientos especiales;

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

### SOLDADURA CON SOPLETE (AUTOGENA U OXIACETILENICA)

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

Los gases combustibles usados más comúnmente son: acetileno, hidrógeno, gas natural, y butano.

Estos gases son quemados más corrientemente en el seno de oxígeno puro que en el aire. El aire esta compuesto por 78% de nitrógeno y un 21% de oxígeno aproximadamente. La gran cantidad de nitrógeno

existente en el aire no tiene influencia alguna en los procesos de soldadura y absorbe en cambio una gran parte del calor de la combustión, por lo que disminuye sensiblemente la temperatura de la llama. Son pocos los metales que consiguen soldarse con la baja temperatura que se consigue quemando estos gases en el seno del aire.

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

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

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

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

Pese a todos estos inconvenientes de la soldadura con soplete, no debe desecharse ya que tiene la estimable ventaja de requerir muy

poco equipo. Básicamente, sólo son necesarios, un soplete, mangueras de goma, reguladores y tanques cilíndricos de acetileno y oxígeno, siendo todos estos componentes de poco peso y volumen y fácilmente transportables.

Las temperaturas de las llamas de los sopletes son inferiores a las temperaturas del arco eléctrico. Esto hace preferible la soldadura con soplete a la soldadura con arco cuando los metales a soldar son de bajo punto de fusión, como por ejemplo el plomo.

La soldadura con soplete se emplea habitualmente para trabajos tales como los de soldadura fuerte, soldadura blanda, instalaciones de refrigeración, reparaciones generales y mantenimiento, reparaciones de carrocerías de automoviles, fontanería y tuberías pequeñas y en el soldado de chapas metálicas y de plomo.

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

En la soldadura TIG, para proteger el metal de soldadura, el revestimiento del electrodo se sustituye por un gas inerte, mientras los revestimientos son relativamente baratos el gas Argón o Helio, resultan bastante caros, así aunque la soldadura TIG produzca soldaduras de calidad muy superior a la de electrodos revestidos en la mayoría de los metales, resulta mas cara por metro de soldadura. Sin embargo, el TIG también tiene ciertas ventajas

económicas: el costo del trabajo de quitar la escoria de la costura, no es despreciable y se evita con la soldadura TIG.

Las placas finas también pueden soldarse a menudo con TIG sin metal de aporte, con el consiguiente ahorro.

El Argón se emplea más generalmente que el Helio, y tiene las siguientes ventajas sobre este:

- 1.- Voltaje de arco más bajo debido a su menor potencial de ionización;
- 2.- El cebado del arco es más fácil;
- 3.- Mejor acción de limpieza de sólidos refractarios;
- 4.- Costo inferior.

Para la soldadura de materiales gruesos de elevada conductividad térmica, puede ser necesario un voltaje de arco y una aportación de calor mayor; en este caso, el helio es superior al argón. El helio da mayor penetración que el argón.

El caudal de gas protector debe ser adecuado, pero no excesivo, para proteger el baño de soldadura de la contaminación atmosférica. La cantidad de gas necesaria depende de muchos factores. En general, la soldadura TIG no es adecuada para trabajos fuera del taller: o en zonas con corrientes de aire. Los metales, como el aluminio o el titanio, que son más reactivos con los gases atmosféricos, necesitan más protección que los menos reactivos, como el acero inoxidable.



El caudal de gas aumenta también con la corriente de soldadura, ya que para el manejo de corrientes más altas se requiere una pistola más grande, con una salida mayor para el gas, finalmente el diseño de la unión también influye sobre el caudal de gas. Para las soldaduras en ángulo en las cuales el gas está confinado al espacio en ángulo recto entre las placas, es posible un caudal más bajo que para uniones en esquina o a tope. No se debe cortar el flujo de gas hasta que el electrodo de tungsteno y el baño de soldadura se han enfriado.

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

Existen limitaciones para la densidad de corriente en la soldadura TIG. Cuando la corriente que circula por el electrodo de Wolframio excede los 300 Amp. pueden aparecer en la soldadura inclusiones de este. El campo de aplicación del TIG comprende la soldadura de materiales finos, de 1/8 de pulg. (0.31mm) de espesor o menores, aunque esto no quiere decir que se limite a estos espesores. El método MIG no tiene las restricciones de densidad de corriente del TIG, pero, por otra parte no es adecuado para soldar espesores muy finos.

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

## SOLDADURA POR RESISTENCIA ELECTRICA

En la soldadura por resistencia se sueldan dos o más piezas de metal por presión y calor, obteniéndose generalmente una soldadura a traslape. En la fig 1.3 se muestra el circuito de una soldadura por resistencia de corriente alterna.

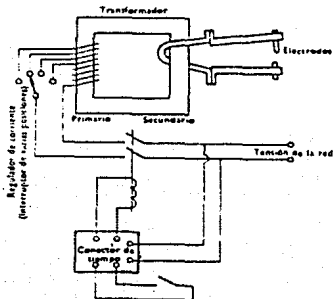


Fig. 1.3 Circuito de soldadura por resistencia.

Se lleva tensión de la red al primario del transformador de soldadura. La pequeña tensión necesaria para este proceso se toma por una sola espira del secundario. El voltaje y la corriente se regulan por medio de tomas del primario tal como se muestra en la figura 1.3; la misión de estas tomas es conectar o desconectar las espiras.

Cuando hay que conectar vueltas suplementarias del primario, aumenta la tensión del secundario y disminuye su corriente.

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

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

## PROCEDIMIENTOS ESPECIALES DE SOLDADURA

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

A la cabeza de la lista de procedimientos especiales de soldadura se halla la soldadura por haz electrónico, que es precisamente el procedimiento ideal de soldadura.

El fundamento del procedimiento de soldadura por haz de electrones está explicado en la figura 1.4.

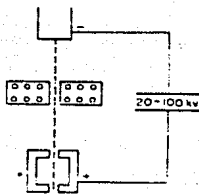


Fig.1.4 Soldadura por haz de electrones acelerados.

Un cañón electrónico compuesto básicamente de un filamento incandescente semejante a los de las válvulas de radio y lámparas de incandescencia, produce una fuente de electrones libres.

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

Debido al alto voltaje aplicado 20,000V o más, los electrones negativos producidos por el cañón son acelerados rápidamente hacia la pieza positiva, pudiéndose conseguir velocidades del orden de la mitad de la velocidad de la luz en el momento en que los electrones alcanzan la pieza a soldar proporcionando el calor necesario para efectuar la soldadura. No es necesario emplear material de aportación. La misión de las espiras de enfoque magnético es concentrar el haz electrónico en una zona muy reducida. En la figura 1.4 se muestra esquemáticamente un equipo de soldadura por electrones soldando dos perfiles en U, en los cuales efectúa al mismo tiempo una soldadura superior y una inferior. Aunque los dos perfiles aparecen separados, con el haz de electrones entre ellos no puede efectuarse la soldadura, a menos que los dos perfiles estén bien unidos.

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

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

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

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

Algunos materiales delgados pueden soldarse por medio de energía acústica en el campo ultrasónico, por encima de 20,000 ciclos/seg. (cps). Esto recibe el nombre de soldadura por ultrasonidos. En este caso se envía un impulso de energía acústica al interior del metal, produciéndose una soldadura en la unión.

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

Semejante a la soldadura fría es la soldadura por fricción, en la cual las dos piezas de metal se frotan entre sí, y luego se presionan para formar la unión.

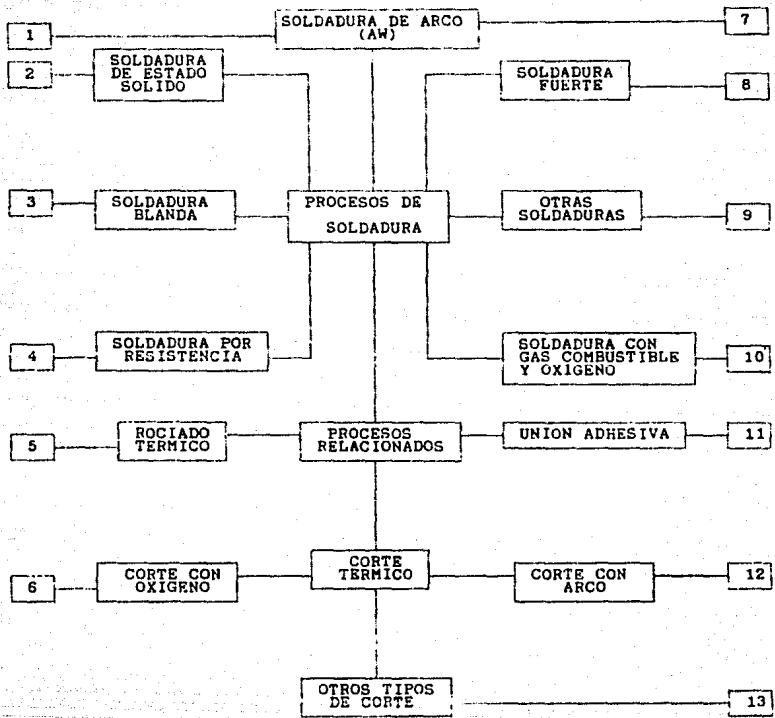
Un método especial de soldadura de interés histórico es la soldadura por forja, el método usado tradicionalmente por los herreros. Consiste en soldar dos piezas calentadas en una forja y

martilladas en un yunque. Como tantos procedimientos habituales en la artesanía, esta técnica requiere de una considerable destreza.

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

En seguida se muestra la carta maestra de la soldadura y procesos relacionados, según la *American Welding Society*

DIAGRAMA MAESTRO DE LOS PROCESOS DE SOLDADURA  
Y OTROS PROCESOS RELACIONADOS





- 1.- Soldadura con hidrogeno atómico.  
Soldadura de arco metálico con electrodo desnudo.  
Soldadura con arco de carbón.  
    Con gas;  
    Con arco protegido;  
    Con arcos gemelos.  
Soldadura de arco con núcleo de fundente.
  
- 2.- Soldadura en frío.  
Soldadura por difusión.  
Soldadura por explosión.  
Soldadura por forjado.  
Soldadura por fricción.  
Soldadura por presión en caliente.  
Soldadura con rodillos.  
Soldadura ultrasónica
  
- 3.- Soldadura blanda por inmersión.  
Soldadura blanda en horno.  
Soldadura blanda por inducción.  
Soldadura blanda por infrarrojo.  
Soldadura blanda por resistencia.  
Soldadura blanda por soplete.  
Soldadura blanda por ondas.

- 4.- Soldadura por arco con presión.  
Soldadura por resistencia con alta frecuencia.  
Soldadura por percusión.  
Soldadura de resalto.  
Soldadura de costura por resistencia.  
Soldadura de puntos por resistencia.  
Soldadura recalcada.
- 5.- Rociado con arco eléctrico.  
Rociado a la llama.  
Rociado con plasma.
- 6.- Corte con fundente químico.  
Corte con polvo metálico.  
Corte con gas combustible y oxígeno.  
-Oxiacetileno  
-Oxihidrógeno  
-Con oxígeno y gas natural.
- 7.- Soldadura con arco metálico y gas.  
-Electrogas  
-Arco pulsado  
-Arco de corto circuito.  
Soldadura de arco de tungsteno y gas.  
Soldadura de arco con plasma.  
Soldadura de arco metálico protegido.  
Soldadura de arco de espárragos.  
Soldadura de arco sumergido en seriu.

9. - Soldadura fuerte de arco.  
Soldadura fuerte de bloque  
Soldadura fuerte por difusión.  
Soldadura fuerte por inmersión.  
Soldadura fuerte de flujo.  
Soldadura fuerte en horno.  
Soldadura fuerte por inducción.  
Soldadura fuerte infrarroja.  
Soldadura fuerte por resistencia.  
Soldadura fuerte a soplete.  
Soldadura fuerte con arco de carbones gemelos.
9. - Soldadura por haz de electrones.  
Soldadura de electroescoria.  
Soldadura de flujo.  
Soldadura por inducción.  
Soldadura por haz de rayos laser.  
Soldadura por termita.
10. - Soldadura con aire y acetileno.  
Soldadura oxiacetilénica.  
Soldadura con oxihidrógeno.  
Soldadura a gas con presión.
11. - Corte con arco de carbón y aire.  
Corte con arco de carbón  
Corte con arco metálico y gas  
Corte con arco de tungsteno y gas.  
Corte con arco metálico.  
Corte con arco y plasma.  
Corte con arco metálico protegido.
12. - Corte con haz de electrones.  
Corte con haz de rayos laser.

# CAPITULO II

## LA LLAMA OXIACETILENICA

## 2.1 TEMPERATURA EN LA LLAMA EN BASE A LA RELACION ACETILENO-OXIGENO

Numerosos autores han hecho determinaciones de la temperatura de la llama oxiacetilénica por métodos ópticos (inversión de rayas). Las últimas medidas, permiten fijar para la temperatura máxima de la llama el valor de  $3120^{\circ}\text{C}$ . aproximadamente a 5 mm del extremo del dardo (soplete de 500 l/h de acetileno). Los valores de la temperatura, medidos en las diferentes regiones de la llama normal se señalan en la figura 2.1.

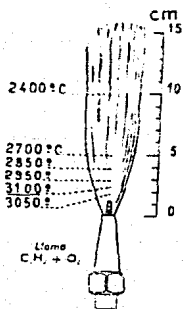


Fig. 2.1 Temperatura de combustión en las diferentes zonas de la llama oxiacetilénica

El cálculo termodinámico de la temperatura de esta llama ha dado, para los distintos autores, los siguientes valores:

2980°C Ribaud-Zeferian (20)  
3030°C Montagne-R. Zaer (21)

Por tanto se llega, por el cálculo, a una gran aproximación respecto de la temperatura medida.

Según vamos alejándonos del dardo hacia el penacho la temperatura baja rápidamente, como se observa en la figura 2.1. El cálculo revela igualmente una variación del mismo orden para las diferentes regiones de la llama.

La reacción del dardo o reacción primaria produce únicamente gases reductores CO y H<sub>2</sub> pues, a la temperatura de 3000°C, la molécula diatómica de hidrógeno H<sub>2</sub> se disocia en hidrógeno atómico H; es necesario tener en cuenta esta disociación en el cálculo de la temperatura. La presencia de hidrógeno atómico aumenta las propiedades reductoras de la llama.

Las proporciones (en volumen) de los diferentes componentes de la llama, se establecen de la siguiente forma:

CO = 81%    H<sub>2</sub> = 22%    H = 17%.

Siendo muy amplios los límites de inflamabilidad de las mezclas oxidacetilénicas entre el 3 y el 20% podemos obtener, haciendo variar las mezclas, llamas con exceso de acetileno o llamas carburantes  $O_2 / C_2H_2 < 1$  y llamas con exceso de oxígeno o llamas oxidantes  $O_2 / C_2H_2 > 1.30$  hasta 2.5 volúmenes de oxígeno.

Cuando la proporción de acetileno aumenta hay formación de carbono libre y la temperatura baja muy rápidamente.

Así para  $O_2 / C_2H_2 = 0.75$  la temperatura es de  $2920^{\circ}C$  con residuos del 20% de carbono.

Cuando la proporción de oxígeno aumenta la temperatura aumenta, primero hasta los  $3110^{\circ}C$ , para una proporción de  $O_2 / C_2H_2 = 1.5$  después baja, pero lentamente, y para  $O_2 / C_2H_2 = 2.5$  la temperatura es de  $3000^{\circ}C$ , pero la concentración en oxígeno libre puede alcanzar el 21% y la proporción de los productos oxidantes  $CO_2$  y  $H_2O$  alcanza el 50%.

## 2.2 POSICIONES DE LA LLAMA EN LA SOLDABILIDAD DE MATERIALES

Los distintos métodos de soldadura pueden clasificarse en cuatro grupos, con variantes que tienen aplicación en casos más particulares (11).

Primer grupo Soldaduras ''a izquierdas''. Métodos derivados: Soldadura ''a izquierdas semi-ascendente''; Soldadura ''semi-ascendente en dos pasadas''.

Segundo grupo Soldadura ''a derechas''.

Tercer grupo Soldadura en ángulo, interior o exterior.

Cuarto grupo Soldaduras ''ascendente a doble cordón'', que agrupan los métodos: Ascendente a doble cordón A; ascendente a doble cordón B; t y ascendente a doble cordón C.

Por último, clasificaremos aparte otros dos métodos que no pueden agruparse con los anteriores. Estos son: el de soldadura horizontal sobre placa vertical, llamado comunmente en cornisa, y la soldadura en techo.

### SOLDADURA A IZQUERDAS

El método de soldadura a izquierdas, llamado también método clásico, ha sido por mucho tiempo el único método operatorio utilizado y tiene la ventaja de aplicarse a todos los metales y aleaciones.



Pese al desarrollo de otros métodos, dando resultados más seguros y a veces más económicos, el método a izquierdas es utilizado con interés para la soldadura de placas finas y medianas, hasta 5mm de espesor, debido a su fácil aplicación y buen aspecto del cordón.

El único inconveniente de este método, si lo comparamos con otros es el elevado costo del precio de la soldadura, debido a una velocidad de ejecución relativamente lenta, con un consumo importante de gas.

En este método, el soplete se sitúa en un plano perpendicular al de las placas y con una inclinación de  $45^{\circ}$  respecto al cordón de soldadura. el metal de aportación se coloca también en el mismo plano, por delante de la llama, con una inclinación de  $45^{\circ}$  respecto al plano de las chapas a soldar.

El soplete avanza regularmente de modo que se asegure la fusión, sin efectuar movimientos transversales o giratorios.

Por este método es posible obtener en el reverso de la soldadura una penetración regular en las chapas finas y gotas de penetración, regularmente espaciadas, en las placas medianas .

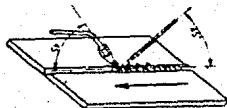


Fig. 2.2 Soldadura a izquierdas

## METODO A IZQUIERDAS SEMI-ASCENDENTE

Este método derivado del clásico, mejora la calidad de la soldadura facilitando su ejecución y evitando el socavamiento del metal fundido en el espacio formado por las dos piezas a unir. Por ello este método se aplica preferentemente a placas de espesores medios de 3 a 10 mm .

La posición del soplete y del metal de aportación respecto al plano de las placas no cambia, únicamente se inclinan de 20 a 25° las placas a unir.

Las soldaduras se ejecutan sobre bordes rectos de 3 a 5mm; para espesores superiores a 5mm los bordes se achaflanar en V de 90°.

Una soldadura bien ejecutada debe dar gotas de penetración regularmente espaciadas.

## SOLDADURA SEMI-ASCENDENTE EN DOS PASADAS

El método anterior esta limitado por el espesor; a partir de los 10mm la penetración resulta difícil de obtener y tanto más cuanto que el espesor vaya aumentando, de aquí la necesidad de realizar la soldadura en dos o varias pasadas (Fig 2.3).

La primera pasada o pasada de raíz, debe asegurar la penetración regular de la soldadura; la pasada superior queda así soportada por la raíz y resulta fácil conseguir un cordón regular y de buen aspecto. las posibilidades de aplicación del método están ligadas

al precio de costo de la soldadura y por esta razón se recomienda que las longitudes de las pasadas sean relativamente cortas, de 50 a 80mm como máximo.

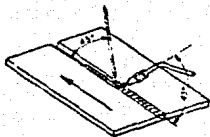


Fig. 2.3 Método semi-ascendente en dos pasadas.

#### SOLDADURA A DERECHAS

Llamada también soldadura hacia atrás o en retirada ; este método resulta en general conveniente para espesores de placa medianas y gruesas, de 6 a 15mm.

Tiene numerosas ventajas asegurando una gran velocidad de ejecución, con muy buena penetración y un cordón de buen aspecto. El cordón es de menor anchura y, por tanto, la zona de recalentamiento es mas reducida. En definitiva resulta más

económica que la soldadura a izquierdas.

Igual que en el método de soldadura a izquierdas el soplete y el metal de aportación se encuentran en un mismo plano, perpendicular al de las chapas a unir; pero en este método el soplete, menos inclinado (ángulo de inclinación de  $45^{\circ}$  a  $70^{\circ}$ ) precede al baño de fusión, mientras que el metal sigue al soplete animado de movimientos laterales (Fig. 2.4).

El método es más flexible pues el operario puede obtener, simplemente regulando la inclinación de su soplete, una penetración definida en el reverso de su soldadura.

El chaflán puede ser más estrecho, la abertura de las dos chapas es, en termino medio, de  $70^{\circ}$  y no debe sobrepasar los  $80^{\circ}$ .

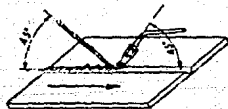


Fig. 2.4 Método a derechas

## SOLDADURA EN ANGULO INTERIOR

Conocida también como soldadura en conca, se ejecuta en el ángulo interior de dos placas situadas en distintos planos (Fig. 2.5).

La soldadura puede realizarse siguiendo el método clásico para espesores inferiores a 5mm, o por el método a derechas, para espesores superiores a 5mm, garantizando una mayor penetración.

El soplete forma un ángulo de  $45^{\circ}$  con la placa vertical y asegura la fusión de las dos partes a unir sin efectuar movimientos transversales o circulares. Por el contrario, el metal de aportación, inclinado  $45^{\circ}$  respecto a la chapa horizontal, avanza con un movimiento semicircular pasando de una placa a otra con el fin de asegurar un reparto regular del metal fundido.

Las propiedades de estas soldaduras dependen a la vez, de la superficie de unión, que debe ser igual por lo menos a tres veces el espesor, de la forma del cordón y, sobre todo, de la penetración en la raíz del ángulo formado por las dos placas.

El método es más lento y se aplica con un soplete de menor potencia: 125 a 130 l/h por milímetro de espesor; por tanto resulta poco económico.

## SOLDADURA EN ANGULO EXTERIOR

Es la unión de dos placas formando un diedro exterior; a menudo el propio espesor constituye el chaflán a rellenar, haciéndose la fusión directamente sobre la sección de unión de las chapas (Fig. 2.6).

Según el espesor de las chapas y su posición se pueden aplicar los métodos descritos anteriormente: soldadura a izquierdas, o a izquierdas semi-ascendente y también la soldadura ascendente.

La potencia de la llama es más débil: 75 l/h por milímetro de espesor y la velocidad de ejecución es notablemente superior.

El costo de estas soldaduras no es muy elevado, además no se necesita preparación de bordes y el consumo de gas es bajo.

La soldadura se realiza en las mismas condiciones que en el método clásico, siendo la inclinación del soplete y del metal de aportación de  $45^{\circ}$ .



Fig. 2.5 Soldadura en ángulo interior.

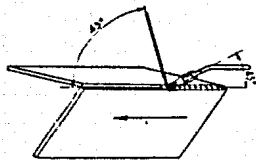


Fig. 2.6 Soldadura en ángulo exterior.

## SOLDADURA ASCENDENTE A DOBLE CORDON A

Este método se aplica para placas de espesor medio (2 a 6 mm) y se ejecuta en plano vertical con un único soplete que se desplaza de abajo a arriba (Fig. 2.7).

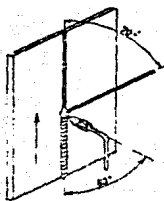


Fig. 2.7 Método ascendente.

Al finalizar la operación se comprueba la regularidad del cordón en el reverso de la soldadura, simétrico al de la cara delantera.

La potencia del soplete es muy reducida: 50 l/h por milímetro de espesor, pero la velocidad de avance es lenta (2 m/h en chapa de 5mm de espesor); este método resulta siempre económico pero su gran ventaja estriba en las excelentes cualidades mecánicas, sin defectos de discontinuidad.



De 2 a 6 mm las soldaduras se realizan sobre bordes rectos; de 6 a 10 mm sobre bordes biselados y en una sola pasada; para espesores sobrepasando los 10mm se recomienda utilizar el método en dos pasadas.(Fig. 2.8).

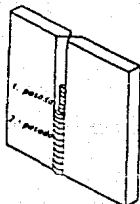


Fig. 2.8 Método ascendente en dos pasadas.

#### SOLDADURA ASCENDENTE EN DOBLE CORDON B

Se ejecuta también en plano vertical pero con ayuda de dos sopletes que se desplazan simétricamente respecto al plano de la chapa. Este método se aplica industrialmente para placas de 6 a 12 mm.

Como para el método ascendente A, los sopletes se inclinan  $30^{\circ}$

respecto a la horizontal y la potencia de cada soplete no debe pasar los 30 l/h por mm de espesor (Fig. 2.9).

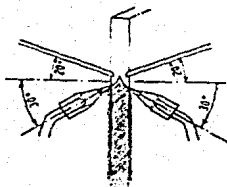


Fig. 2.9 Método ascendente B.

Estas soldaduras se ejecutan sobre bordes rectos a grán velocidad ( $V=2.5$  m/h para chapa de 10mm de espesor); clasificándose dentro de las soldaduras económicas pese a la necesidad de dos operarios.

Por este método se realizan soldaduras de alta calidad, sin defectos de ejecución y de muy buen aspecto.

## SOLDADURA ASCENDENTE A DOBLE CORDON C

Se ejecuta como el método anterior con dos operarios trabajando al mismo tiempo por ambos lados de la chapa se aplica en placas gruesas y muy gruesas (13 a 30 mm), preparando los bordes achaflanados en X con una abertura total de  $80^{\circ}$ .

Las soldaduras se realizan en una sola pasada por cada cara, para las chapas de espesor inferior a 25 mm; para las chapas más gruesas se hace necesaria la ejecución en dos pasadas a fin de obtener soldaduras de calidad.

La potencia de cada soplete es de 25 a 30 l/h por milímetro de espesor o sea 60 l como máximo para las dos llamas. La velocidad de avance es del mismo orden que la que se obtiene por el método ascendente B.

La utilización económica de este método necesita una perfecta preparación de los bordes a unir y un cierto entrenamiento de los operarios. Da uniones de seguridad.

## SOLDADURA EN CORNISA.

Ejecutada horizontalmente sobre un plano vertical presenta grandes dificultades para su realización a causa de la tendencia del baño a escurrirse hacia abajo (Fig. 2.10).

Para realizar convenientemente estos tipos de soldadura es necesario darle al soplete movimientos sobre el plano horizontal, desplazandolo de  $30^{\circ}$  a  $40^{\circ}$  a cada lado del eje perpendicular a la placa vertical.

La potencia del soplete es de una media de 75 l/h. Las soldaduras obtenidas son de aspecto y calidad mediocres y es necesario un gran entrenamiento por parte del operario para lograr un trabajo aceptable.

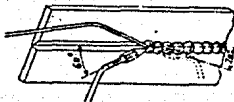


Fig 2.10 Método en cornisa.

#### SOLDADURA EN TECHO

Este caso se presenta con frecuencia en el taller; estando colocadas las piezas en su sitio, es necesario realizar la unión en posición (Fig 2.11).

La ejecución de estas soldaduras por encima de la cabeza exige un gran entrenamiento del operario y, por consiguiente, como para la soldadura en cornisa sus propiedades y aspecto son de mediana calidad.

No obstante, es interesante señalar que, en la soldadura en posición de las canalizaciones de vapor de gran diámetro, los soldadores entrenados llegan a realizar una buena penetración y obtener un aspecto aceptable.

La potencia del soplete debe ser como máximo de 75 l/h por milímetro de espesor; la velocidad de avance no excede los 80 cm/h para placa de 10 mm de espesor, así pues resulta muy baja.

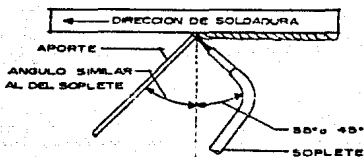


Fig. 2.11 Soldadura en techo.

## 2.3 CARACTERISTICAS DEL MATERIAL DE APORTE Y FUNDENTE

### MATERIAL DE APORTE

Para rellenar y engrosar las juntas soldadas, así como para compensar las pérdidas de metal durante la fusión de los bordes de la pieza de trabajo y, además, en la soldadura con aportación de material, se necesita material adicional en forma de varillas como alambre de soldar, que se funde en el baño de fusión.

Todo alambre de soldar está, para obtener el resultado deseado, en íntima acción recíproca con una serie de otros factores, prescindiendo de su composición. Dichos factores son: Composición y buena calidad del material base (de la pieza que se suelda), clase y naturaleza de los gases de soldar, regulación de la llama, conducción del soplete y del alambre, tratamiento posterior de la soldadura y otros. En el supuesto de que actúan conjuntamente en la forma debida, puede decirse que la buena ejecución de la soldadura, que puede ser comprobada mediante diversos procedimientos de ensayo, depende, de sus diferentes propiedades físicas y químicas, de la adecuada aleación del alambre de soldar y de su comportamiento durante la soldadura.

La exención de poros, la igualdad de coloración (latón y bronce), la resistencia a la corrosión, elaborabilidad, carencia de humo, son, entre otras muchas, las condiciones que deben reunir los alambres de soldar, ya sean de acero o de cualquier otro metal.

A la elección del material de aporte debe atribuirse, por consiguiente, mayor importancia de la que se le concede a menudo. En lugar de alambres de soldar estirados, pueden emplearse en casos especiales, cintas estrechas de placa del mismo metal en forma de varilla de soldar.

Características exteriores Estas son: signos distintivos, como cabezas de color o con los nombres del fabricante y la clase grabados, forma y dimensiones, así como la naturaleza de la superficie. Las varillas de soldar se suministran, en general, en forma de barras largas o aros estirados o fundidos (para soldaduras de fundición) de 0.5 a 1.0 mt. de longitud, que el soldador puede cortar según las longitudes deseadas

La superficie ha de ser lisa, exenta de bataduras, olin, grasa, aceite y otras impurezas análogas.

A veces se desea sin embargo, que estos alambres estén recubiertos de una capa de metales especiales, como, por ejemplo, los de acero de una capa de cobre, raras veces de níquel; los de latón, de una capa de plata; los de níquel de cobalto, etc.

## FUNDENTES

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

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

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

Subdividiendo los fundentes según su estado de agregación en:

- a) purulentos (secos)
- b) pastoso (como papilla)
- c) líquidos

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



- b) Con fundentes pastosos se sueldan: cobre y sus aleaciones; níquel y todos los materiales forjados del aluminio y sus aleaciones. La pasta puede obtenerse lista para ser embadurnada o los polvos pueden mezclarse con agua.
- c) Con fundentes líquidos se sueldan: aleaciones forjadas de magnesio, zinc y todas sus aleaciones.

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

Condiciones que se exigen del fundente: Las gotas producidas en la separación por fusión del alambre de soldar y la superficie del baño de fusión se recubren a menudo muy rápidamente de una costra formada por substancias extrañas. Esta costra es eliminada por la presencia de fundentes.

Por consiguiente, no se trata tanto de influir en el interior del baño de fusión y de las gotas metálicas, lo cual tampoco es posible dado el rápido proceso de solidificación al que la difusión necesaria no es capaz de seguir, sino más bien de alterar químicamente la superficie del metal fundido y activar la unión del material con el alambre a soldar.

Es importante, además, separar a tiempo los fundentes de la fusión, es decir, antes de que ésta se solidifique y hacerlos subir rápidamente a la superficie para que no queden como cuerpos extraños perjudiciales (nidos) y puedan favorecer o fomentar la corrosión.

La eliminación de impurezas no metálicas es, en la mayoría de los casos, un proceso de disolución y no de reducción.

Como las cantidades en peso de las impurezas son sumamente pequeñas y los fundentes se encuentran en abundancia, bastan a veces fracciones de segundo para su disolución que en parte es químico y en parte es físico.

Los óxidos formados durante la soldadura son, en su mayoría bases, como el óxido de cobre, el de níquel y el de zinc, que conviene escorificar por medio de ácidos, como por ejemplo: ácido bórico y silícico, resultando boratos y silicatos de la solución química.

Al mismo tiempo se emplean mezclas de bases, como Carbonato sódico, cuando se forman óxidos ácidos (ácido silícico,  $\text{SiO}_2$ ).

Como generalmente no es una sola sustancia extraña la que tiene que ser disuelta por el fundente, sino que más bien se trata de varias sustancias de muy diversa naturaleza, no se emplean productos químicos sencillos, como borax, ácido bórico, sosa, etc., sino mezclas complicadas de ácidos mucho más eficaces.

En el fundente predominan naturalmente las sustancias de especial eficacia, como carbonato potásico y sódico para hierro colado.

Otros dos requisitos que deben llenar los fundentes son la buena adaptación a la temperatura de trabajo y una mayor capacidad posible de difusión.

La temperatura eficaz o de acción del fundente varía entre 500 y 1450°C, según la clase de metal que se requiere soldar.

De aquí resulta que el fundente, para actuar eficazmente debe tener una temperatura de fusión adaptada a cada metal o, por lo menos, a un grupo, determinado de aleaciones.

Se ha comprobado a menudo prácticamente, que un fundente con alta eficacia química se ha adaptado a una determinada baja temperatura de trabajo, puede ser casi ineficaz cuando se emplea a temperaturas más elevadas, o bien al contrario, es decir, puede ser completamente ineficaz cuando se ha destinado para temperaturas, de trabajo muy elevadas y se emplea a temperaturas bajas.

Lo mismo ocurre con la capacidad de difusión. Debe ajustarse a las temperaturas de trabajo y ser lo suficientemente grande para que los fundentes cubran zonas lo más grandes posible del material fundido, a fin de obtener una buena unión en el lugar de la soldadura y una amplia disolución de los óxidos

Hay que tener presente, sin embargo, que la magnitud del poder de difusión no debe medirse a costa de la eficacia, es decir, el fundente no debe ser demasiado fluido y, por consiguiente, tampoco demasiado débil.

De la suma de tantas y tan variadas condiciones que debe reunir cada uno de los fundentes utilizables, es decir, efectivamente eficaces, se deduce fácilmente que, prácticamente, no puede haber fundentes universales, ésto es, fundentes que puedan utilizarse indistintamente para todos los metales.

Composicion de los fundentes La pregunta, que se repite tantas veces, acerca de los productos químicos de que se componen los polvos o las pastas de soldar que se emplean comúnmente, no puede ser contestada sino de una manera limitada, porque generalmente los fabricantes consideran la composición como un secreto de fabricación.

El fundente más sencillo es el bórax (tetraborato sódico), bien conocido, libre de agua de cristalización pero que desgraciadamente sólo sirve para trabajos de soldadura fuerte y no para soldadura autógena. El bórax que contiene agua (hidratado) se incha al calentarlo, despidiendo vapores y es mucho menos eficaz que los fundentes especiales ya descritos.

Especialmente en el hierro colado es muy perjudicial el empleo de bórax, porque suele dar lugar a puntos duros y difíciles de trabajar.

En forma de pasta puede emplearse tal vez, para la soldadura del latón.

Además, se encuentra como componente de muchas mezclas fundentes constituidas sobre base ácida, como ácido bórico, silicato soluble de potasa, polvos de vidrio y otras materias que constan,

en gran parte de ácido silícico ( $\text{SiO}_2$ ) y forman escorias espesas vítreas, a menudo difíciles de eliminar e insolubles en agua.

Además del trióxido de boro y el bórax, hay en los polvos soldantes algunas sales de fósforo, como el fosfato sódico ( $\text{Na}_2\text{HPO}_4$ ) y el fosfato sodamónico ( $\text{NaNH}_4\text{HPO}_4$ ) que desempeñan un

papel de mucha importancia para la soldadura del cobre y sus aleaciones.

Una mezcla, en partes iguales, de silicato soluble de potasa, ácido bórico y bórax constituye un buen fundente para aceros inoxidables, o sea aceros que contienen cromo-níquel.

Fundentes constituidos sobre una base básica, se emplean especialmente para la soldadura del hierro colado. Debido a la gran afinidad del silicio para el oxígeno se forma especialmente anhídrido silícico que se disuelve junto con los óxidos de manganeso, del hierro y fósforo por un exceso de sodio y carbonato de potasa en el fundente, formándose además de silicatos de sodio y de potasio, manganita y fosfato. La presencia de cloruro de Manganeso y cloruro férrico es perjudicial, porque puede dar lugar a una oxidación extraordinariamente intensa al penetrar la humedad. Adiciones de ferrosilicio (FeSi) y grafito son en cambio ventajosas.

Estos procesos se basan en reacciones químicas entre las bases y los ácidos; los procesos de disolución físicos carecen de importancia. Hay además, fundentes de mucha importancia cuya eficacia es más bien de tipo física que química. Los representantes más importantes de este grupo son las mezclas de sales halógenas, que constituyen la base de casi todos los buenos

fundentes de metales ligeros, como por ejemplo: mezclas de fluoruros como fluoruro sódico, potásico, de litio, etc. Para aumentar su eficacia y disminuir su punto de fusión se añaden a estas sales algunos cloruros como el potásico, el sódico, el de litio y calcio. El cloruro de zinc y de amonio son, los constituyentes esenciales de las pastas para soldar zinc

Todos los fundentes a base de sales alcalinas son higroscópicos y corroen la soldadura en caso de permanecer en o dentro de la misma. Para casos especiales, para soldaduras en cornisa por ejemplo, en las que la eliminación del fundente se dificulta, se han preparado mezclas de productos químicos no higroscópicas libres de corrosión, pero desgraciadamente a costa de su eficacia.

Estos fundentes llamados neutros, que son de menor eficacia cuando contienen una elevada cantidad de boratos, son en cierto modo ventajosos porque no eflorescen y pueden dejarse en la soldadura sin necesidad de someter esta a un tratamiento posterior.

La eficacia de los fundentes neutros se puede aumentar mediante el empleo de fluoruros de berilio, complejos que sirven de base de las mezclas.

# CAPITULO III

## ARCO VOLTAICO

### 3.1 TEMPERATURAS Y CARACTERISTICAS DEL ARCO VOLTAICO

En el arco, la tensión en bornes y la intensidad de la corriente aplicada, no están ligadas por una relación simple como la ley de Ohm. Por el contrario, las variaciones de estos dos factores, se producen en sentido inverso; cuando la intensidad de la corriente  $I$  aumenta, la tensión en bornes  $V$  disminuye, primero rápida y después lentamente (Fig. 3.1).

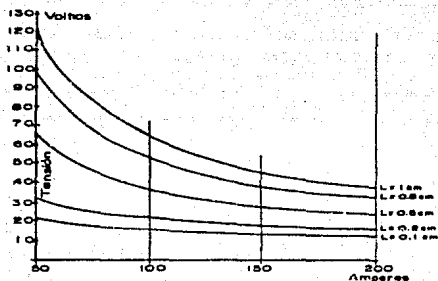


Fig. 3.1 Régimen eléctrico del arco voltaico.



Si para una longitud de arco dada, aumentamos sucesivamente la intensidad, se comprueba que, a partir de un cierto valor de esta, el régimen del arco se modifica, enormemente, el arco silencioso se vuelve silvante y la diferencia de potencial entre los electrodos se independiza de la corriente; se dice entonces que el régimen se ha vuelto inestable.

Para las condiciones del arco estable, la tensión en bornes es la suma de tres diferencias de potencial:

La caída catódica:  $V_c$ ;

La caída anódica:  $V_a$ ;

La caída de tensión en la columna de vapor:  $V_0$

$$V = V_c + V_a + V_0$$

Las caídas catódica y anódica son independientes de la longitud del arco y unicamente dependen de la naturaleza de los electrodos; así pues podemos establecer, para un arco voltaico dado:

$$V_c + V_a = \text{constante} = a$$

La caída de tensión en la columna de vapor  $V_0$ , sigue una ley proporcional a la longitud  $\lambda$  del arco y es inversamente proporcional a la intensidad de la corriente  $I$ .

$$V_0 = \frac{C \lambda}{I}$$

de donde, para un arco metálico, la tensión en bornes V, se expresa por:

$$V = a + \frac{C \lambda}{I}$$

Por ejemplo para un electrodo de hierro y para un arco de  $\lambda$  centímetros de longitud :

$$V = 11 + \frac{5500 \lambda}{I} \text{ volts}$$

Para el carbón:

$$V = 38.9 + \frac{20.7 \lambda + 11.6 \times 10^5}{I} \text{ volts}$$

La pequeña caída de tensión anódica y catódica, en el caso de los metales, se debe a su conductibilidad.

Aplicando a un ejemplo :

La soldadura por arco mediante un electrodo de 4mm de diametro se realiza con una intensidad de 140 a 158 A; si queremos mantener un arco corto de 3mm, la relación anterior permite prever que la tensión en bornes debe ser :

$$V = 11 + \frac{5500 \times 0.3}{150} = 22 \text{ volts}$$

Que concuerda con las observaciones prácticas.

## TEMPERATURA DEL ARCO

Siendo la caída de tensión anódica generalmente mayor que la catódica resulta, que la cantidad de energía transformada en calor es mucho más importante en el ánodo que en el cátodo y, por consiguiente, su temperatura es también mucho más elevada. La temperatura del cráter del ánodo del arco de carbón es de  $3300^{\circ}\text{C}$  ( $3570^{\circ}\text{K}$ ), que representa la temperatura de ebullición del carbono a la presión atmosférica.

La temperatura del arco metálico es también muy elevada y depende de la naturaleza del metal y de la intensidad de la corriente. Formulas teóricas particularmente las de Richardson, nos permiten calcular la temperatura del arco metálico en función de la intensidad de funcionamiento de dicho arco.

Si designamos por  $i$  la densidad de corriente o intensidad por centímetro cuadrado de sección de electrodo:

$$i = a e^{\frac{b}{T}}$$

$a$  y  $b$  son constantes que dependen de la naturaleza del metal;  $T$ , la temperatura absoluta en grados Kelvin.

Ejemplo para el arco de Tungsteno:

$$a = 23.6 \times 10^6$$

$$b = -52500$$

$$\text{obtenemos } i = 50A/cm^2$$

$$T = 3650^{\circ}K \text{ o } 3380^{\circ}C$$

para el arco de hierro para la misma densidad de corriente el cálculo da:

$$T = 3600^{\circ}K \text{ o } 3330^{\circ}C$$

Las caídas de tensión anódica y cátodica son relativamente bajas ( $\alpha=11$ ), mientras que la caída en el vapor del arco  $V_0$  es bastante más elevada; así pues, el lugar de mayor temperatura se encuentra en el lugar de la columna de vapor que constituye un puente entre el electrodo y el metal a soldar.

## ESTABILIDAD DEL ARCO EN CORRIENTE DIRECTA

Los arcos metálicos son inestables. Para obtener la estabilidad del funcionamiento del arco nos vemos precisados bajo potencial constante, a colocar una resistencia suficiente, y, en algunas ocasiones, a añadir una bobina que se oponga a las variaciones rápidas de la corriente.

Para cebar el arco, se separa el electrodo de la pieza metálica, después del contacto con el fin de provocar la formación de una mancha catódica incandescente. Las piezas a soldar están normalmente recubiertas por una película aislante (residuos aceitosos, polvos etc.) y, para conseguir un cebado fácil del arco, es necesario disponer de una tensión de alimentación en vacío relativamente elevada con respecto a la tensión del arco en funcionamiento; esta tensión, para corriente continua, esta comprendida entre los 40 y los 70 volts. La intensidad de cebado Ia deberá ser igualmente muy superior a la de funcionamiento If.

Por tanto parece ser que, para el arco con corriente continua, la regulación de la intensidad (que varía con el diámetro del electrodo) puede hacerse variando la resistencia en bornes.

Con algunos metales o aleaciones, el arco se mantiene con dificultad; éste es el caso del cobre, latón, cadmio, los bronce fosforosos, los bronce al aluminio, bismuto y zinc. En principio no existen metales anti-arco pero es necesario, según la naturaleza del metal, una tensión óptima para mantener el arco.

Son numerosos los factores que influyen en la estabilidad del arco, entre ellos:

- el potencial de ionización de los metales;
- el poder termoiónico;
- la conductividad térmica.

El arco es tanto más estable cuanto que el potencial de ionización es más bajo y el potencial termoiónico del metal más elevado.

Si la conductividad del metal aumenta, la emisión catódica disminuye y por tanto vuelve el arco a ser inestable.

## ESTABILIDAD DEL ARCO EN CORRIENTE ALTERNA

El arco no puede subsistir más que con un cátodo incandescente, emitiendo electrones y con una caída catódica brusca, produciendo un campo eléctrico intenso donde los electrones pueden adquirir la velocidad necesaria para ionizar las moléculas neutras por choque.

Si se corta la corriente de alimentación por un cierto tiempo, aunque sea muy pequeño, y se aplica de nuevo la tensión inicial, el arco se apaga; es necesario cebar de nuevo poniendo en contacto el electrodo y la pieza. Pero si el tiempo de interrupción no ha podido producir un enfriamiento suficiente del cátodo, el arco se volverá a encender desde el momento en que se aplique la tensión.

En todo esto se ha supuesto que la tensión se ha aplicado en un mismo sentido es decir, sin cambio de polaridad. Pero el problema se complica si se produce un cambio de polaridad durante la interrupción de la corriente.

Para que exista reencendido será necesario que el ánodo convertido en cátodo, esté a una temperatura suficiente para emitir electrones; si la temperatura es demasiado baja no se producirá el arco en la alternancia correspondiente.

## 3.2 POSICIONES EN LA SOLDADURA POR ARCO

Como para la soldadura oxiacetilénica, existen numerosos métodos, ya sea sobre bordes biselados o no, dependiendo de los espesores de las placas a unir.

En la soldadura por arco, estos métodos se complican por la necesidad de llenar el molde que ha de constituir el cordón de soldadura, mediante numerosas pasadas superpuestas, las pasadas pueden ser anchas, estrechas e, incluso en algunos casos triangulares; es decir, que la punta del electrodo realiza un movimiento que reproduce esta figura geométrica.

Los diversos métodos aplicados en construcciones soldadas, pueden dividirse en dos grandes categorías: los métodos clásicos y los modernos.

A) Los métodos clásicos, practicados a gran escala, comprenden principalmente:

- 1.-Soldaduras en plano horizontal.
- 2.-Soldaduras verticales, ascendentes o descendentes.
- 3.-Soldaduras horizontales en plano vertical.
- 4.-Soldaduras en techo.
- 5.-Soldaduras en ángulo y a solapa.

B) Métodos modernos:

- 1.-Método en sobreintensidad.
- 2.-Método por penetración.
- 3.-Método por contacto.
- 4.-Electrodos de gran rendimiento.



## PREPARACION DE LOS BORDES

Tanto para los métodos clásicos como para la mayor parte de los modernos, los bordes de las piezas a unir requieren una preparación cuidadosa.

En general para la ejecución de la unión por los métodos clásicos sobre placas inferiores a 4mm. de espesor, no es necesario el biselado de los bordes; a partir de los 5mm. el bisel resulta indispensable.

La preparación de los bordes a soldar depende, como en la soldadura oxiacetilénica, del espesor del metal de la base. Los biseles en V son un poco más cerrados y su abertura angular, rara vez sobrepasa los 70 a 75°.

Este tipo de preparación exige además una parte recta en la base del chaflán (Fig.3.1), cuya altura  $h$ , es igual, en general, a la distancia  $d$  de separación entre las dos placas.

También se realizan preparaciones de chaflanes bastante más complicados como son: en perfil cilindro-cónico (Fig.3.1 b) o en U (Fig.3.1 c), dejando siempre en la base una parte recta de altura  $h$ .

Estos chaflanes especiales se realizan sobre placas cuyo espesor sobrepasa los 20 a 25 mm.

Los biseles cónicos en X se realizan en placas cuyo espesor varía entre los 12 y 50 mm, con un ángulo en el vértice de, aproximadamente, 70°; siendo la altura de la parte recta en el

centro del chaflán, ligeramente superior a la distancia  $d$ , correspondiente a la separación de las placas.

Así mismo se realizan chaflanes especiales en X, como los del perfil cilindro-cónico, para placas de espesor superior a los 50mm (Fig. 3.1 d,e,f)

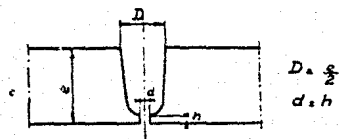
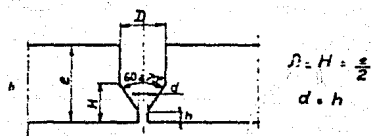
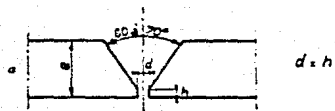


Fig. 3.1 a,b,c: Preparación de los bordes a unir en V

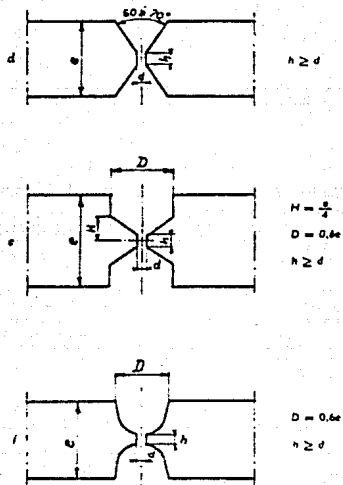


Fig. 3.1 a,b,c: Diversos tipos de preparación en X.

## SOLDADURA A TOPE EN PLANO HORIZONTAL

Hasta espesores de 4mm y algunas veces hasta 5mm, la soldadura horizontal se practica sobre placas sin chaflián. La soldadura se ejecuta generalmente en una pasada con un electrodo de diámetro proporcional al espesor, y, a menudo, con un segundo cordón en el reverso, si este es accesible.

Para láminas muy delgadas ( espesor inferior a 1mm), la operación se facilita colocando una placa de mantenimiento del cordón de este modo se asegura una buena penetración. No obstante, este sistema, conduce algunas veces a la formación de burbujas por absorción de gases desprendidos fuera de la fusión de los electrodos.

En las soldaduras a tope en plano horizontal, el electrodo, colocado en el plano vertical, perpendicular al plano de la placa, forma un ángulo de  $50^{\circ}$  a  $70^{\circ}$  en el sentido de avance de la varilla (Fig. 3.2).

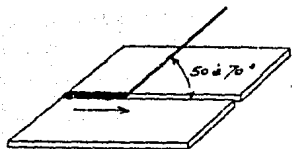


Fig. 3.2 Posición del electrodo en la soldadura horizontal.

Sobre placas achaflanadas el modo operatorio depende del número de pasadas necesarias para rellenar la cavidad.

En el método por pasadas anchas, el número de pasadas es relativamente bajo (Fig. 3.3).

En la tabla 3.1, se agrupan en función de los espesores a soldar, con indicación sobre la preparación de los bordes, el número de pasadas y el diámetro de electrodo que corresponden a cada una de ellas.

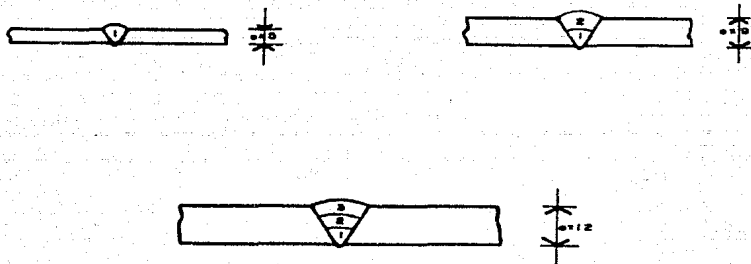


Fig. 3.3 Disposición de los cordones de soldadura en el método por pasadas anchas.

TABLA 3.1  
CONDICIONES DE EJECUCION DE LAS SOLDADURAS POR ARCO

ESPESOR DE PLACA (mm)	PREPARACION DE LOS BORDES	DIAMETRO DE LOS ELECTRODOS (mm)					NUMERO DE PASADAS
		2	2.5	3.2	4	5	
2	bordes rectos	1	-	-	-	-	1
3	..	-	1	-	-	-	1
4	..	-	-	1	-	-	1
5	..	-	-	-	1	-	1
4	chafian en V	-	-	1	-	-	1
5	..	-	-	-	1	-	1
6	..	-	-	NN	-	-	NN
8	..	-	-	1	1	-	2
9	..	-	-	1	2	-	3
10	..	-	-	1	1	-	3
12	..	-	-	1	1	1	3
12	..	-	-	1	3	-	4
14	..	-	-	1	2	2	5
16	..	-	-	1	2	3	5
18	..	-	-	1	1	4	6
20	..	-	-	1	1	4	6
NN	..	-	-	1	2	7	6
56	..	-	-	1	2	6	6

En el método por pasadas estrechas, el número de pasadas es mucho mayor y así, sobre la soldadura sobre placa de 10mm de espesor, se recomienda efectuar diez pasadas depositadas en cinco capas (Fig.3.4). La capa de fondo y la segunda capa se realizan en una sola pasada; la tercera en dos pasadas y la cuarta y la quinta en tres pasadas cada una.

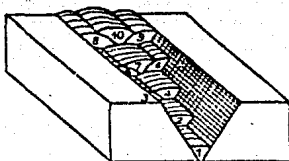


Fig. 3.4 Disposición de los cordones de soldadura en el método por pasadas estrechas.



## SOLDADURAS VERTICALES

Sobre placas a tope no achaflanadas, el método se aplica hasta los 4mm de espesor, con una separación entre bordes que aumenta con el espesor desde 1 a 3mm.

El electrodo se mantiene en el plano perpendicular al de las placas, formando un ángulo de  $90^{\circ}$  a  $110^{\circ}$  en el sentido de avance de la varilla, para la soldadura ascendente (Fig. 3.5) y de  $110^{\circ}$  a  $130^{\circ}$  para la descendente (Fig. 3.6) .

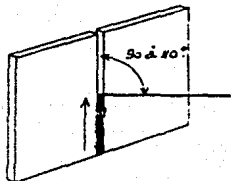


Fig. 3.5 Vertical ascendente.

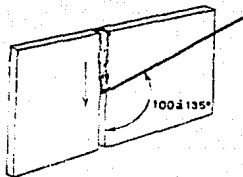


Fig. 3.6 Vertical descendente.

Sobre placas achaflanadas pueden aplicarse, como para las soldaduras sobre plano horizontal. Los métodos por pasadas anchas o estrechas. La primera pasada o pasada de fondo, se ejecuta como para las placas sin chaflán. El resto de las pasadas se realizan dando al electrodo un movimiento de balance, pasando de un borde a otro de las chapas; la posición del electrodo permanece sensiblemente igual. La facilidad de ejecución y la calidad de las soldaduras, se mejoran dejando una parte recta en el fondo del bisel de 2 a 3 mm.

#### SOLDADURAS HORIZONTALES EN PLANO VERTICAL.

Sobre placas sin chaflán, la soldadura resulta bastante difícil de ejecutar y, siempre que sea posible, debe evitarse una preparación de este tipo.

El electrodo, situado en el plano perpendicular al de las placas (Fig. 3.7) se desplaza horizontalmente formando un ángulo de, aproximadamente  $60^{\circ}$  en el sentido de avance.

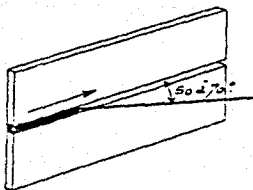


Fig. 3.7 Soldadura horizontal en plano vertical

ESTA TESIS NO DEBE  
SALIR DE LA BIBLIOTECA

Sobre placas achaflanadas, la pasada de fondo se ejecuta con el electrodo sin chaflián, formando el electrodo un ángulo de  $45^{\circ}$  en el sentido de avance. Pero, para las restantes pasadas, el electrodo no se desplaza ya en el plano medio sino en un plano que forma  $60^{\circ}$  con el de las placas.

Este método se practica frecuentemente sobre placas con chaflián desigual; el ángulo de la placa inferior es de  $20$  a  $30^{\circ}$  mientras que el de la superior sobrepasa los  $40^{\circ}$  (Fig. 3.8).

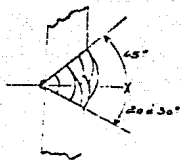


Fig. 3.8 Preparación de las placas

### SOLDADURAS EN TECHO

Sobre placas no achaflanadas o con chaflián, el electrodo se desliza en el plano vertical perpendicularmente al de las placas, formando un ángulo de  $70$  a  $90^{\circ}$  en el sentido de avance del electrodo (Fig. 3.9).

La pasada de fondo debe de asegurar la penetración, lo que obliga a menudo a mantener una separación ligeramente superior a la indicada para los métodos precedentes. También es recomendable preparar los bordes achaflanados con una parte recta de 2 a 3 mm según el espesor de las placas.

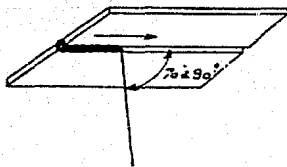


Fig. 3.9 Método de soldadura en techo.

## SOLDADURAS EN ANGULO Y A SOLAPE.

Las soldaduras en ángulos, interiores o exteriores, no presentan ninguna dificultad particular; se trata de realizar un cordón en el que la magnitud de la altura sea del mismo orden que el espesor de la placa. El electrodo se mantiene siempre en el plano bisector, formando un ángulo que varía según las pasadas: 30 a 45° en el sentido de avance para la pasada de fondo y 50 a 70° para las pasadas superiores (Fig. 3.10).

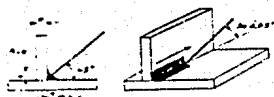


Fig. 3.10 Soldadura en ángulo

Según la naturaleza del revestimiento, la concavidad del cordón puede variar; efectivamente, la forma del cordón juega un importante papel sobre las propiedades mecánicas, principalmente en lo que se refiere a características dinámicas.

En estas soldaduras no se presenta el problema de achaflanado de los bordes; no obstante, para las placas de gran espesor, es recomendable biselar la placa superior con el fin de asegurar una mejor penetración del cordón.

Las soldaduras a traslape se practican en igual forma que las de ángulo.

#### METODO DE SOLDADURA EN SOBREINTENSIDAD

Este método pone en juego la energía eléctrica con el fin de aumentar conjuntamente la penetración de la soldadura y la velocidad de ejecución. En este tipo de electrodo, los revestimientos deben ser más refractarios para resistir las características eléctricas que se les imponen.

Las intensidades aplicadas en este método de soldadura, varían con el diámetro de los electrodos y aumentan con las diferentes pasadas.

Así, con un electrodo de 4mm de diámetro, la intensidad puede variar de 200 a 220 A; es decir; de un 25 a un 30 % más que la normal; para un electrodo de 5 mm, la intensidad sería del orden de 250 a 300 A.

Como para el método de gran penetración se trata de evitar la preparación de los bordes dejando una separación suficiente. Este método no puede aplicarse mas que para espesores de unos 7 a 8 mm. Con las intensidades señaladas anteriormente, la velocidad de la soldadura se aumenta en un 30% .

#### METODO DE GRAN PENETRACION

Este procedimiento hace intervenir electrodos especiales llamados de gran penetración que permiten la realización de la soldadura con un reducido número de pasadas, sobre placas sin biselar. La supresión de la preparación de los bordes hasta 16 mm de espesor permite una importante ganancia en tiempo y, por ello, un ahorro en el costo de las soldaduras.

Habitualmente, las soldaduras sobre bordes rectos se hacen en dos pasadas, la primera penetra hasta la mitad del espesor, la segunda, ejecutada sobre el reverso de la placa se superpone a la primera (Fig. 3.11)

En este procedimiento la naturaleza del revestimiento juega un papel esencial produciendo reacciones exotérmicas.

Las intensidades utilizadas son superiores en un 50 a 60 % sobre las normales utilizadas para métodos clásicos.

La naturaleza de la corriente no parece influir sobre la penetración. No obstante, para las intensidades elevadas, es preferible el empleo de la corriente alterna para evitar el efecto de burbujas del arco que se produce con corriente continua.

Las soldaduras de gran penetración son sensibles a la naturaleza del metal de base; con un acero de base de mala calidad pueden obtenerse defectos internos de importancia únicamente revelados por delicados métodos de control como los rayos X.

Para los grandes espesores, a partir de los 15mm para facilitar la penetración se rebajan ligeramente los extremos de los bordes a unir y se da mayor separación a las placas.

#### PROCEDIMIENTO POR CONTACTO

Este procedimiento, aún reciente utiliza electrodos especiales con revestimiento muy grueso y características idénticas a las de los electrodos automáticos, todo ello para asegurar una cierta penetración. El electrodo facilita la soldadura debido a su arco constante y cebado automático.

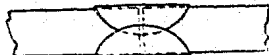


Fig. 3.11 Soldadura de gran penetración.



### 3.3 CARACTERISTICAS DE LOS ELECTRODOS Y RECUBRIMIENTOS

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

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

Los defectos más importantes de los electrodos desnudos son:

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

#### FUNCIONES DE LOS REVESTIMIENTOS

Un electrodo revestido está constituido por un alma metálica, generalmente de forma cilíndrica, y de un revestimiento de composición química muy variable según las características exigidas (Fig. 3.12)

La composición de los revestimientos es muy compleja; son mezclas de materias orgánicas y minerales, de modo que cada sustancia juega una función determinada, ya sea durante la fusión, ya durante la solidificación. Actuando como: estabilizadores del arco, componentes de la escoria, depuradores del metal, portadores de elementos útiles al metal fundido, etc.

En definitiva, el revestimiento realiza un gran número de funciones cuyo estudio constituye toda la técnica del electrodo.

### FUNCIÓN ELECTRICA DEL ELECTRODO

La existencia de un arco depende del estado de ionización de los gases existentes entre el ánodo y el cátodo. Los arcos metálicos son inestables a causa de sus características negativas debido al hecho de que la resistencia disminuye cuando la intensidad del arco aumenta. Para obtener la estabilidad de funcionamiento es preciso introducir en el circuito del arco una resistencia, o una bobina de inducción con una resistencia, que se opone a las variaciones rápidas de corriente.

Como se menciona en la sección 3.1., los factores que actúan sobre la estabilidad del arco son numerosos:

- a) La tensión de cebado.
- b) El potencial de ionización de los metales.
- c) El poder termoiónico.
- d) La conductibilidad térmica.

Para el arco de corriente alterna es indispensable un medio fuertemente ionizado; de aquí la necesidad de introducir en el revestimiento sales con baja tensión de ionización y un elevado

poder termi6nico tales como las sales de sodio, potasio y bario.

Existen tambi6n otros productos que son favorables al cebado y al mantenimiento del arco tales como los silicatos, los carbonatos, los 6xidos de hierro, los 6xidos de titanio, el 6xido de torio, etc.

El estudio del revestimiento desde el punto de vista de su funci6n el6ctrica, es particularmente importante para la puesta a punto de los electrodos que deban funcionar con corriente alterna. En corriente continua, la alta temperatura del c6todo conserva la ionizaci6n del medio en el cual salta el arco y 6ste permanece estable. Por el contrario para la corriente alterna el arco se apaga en cada per6odo y, en ese instante resulta necesario facilitar su reencendido empleando sales con facilidad para desprender vapores ionizantes.

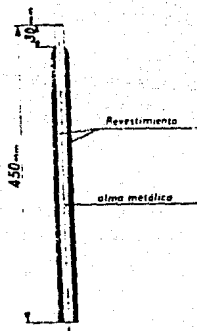


Fig. 3.12 Corte de un electrodo revestido.

## FUNCION FISICA DEL REVESTIMIENTO

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

En esta función intervienen dos elementos:

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

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

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

La acción mecánica de los gases desprendidos por el revestimiento, para el transporte de la gota fundida, no ofrece ninguna duda, pero esto no es más que un aspecto del problema. La escoria fundida debe mantener la gota en su sitio; de donde se deduce la función de la tensión capilar de la escoria líquida.

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

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

Por todas estas razones es necesario buscar, como en los revestimientos básicos, escorias poco viscosas, que facilitan la fijación del manganeso o de los elementos especiales en el baño fundido y también para lograr la desulfuración y la desfosforación de la soldadura.

#### FUNCIÓN METALURGICA DEL REVESTIMIENTO

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

La naturaleza de las escorias obtenidas después de la soldadura, depende principalmente de los productos que entran en el recubrimiento Seferian (11) adopta la siguiente clasificación:

A) Electrodos volátiles. Están constituidos principalmente por celulosa ( $C_6H_{10}O_5$ ) que da, por descomposición, una mezcla de gases reductores, sobre todo hidrógeno, que se descompone en hidrógeno atómico. La función protectora y reductora de este revestimiento está plenamente asegurada por el desprendimiento de hidrógeno, quedando muy poca escoria sólida por encima del metal.

Estos electrodos permiten la soldadura en todas las posiciones, dando una cierta penetración gracias a la reacción exotérmica del

hidrógeno recombinado. El afinado del metal por la acción del hidrógeno se hace siguiendo la reacción:



**B) Electrodo ácidos.** Estos revestimientos están constituidos principalmente por óxidos de hierro, de sílice y, a menudo, de manganeso.

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

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

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

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

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

C) Electrodos a base de óxido de titanio. Son aquellos que contienen ilmenita (50%  $TiO_2$ , 50%  $Fe_2O_3$ ) o rutilo (95%  $TiO_2$ ).

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

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

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

Este tipo de electrodos dan soldadura de alta calidad con muy buenas características de alargamiento y resiliencia.

Además se produce en el momento de la fusión, una verdadera micrometalurgia con fijación de los elementos metálicos en el metal fundido; puede obtenerse así, por adición de elementos útiles como el manganeso, níquel, cromo, molibdeno, etc., soldaduras de alta resistencia mecánica.

De esta forma se realiza una gama de electrodos de 50, 60, 70, y hasta  $100 \text{ kg/mm}^2$  de resistencia.

Los electrodos básicos son más difíciles de emplear, presentando el cordón de soldadura un aspecto más abombado que en el caso de

los electrodos acidos. El empleo de corriente continua exige la inversion de la polaridad, es decir, el polo positivo en el electrodo; en corriente alterna, la tension de cebado debe ser superior a los 65 V.

Son utilizados en cualquier posicion.

Estos electrodos son utilizados principalmente en obras de arte.

Algunos electrodos trabajan con corriente directa o corriente alterna, en caso de corriente directa es necesario indicar la polaridad.

La intensidad de corriente que debe utilizarse depende de diversos factores:

- Dimensiones del electrodo;
- Posición;
- Espesor del material a unir.

Los fabricantes de electrodos dan recomendaciones de intensidad adecuada para cada caso.

En la tabla 3.2 se muestran los rangos más comunes en función del diámetro del electrodo.



**TABLA 3.2**  
**TABLA DE RANGOS DE INTENSIDAD DE CORRIENTE.**

DIAMETRO DE ELECTRODO.	AMPERES	
	MIN.	MAX
5/32	80	150
3/16	110	200
1/4	150	350
5/16	200	450
3/8	300	550
1/2	400	800
5/8	600	1000
3/4	800	1400

## **CAPITULO IV**

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

#### 4.0 BREVE DESCRIPCION DE LAS NORMAS EMPLEADAS EN SOLDADURA

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

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

Estos códigos describen además exámenes de calificación para operadores.

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

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

Si el número de una norma A.S.T.M. va seguido de una T, significa que la norma se reduce a una tentativa de norma. Si va seguido de un guión y un segundo número tal como S2, indica que dicha norma se estableció en 1952.

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

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

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

#### 4.1 NORMAS SOBRE ELECTRODOS MATERIAL DE APORTACION Y FUNDENTES

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

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

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

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

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

La American Welding Society clasifica, por números de cuatro cifras, los electrodos de acero al carbón para soldadura por arco, precedidos de la letra E (de eléctrico). Las dos primeras cifras expresan la resistencia a la rotura mínima en miles de libras. De esta manera, un electrodo E6010 depositará metal con una resistencia rotura, superior a las 60,000 lb/pulg<sup>2</sup>, un electrodo E7018 depositará un material con una resistencia a la rotura por tracción superior a 70,000 lb/pulg<sup>2</sup>. La tercera cifra es un 1 ó un 2. Los electrodos E6010 a E6019 son aptos para soldadura en

cualquier posición: plana, horizontal, vertical y de techo; mientras que los electrodos E3020 a E3029 son electrodos aptos únicamente para soldadura en posición plana u horizontal. A veces se emplean los electrodos E3030. En este caso el 3 significa que son aptos únicamente para soldaduras en posición plana.

La cuarta cifra no indica una información de un tipo determinado; para conocer su significado, hay que consultar la tabla 4.2 A. W. S. A5.1-69.

El sufijo (ejm. E302-A1) indica la aleación aproximada en el depósito. (Tabla 4.1)

TABLA 4.1

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

TABLA 4.2 A.W.S. AS. 1-69 PROPIEDADES DE LOS ELECTRODOS PARA SOLDADURA POR ARCO

ULTIMA CIFRA	0	1	2	3	4	5	6	7	8
POTENCIA SUMINISTRADA	(A)	C. A. O PICC	C. A. O C.C.	C. A. O C.C.	C. A. O C.C.	PICC	C. A. O PICC	C. A. O C.C.	C. A. O PICC
REVESTIMIENTO	(B)	ORGANICO	RUTILO	RUTILO	RUTILO	BAJO EN H	BAJO EN H	MINERAL	BAJO EN H
PENETRACION	(C)	PROFUNDA	MEDIA	LIGERA	LIGERA	MEDIA	MEDIA	MEDIA	MEDIA
HIERRO EN POLVO EN REV.	0-10%	NINGUNO	0-10%	0-10%	30-50%	NINGUNO	NINGUNO	50%	30-50%

(A) EL ELECTRODO 6010 ES PARA PICC; EL 6020 PARA C.C. O C.A. (Corriente continua o alterna)

(B) EL ELECTRODO 6010 LLEVA REVESTIMIENTO ORGANICO, EL 6020 REVESTIMIENTO MINERAL.

(C) EL ELECTRODO 6010 ES DE PENETRACION PROFUNDA, EL 6020 DE PENETRACION MEDIA

PICC: POLARIDAD INVERSA CORRIENTE CONTINUA.

PCC: POLARIDAD DIRECTA CORRIENTE CONTINUA.

**TABLA 4.3 CODIGO DE COLORES PARA ELECTRODOS DE ACERO SUAVE  
 Y BAJA ALEACION.**

COLOR DE GRUPO--SIN COLOR				
EXX10, EXX11, EXX14, EXX24, EXX27, EXX28 Y TODO E60XX				
S	SIN COLOR	AZUL	NEGRO	NARANJA
E	SIN COLOR	E7010 G		EST
	BLANCO	E7010 A1		ECI
	CAFE		E7014	
	VERDE			
	AZUL	E7011 G		
	AMARILLO	E7011 A1	E7024	
	NEGRO		E7028	
	PLATEADO	E6027		
COLOR DE GRUPO--PLATEADO				
TODO EXX13 Y EXX20 EXCEPTO E6013 Y E6020				
	CAFE			
	BLANCO			
	VERDE	E7020 G		
	AMARILLO	E7020 A1		



Originalmente la National Electrical Manufacturer Association (N.E.M.A.) en unión con la A.W.S. desarrolló un código de colores y se acordó, que la clasificación debería imprimirse en el electrodo (Fig. 4.1), sin embargo en algunos electrodos delgados esto no es práctico y por lo tanto es aceptado el código de colores que se detalla en las tablas 4.3 y 4.4.

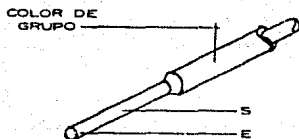


Fig. 4.1 Impresión de la clasificación en el electrodo.



TABLA 4.4 CODIGO DE COLORES PARA ELECTRODOS RECUBIERTOS BAJO HIDROGENO Y BAJA ALEACION.

COLOR DE GRUPO--VERDE										
EXX15, EXX16, Y EXX18 EXCEPTO E6015 Y E6016										
S	SIN COLOR	AZUL	NEGRO	BLANCO	GRIS	CAFE	VIOLETA	VERDE	ROJO	NARANJA
ROJO	E7015 G	E7015			E8015 G	E9015 G		E10015 G		E12015 G
BLANCO		E7015 A1	E9015 B3L			E9015 D1				
CAFE										
VERDE			E8015 B2L			E9015 B3				
BRONCE			E8015 B4L			E8015 B4				
NARANJA	E7016 G	E7016	E7018	E8016 C3		E9016 G		E10016 G		E12016 G
AMARILLO		E7016 A1	E7018 A1	E8016 G		E9016 D1		E10016 D2	E11016 G	
NEGRO			E8018 C3	E8016 B1	E8018 B1		E9018 R3			
AZUL	E7018 G		E8018 G	E8016 C1	E8018 C1	E9018 B3	E9018 G	E10018 G	E11018 G	E12018 G
VIOLETA				E8016 C2	E8018 C2	E8016 B4	E9018 D1	E10018 D2		
GRIS			E8018 B4	E8016 B2	E8018 B2			E10016 D2		

A. W. S. AS.1-89 ELECTRODOS DE ACERO AL CARBON RECUBIERTOS PARA LA SOLDADURA POR ARCO.

El alcance de esta especificación incluye aceros de baja aleación, describe, la propiedades mecánicas mínimas requeridas, (Esfuerzo a la tensión, elongación, resistencia al impacto) y los requerimientos de radiografiado para los electrodos.

Así mismo las dimensiones que se anotan en la tabla 4.8, sin embargo no todos los electrodos se fabrican en todas las dimensiones.

Las propiedades mecánicas mínimas requeridas se muestran en la tabla 4.5 .

El radiografiado standard grado I es menos estricto que el grado II.

A. W. S. AS.5-89 ELECTRODOS DE ACERO BAJA ALEACION RECUBIERTOS PARA SOLDADURA POR ARCO

Esta especificación describe los electrodos recubiertos para soldadura por arco metálico de acero baja aleación.

El sistema de clasificación usado es el mismo que se detalla en el inicio de la sección 4.1 de este capítulo.

La composición química del metal depositado se muestra en la tabla 4.7.

La tabla 4.8 marca los requisitos de esfuerzos y elongación.

Las especificaciones radiográficas se muestran en la tabla 4.9 y la tabla 4.10 detalla los requerimientos de impacto.

TABLA 4.5 PROPIEDADES MECANICAS MINIMAS Y REQUISITOS RADIOGRAFICOS PARA ELECTRODOS RECUBIERTOS  
PARA SOLDADURA FOR ARCO.

CLASIFICACION A. W. S.	ESFUERZO A LA TENSION MINIMO, PSI.	PTO. DE CEDENCIA MINIMO, PSI	ELONGACION MIN. EN 2 PULG. %	RADIOGRA- FIADO	RESIST. AL IMPACTO A -20 F
SERIE E 60					
E6010	62,000	50,000	22	GRADO II	20 FT/LB
E6011	62,000	50,000	22	GRADO II	20 FT/LB
E6012	67,000	55,000	17	NO REQUIERE	NO REQUIERE
E6013	67,000	55,000	17	GRADO II	NO REQUIERE
E6020	62,000	50,000	25	GRADO I	NO REQUIERE
E6027	67,000	50,000	25	GRADO II	20 FT/LB
SERIE E70					
E7014			17	GRADO II	NO REQUIERE
E7015			22	GRADO I	20 FT/LB
E7016	72,000	60,000	22	GRADO I	20 FT/LB
E7018			22	GRADO I	20 FT/LB
E7024			17	GRADO II	NO REQUIERE
E7028			22	GRADO II	20 FT/LB

**TABLA 4.6 DIMENSIONES DE ELECTRODOS RECUBIERTOS PARA SOLDADURA  
POR ARCO.**

DIAMETRO (pulg)	LONGITUDES STANDAR (PULG)	
	E6010, E6011 E6012, E6013 E7014, E7015 E7016, E7018	E6020 E7024 E6027 E7028
1/16	9	...
5/64	9 o 12	...
3/32	12	12
1/8	14	14
5/32	14	14
3/16	14	14 o 18
7/32	14 o 18	18
1/4	18	18
5/16	18	18

TABLA 4.7 A.W.G. AS.5-89 REQUISITOS DE COMPOSICION EN ELECTRODOS PARA SOLDAR METALES DE ACERO BAJA ALEACION.

Electrodo Clasificación	Composición (%)								
	C	Mn	P	S	Si	Ni	Cr	Mo	V
Acero Carbono-Molibdeno									
E7010 A1	0.12	0.60	0.03	0.04	0.40	...	...	0.40 to 0.64	...
E7011 A1		0.60			0.40				
E7015 A1		0.90			0.60				
E7016 A1		0.90			0.60				
E7018 A1		0.90			0.90				
E7027 A1		1.00			0.40				
Acero Molibdeno-Cromo									
E8016 B1	0.12	0.90	0.03	0.04	0.60	...	0.40 to 0.65	0.40 to 0.65	...
E8018 B1					0.80				
E8015 B2L	0.05	0.90	0.03	0.04	1.00	...	1.00 to 1.50	0.40 to 0.65	...
E8016 B2	0.12	0.90	0.03	0.04	0.60	...	1.00 to 1.50	0.40 to 0.65	...
E8018 B2					0.80				
E8018 B2L	0.05	0.90	0.03	0.04	0.80	...	1.00 to 1.50	0.40 to 0.65	...
E9015 B3L	0.05	0.90	0.30	0.04	1.00	...	2.00 to 2.50	0.90 to 1.20	...
E9015 B3	0.12	0.90	0.03	0.04	0.60	...	2.00 to 2.50	0.90 to 1.20	...
E9016 B3					0.80				
E9018 B3	0.80	...	2.00 to 2.50	0.90 to 1.20	...				
E9018 B3L	0.05	0.90	0.03	0.04	0.80	...	2.00 to 2.50	0.90 to 1.20	...
E9018 B4L	0.05	0.90	0.03	0.04	1.00	...	1.75 to 2.25	0.40 to 0.65	...
E9018 B5	0.07 to 0.15	0.40 to 0.70	0.03	0.04	0.30 to 0.60	...	0.40 to 0.60	1.00 to 1.25	0.05
Acero Niquel									
E8016 C1	0.12	1.20	0.03	0.04	0.60	2.00 to 2.75	...	...	...
E8018 C1					0.80				
E8016 C2	0.12	1.20	0.03	0.04	0.60	3.00 to 3.75	...	...	...
E8018 C2					0.80				
E8016 C3	0.12	0.40 to 1.25	0.030	0.030	0.80	0.80 to 1.10	0.15	0.25	0.05
E8018 C3					0.80				
Acero Manganeso-Molibdeno									
E9015 D1	0.12	1.25 to 1.75	0.03	0.04	0.60	...	...	0.25 to 0.45	...
E9018 D1					0.80				
E10015 D2	0.15	1.85 to 2.00	0.03	0.04	0.60	...	...	0.75 to 0.45	...
E10018 D2					0.80				
E10018 D2					0.80				
Otros Aceros de Baja Aleación									
E8X10 G	...	1.00 min	...	...	0.80 min	0.50 min	0.30 min	0.70 min	0.10 min
E8X11 G					0.80 min				
E8X13 G					0.80 min				
E8X15 G					0.80 min				
E8X16 G					0.80 min				
E8X18 G					0.80 min				
E7020 G	0.80 min								
E9018 M	0.10	0.60 to 1.25	0.030	0.030	0.80	1.40 to 1.80	0.15	0.25	0.05
E10018 M	0.10	0.75 to 1.70	0.030	0.030	0.60	1.40 to 2.10	0.15	0.25 to 0.50	0.05
E11018 M	0.10	1.30 to 1.80	0.030	0.030	0.60	1.25 to 2.50	0.40	0.30 to 0.50	0.05
E12018 M	0.10	1.30 to 2.25	0.030	0.030	0.60	1.25 to 2.25	0.30 to 1.50	0.30 to 0.55	0.05

TABLA 4.8 A.W.S. A5.5-69 REQUISITOS DE ESFUERZOS PARA ELECTRODOS  
DE ACERO BAJA ALEACION RECUBIERTOS.

CLASIFICACION A.W.S.	TENSION MIN. PSI	PUNTO DE CEDENCIA PSI	ELONGACION MIN. EN 2 PULG. %
E7010X E7011X E7015X E7018X E7018X E7020X E7027X	70,000	57,000	22 22 25 25 25 25 25
E8010X E8011X E8013X E8015X E8018X E8018X	80,000	67,000	19 19 16 19 19 19
E8016 C3 E8018 C3	80,000	68 A 80,000	24
E9010X E9011X E9013X E9015X E9018X E9018X	90,000	77,000	17 17 14 17 17 17
E9018H	90,000	78 A 90,000	24
E10010X E10011X E10013X E10015X E10016X E10018X	100,000	87,000	16 16 13 16 16 16
E10018H	100,000	88 A 100,000	20
E11015X E11016X E11018X	110,000	97,000	15
E11018H	110,000	98 A 110,000	20
E12015X E12016X E12018X	120,000	107,000	14

**TABLA 4.9 A. W. S. REQUISITOS RADIOGRAFICOS PARA ELECTRODOS  
RECUBIERTOS DE ACERO BAJA ALEACION.**

CLASIFICACION A. W. S.	RADIOGRAFIADO NORMAL
EXX15-X EXX16-X EXX18-X E7020-X	GRADO I
EXX10-X EXX11-X EXX13-X	GRADO II



**TABLA 4.10 A.W.S. A5-69 PROPIEDADES DE IMPACTO PARA ELECTRODOS  
 RECUBIERTOS DE ACERO BAJA ALEACION.**

CLASIFICACION A.W.S	REQUISITOS DE IMPACTO MINIMOS
E8016-C3 E8018-C3	20 FT/LB A -40 F
E9015-D1 E9018-D1 E10015-D2 E10018-D2 E11018-D2	20 FT/LB A -60 F
E9018-M E10018-M E11018-M E12018-M	20 FT/LB A -60 F
E8016-C1 E8018-C1	20 FT/LB A -75 F
E8016-C2 E8018-C2	20 FT/LB A -100 F
TODAS LAS OTRAS CLASIFICACIONES	NO REQUIEREN

A. W. S. A5.17-69 ELECTRODOS DE VARILLAS DE ACERO AL CARBON Y FUNDENTES PARA SOLDADURA POR ARCO SUMERGIDO.

Como el electrodo y el fundente son dos artículos consumibles se clasifican por separado:

Los electrodos se clasifican en base a su composición química.

El sistema de clasificación incluye la letra E como el anterior, pero aquí termina la similitud. La siguiente letra L M o H indica Bajo, Medio o Alto Contenido de manganeso respectivamente. El siguiente número o números indica el contenido aproximado de carbón en porcentaje y si tiene un sufijo K esto indica, acero con alto contenido en Silicón. La clasificación se muestra en la tabla 4.11.

La tabla 4.12 muestra los tamaños normales de los electrodos y sus tolerancias.

TABLA 4.12 A. W. S. A5.17-69 DIAMETROS NORMALES Y TOLERANCIAS PARA ELECTRODOS DE ARCO SUMERGIDO

DIAMETRO DEL ELECTRODO PULG.	TOLERANCIA $\pm$ PULG.
1/16	0.005
5/64	0.002
3/32	0.002
1/8	0.003
5/32, 3/16, 7/32	0.004
1/4, 5/16, 3/8	0.004

TABLA 4. 11 ESPECIFICACIONES DE COMPOSICION QUIMICA PARA ELECTRODOS DE ARCO SUMERGIDO

CLASIFICACION A. W. S.	COMPOSICION QUIMICA, PORCENTAJE						
	CARBON	MANGANESO	SILICON	AZUFRE	FOSFORO	COBRE	OTROS
BAJO MANGANESO CLASE EL8 EL8K EL12	0.10 0.10 0.07 A 0.15	0.30 A 0.55 0.30 A 0.55 0.35 A 0.60	0.05 0.10 A 0.20 0.05				
MEDIO MANGANESO CLASE EM5K EM12 EM12K EM15K EM15K	0.06 0.07 A 0.15 0.07 A 0.15 0.07 A 0.19 0.12 A 0.20	0.80 A 1.40 0.85 A 1.25 0.85 A 1.25 0.80 A 1.40 0.85 A 1.25	0.40 A 0.70 0.05 0.15 A 0.35 0.45 A 0.70 0.15 A 0.35	0.035	0.03	0.15	0.50
ALTO MANGANESO CLASE EH14	0.10 A 0.18	1.75 A 2.25	0.05				

NOTA: DEBE HACERSE EL ANALISIS PARA LOS ELEMENTOS QUE SE MUESTRAN EN ESTA TABLA SIN EMBARGO LA PRESENCIA DE OTROS ELEMENTOS ENCONTRADOS EN LA RutINA DE ANALISIS DEBE ANALIZARSE PARA COMPROBAR QUE EL TOTAL DE TALES ELEMENTOS NO EXCEDE EL VALOR LIMITE ESPECIFICADO EN LA ULTIMA COLUMNA.

NOTA: LOS VALORES INDIVIDUALES MUESTRAN VALORES MAXIMOS.

Los fundentes son clasificados en base a las propiedades mecánicas de la soldadura depositada, hecha con un electrodo particular, la clasificación asignada a un fundente consiste de un prefijo F indicando fundente, seguida de un número representativo de dos dígitos representando el esfuerzo a la tensión y los requerimientos de impacto para probar la unión. Las últimas cifras dan la clave correspondiente a la clasificación del electrodo que se usará con el fundente. (Tabla 4.13).

TABLA 4. 13 ESPECIFICACIONES DE PROPIEDADES MECANICAS DE FUNDENTES PARA SOLDADURA POR ARCO SUMERGIDO

CLASIFICACION A. W. S. DEL FUNDENTE.	ESFUERZO A LA TENSION (Lb/pulg <sup>2</sup> )	ELONGACION EN 2 PULG. MIN. %	ESFUERZO AL IMPACTO
F60. XXXX			NO REQUIERE
F61. XXXX	62,000		20 FT/LB A 0 ° F
F62. XXXX	A	22	20 FT/LB A -20 ° F
F63. XXXX	80,0000		20 FT/LB A -40 ° F
F64. XXXX			20 FT/LB A -60 ° F
F70. XXXX	72,000		NO REQUIERE
F71. XXXX	A	22	20 FT/LB A 0 ° F
F72. XXXX	95,060		20 FT/LB A -20 ° F
F73. XXXX			20 FT/LB A -40 ° F
F74. XXXX			20 FT/LB A -60 ° F

NOTA: Las letras XXXX indican la designacion del electrodo E60, E60K etc.  
 Si una combinacion fundente-electrodo satisface los requerimientos de una clasificacion  
 F6X. XXXX tambien cubrira las especificaciones de clasificaciones menores por ejemplo  
 una clasificacion F63. XXXX cubrira todas las especificaciones de cualquier combinacion  
 F61. XXXX, F60. XXXX y F62. XXXX, esto aplica tambien para la serie F7X. XXXX.

**A. W. S. A5.20-69 ELECTRODOS DE ACERO DULCE PARA SOLDADURA POR ARCO  
CON FUNDENTE PROTECTOR.**

Esta especificación describe los requisitos para la composición de electrodos para soldadura de acero dulce y acero baja aleación. Las tablas 4.14 y 4.15 muestran las propiedades mecánicas mínimas requeridas.

**A. W. S. A5.18-69 ELECTRODOS PARA SOLDADURA POR GAS-ARCO METALICO**

Los electrodos están clasificados en base a su composición química y a sus propiedades mecánicas (Tablas 4.16 y 4.17).

Los requerimientos de composición química se detallan en la tabla 4.18 de la norma A. W. S. A5.18-69.

Esta tabla incluye además una subclasificación titulada: Electrodos de acero baja aleación.

**TABLA 4.14 A. W. S. A5.20-69 ESPECIFICACIONES DE PROPIEDADES MECANICAS REQUERIDAS EN ELECTRODOS PARA SOLDADURA DE ACERO DULCE POR ARCO CON FUNDENTE PROTECTOR.**

CLASIFICACION A. W. S.	GAS PROTECTOR	CORRIENTE Y POLARIDAD	ESF. A LA TENSION MIN. PSI	ESF. DE FLUENCIA MIN. PSI.	ELONGACION MIN. EN 2 PUL. PSI.
E60T-7	NINGUNO	PDCC	67,000	55,000	22
E60T-8			62,000	50,000	22
E70T-1	CO 2	CORRIENTE CONTINUA	72,000	60,000	22
E70T-2			72,000	NO REQUIERE	
E70T-3	NINGUNO	POLARIDAD INVERSA	72,000	NO REQUIERE	
E70T-4			72,000	60,000	22
E70T-5	CO 2	NINGUNO	72,000	60,000	22
E70T-6	NINGUNO		72,000	60,000	22
E70T-G	NO ESPECIF.	NO ESPECIF.	72,000	60,000	22

**TABLA 4.15 A. W. S. A5.20-69 NORMA DE RESISTENCIA AL IMPACTO**

CLASIFICACION A. W. S.	RESISTENCIA MIN. AL IMPACTO
E70T-5	20 FT/LB A -20 F
E70T-8 E70T-1 E70T-6	20 FT/LB A 0 F
E70T-7 E70T-2 E70T-3 E70T-4 E70T-G	NO REQUIEREN

TABLA 4.16 A. W. S. A5.18-69 ESPECIFICACIONES DE PROPIEDADES MECANICAS PARA  
ELECTRODOS DE SOLDAR POR GAS-ARCO METALICO

CLASIFICACION A. W. S.	GAS PROTECTOR	CORRIENTE Y POLARIDAD	ESFUERZO MINIMO A LA TENSION (PSI)	ELONGACION EN 2 PULG. MIN. %
GRUPO A- ELECTRODOS DE ACERO				
E70S-1	AO	CD POLARIDAD INVERSA	72,000	22
E70S-2	AO & CO <sub>2</sub>			
E70S-3				
E70S-4	CO <sub>2</sub>			
E70S-5				
E70S-6				
E70S-G	NO ESPECIFICO	NO ESPECIFICA		
GRUPO B- ELECTRODOS DE ACERO BAJA ALRACION				
E70S-1B	CO <sub>2</sub>	CD, POL. INV.	72,000	12
E70S-GB	NO ESPECIFICO	NO ESPECIFICO	72,000	??
GRUPO-C ELECTRODOS EMISIVOS				
E70U-1	AO & A	CD, POL. DIR.	72,000	22

NOTAS: AO=ARGON MAS 1 A 5 % DE OXIGENO, A-ARGON, CO = DIOXIDO DE CARBONO.

POLARIDAD INVERSA SIGNIFICA QUE EL ELECTRODO ES POSITIVO POLARIDAD DIRECTA SIGNIFICA QUE EL ELECTRODO ES NEGATIVO.



TABLA 4. 17 A. W. S. A5. 18-69 ESPECIFICACIONES DE PROPIEDADES DE IMPACTO  
 PARA ELECTRODOS DE SOLDAR POR GAS-ARCO METALICO.

CLASIFICACION A. W. S.	REQUERIMIENTO MINIMO DE IMPACTO
E70S-2 E70S-6 E70S-1B E70U-1	20 Ft/Lb A -20 ° F
E70S-3	20 Ft/Lb A 0 ° F
E70S-1, E70S-4 E70S-5, E70S-G E70S-GB	NO REQUIERE

LOS VALORES EXTREMOS OBTENIDOS MAYOR Y MENOR DEBEN SER IGNORADOS PARA ESTA PRUEBA DOS DE LOS TRES VALORES RESTANTES DEBEN SER MAYORES QUE LA ESPECIFICACION, UNO DE LOS TRES PUEDE SER MENOR PERO NUNCA DEBE SER MENOR A 15 Ft/Lb. EL PROMEDIO DE LOS TRES DEBE SER IGUAL O MAYOR QUE LA ESPECIFICACION.

TABLA 4.18 A. W. S. AS. 18-69 NORMA DE COMPOSICION QUIMICA EN ELECTRODOS PARA SOLDADURA POR GAS-ARCO METALICO.

Clasificación AWS	COMPOSICION QUIMICA %											
	C	Mn	Silicio	P	S	NI	Cr	Mo	V	Ti	Zr	Al
GRUPO A - ELECTRODOS DE ACERO DULCE												
E70S-1	0.07 10 0.19		0.30 10 0.50									
E70S-2	0.06		0.40 10 0.70							0.05 10 0.15	0.02 10 0.12	0.05 10 0.15
E70S-3	0.06 10 0.15	0.90 10 1.40	0.45 10 0.70	0.025	0.025							
E70S-4	0.07 10 0.15		0.55 10 0.85									
E70S-5	0.07 10 0.18		0.30 10 0.60									0.02 10 0.02
E70S-6	0.07 10 0.15	1.40 10 1.85	0.80 10 1.15									
E70S-G	No hay requisitos quimicos											
GRUPO B - ELECTRODOS DE ACERO BAJA ALEACION												
E70S-18	0.07 10 0.12	1.60 10 2.10	0.50 10 0.80	0.025	0.025	0.15		0.40 10 0.60				
E70S-GB	No hay requisitos quimicos											
GRUPO C - ELECTRODOS EMISIVOS												
E70U-1	0.07 10 0.15	0.90 10 1.40	0.15 10 0.25	0.025	0.025							

**A. W. S. A5.4-69 ELECTRODOS RECUBIERTOS RESISTENTES A LA CORROSION  
CROMO Y CROMO-NIQUEL.**

Estos electrodos son comunmente llamados: Los inoxidables. o Resistentes a la corrosión, y se clasifican en base a la composición química del metal depositado y a sus usos.

Las especificaciones de composición química se ennumeran en la tabla 4.19 de la norma A. W. S. A5.4-69 .

La norma no incluye pruebas de resistencia a la corrosión.

El metal fundido depositado puede esperarse que tenga la misma resistencia a la corrosión que el metal base de la misma composición. Sin embargo, debido al calor de soldadura, o a algún tratamiento térmico subsecuente puede ocurrir un cambio metalúrgico que afecte la resistencia a la corrosión de la soldadura y el metal base. Por esta razón deben realizarse pruebas de corrosión en aplicaciones críticas.

Las especificaciones de propiedades mecanicas se muestran en la tabla 4.20.

TABLA 4.20 A.W.S. A5. 4-69 NORMA DE PROPIEDADES MECANICAS DE  
ELECTRODOS RECUBIERTOS RESISTENTES A LA CORROSION.

CLASIFICACION A. W. S.	ESFUERZO A LA TENSION MIN. PSI.	ELONGACION MIN. EN 2 PULG. PSI
E308	80,000	35
E308L	75,000	35
E309	80,000	30
E309Cb	80,000	30
E309Mo	80,000	30
E310	80,000	30
E310Cb	80,000	25
E310Mo	80,000	30
E312	95,000	22
E16-8-2	80,000	35
E316	75,000	30
E316L	70,000	30
E317	80,000	30
E318	80,000	25
E320	80,000	30
E330	75,000	25
E347	80,000	30
E349	100,000	25
E410	70,000	20
E430	70,000	20
E502	60,000	20
E505	60,000	20
E7Cr	60,000	20

TABLA 4.19 A.W.S. A5.4-69 ESPECIFICACIONES DE COMPOSICION QUIMICA DE LOS ELECTRODOS RECUBIERTOS RESISTENTES A LA CORROSION.

Clasificación AWS	C %	Cr %	Ni %	Mo %	Columbio máx Te. %	Mn %	Silicio %	P %	S %	W %
E308	0.08	18.0 to 21.0	9.0 to 11.0		...	2.5	0.90	0.04	0.03	
E308L	0.04	18.0 to 21.0	9.0 to 11.0		...	2.5	0.90	0.04	0.03	
E309	0.15	23.0 to 25.0	12.0 to 14.0		...	2.5	0.90	0.04	0.03	
E309Cb	0.12	23.0 to 25.0	12.0 to 14.0		0.70 to 1.00	2.5	0.90	0.04	0.03	
E309Mo	0.12	23.0 to 25.0	12.0 to 14.0	2.0 to 3.0	...	2.5	0.90	0.04	0.03	
E310	0.28	25.0 to 28.0	20.0 to 22.5		...	2.5	0.15	0.03	0.03	
E310Cb	0.12	25.0 to 28.0	20.0 to 22.0		0.30 to 1.00	2.5	0.15	0.03	0.03	
E310Mo	0.12	25.0 to 28.0	20.0 to 22.0	2.0 to 3.0	...	2.5	0.15	0.03	0.03	
E317	0.15	28.0 to 32.0	8.0 to 10.5		...	2.5	0.50	0.04	0.03	
E18.8.2	0.10	14.5 to 16.5	7.5 to 9.5	1.0 to 2.0	...	2.5	0.50	0.03	0.03	
E316	0.08	17.0 to 20.0	11.0 to 14.0	2.0 to 2.5	...	2.5	0.90	0.04	0.03	
E316L	0.04	17.0 to 20.0	11.0 to 14.0	2.0 to 2.5	...	2.5	0.90	0.04	0.03	
E317	0.08	18.0 to 21.0	12.0 to 14.0	3.0 to 4.0	...	2.5	0.90	0.04	0.03	
E318	0.08	17.0 to 20.0	11.0 to 14.0	2.0 to 2.5	8 x C, máx to 1.00 máx	2.5	0.90	0.04	0.03	
E320*	0.07	19.0 to 21.0	32.0 to 36.0	2.0 to 3.0	8 x C, máx to 1.00 máx	2.5	0.60	0.04	0.03	
E330	0.25	14.0 to 17.0	33.0 to 37.0		1.00 máx	2.5	0.90	0.04	0.03	
E347 <sup>b</sup>	0.08	18.0 to 21.0	9.0 to 11.0		8 x C, máx to 1.00 máx	2.5	0.90	0.04	0.03	
E348 <sup>d</sup>	0.13	18.0 to 21.0	8.0 to 10.0	0.25 to 0.65	0.15 to 1.2	2.5	0.90	0.04	0.03	1.75 to 1.75
E410	0.12	11.0 to 13.5	0.60		...	1.0	0.90	0.04	0.03	
E420	0.10	15.0 to 18.0	0.60		...	1.0	0.90	0.04	0.03	
E502	0.10	4.0 to 8.0	0.40	0.45 to 0.65	...	1.0	0.90	0.04	0.03	
E505	0.10	8.0 to 10.5	0.40	0.45 to 1.20	...	1.0	0.90	0.04	0.03	
E507	0.10	6.0 to 8.0	0.40	0.45 to 0.65	...	1.0	0.90	0.04	0.03	

- b) El cromo debe ser 1.8 X Ni mínimo cuando se especifique.  
 c) El Tantalio debe ser 0.10% máximo cuando se especifique.  
 d) Titanio debe ser 0.15% máximo.  
 e) Cobre debe ser 3.0 a 4.0%

A. W. S. 5. 9-69 BARRAS Y ELECTRODOS SENCILLOS DE ACERO AL CROMO Y CROMO Y CROMO-NIQUEL.

Esta especificación cubre varillas (acero inoxidable) resistentes a la corrosión, de acero al cromo y cromo-níquel, para usarse con hidrógeno y el proceso de arco-tungsteno, y electrodos desnudos para usarse con procesos de soldadura de arco sumergido, y gas-arco metálico.

Varillas y electrodos están clasificados en base a su composición química. Los requerimientos para electrodos sólidos y varillas están basados en el análisis químico del metal de aporte.

Para la composición de electrodos y varillas los requerimientos se basan en el análisis químico del metal fundido con el proceso TIG. Usando Argón como gas protector. El análisis de la composición de electrodos y barras puede también realizarse mediante cualquier método satisfactorio establecido entre el comprador y el vendedor.

La tabla 4.21 lista los requisitos de composición química, barras y electrodos están disponibles en una amplia variedad de diámetros y dimensiones, tabla 4.22.

A.W.S. 5.9-60 BARRAS Y ELECTRODOS SENCILLOS DE ACERO AL CROMO Y CROMO Y CROMO-NIQUEL.

Esta especificación cubre varillas (acero inoxidable) resistentes a la corrosión, de acero al cromo y cromo-niquel, para usarse con hidrógeno y el proceso de arco-tungsteno, y electrodos desnudos para usarse con procesos de soldadura de arco sumergido, y gás-arco metálico.

Varillas y electrodos están clasificados en base a su composición química. Los requerimientos para electrodos sólidos y varillas están basados en el análisis químico del metal de aporte.

Para la composición de electrodos y varillas los requerimientos se basan en el análisis químico del metal fundido con el proceso TIG. Usando Argón como gás protector. El análisis de la composición de electrodos y barras puede también realizarse mediante cualquier método satisfactorio establecido entre el comprador y el vendedor.

La tabla 4.21 lista los requisitos de composición química, barras y electrodos están disponibles en una amplia variedad de diámetros y dimensiones, tabla 4.22.

TABLA 4.21 A. W. S. A5.9-69 REQUERIMIENTOS QUIMICOS PARA ELECTRODOS Y VARILLAS DE ACERO INOXIDABLE.

Clasificación A. W. S.	C %	Cr %	Ni %	Mo %	Columna mas Ta %	Mn %	Silicon %	P %	S %	W %
ER308	0.08	19.5 to 22.0	9.0 to 11.0			1.0 to 2.5	0.25 to 0.60	0.03	0.03	
ER308	0.03	19.5 to 22.0	9.0 to 11.0			1.0 to 2.5	0.25 to 0.60	0.03	0.03	
ER309	0.17	23.0 to 25.0	12.0 to 14.0			1.0 to 2.5	0.25 to 0.60	0.03	0.03	
ER310	0.04 to 0.15	25.0 to 28.0	20.0 to 22.5			1.0 to 2.5	0.25 to 0.60	0.03	0.03	
ER317	0.15	28.0 to 30.0	8.0 to 10.5			1.0 to 2.5	0.25 to 0.60	0.03	0.03	
ER316	0.08	18.0 to 20.0	11.0 to 14.0	2.0 to 3.0		1.0 to 2.5	0.25 to 0.60	0.03	0.03	
ER316	0.03	18.0 to 20.0	11.0 to 14.0	2.0 to 3.0		1.0 to 2.5	0.25 to 0.60	0.03	0.03	
ER317	0.08	18.0 to 20.0	11.0 to 14.0	3.0 to 4.0		1.0 to 2.5	0.25 to 0.60	0.03	0.03	
ER316	0.08	18.0 to 20.0	11.0 to 14.0	3.0 to 3.0		1.0 to 2.5	0.25 to 0.60	0.03	0.03	
ER320	0.07	19.0 to 21.0	27.0 to 30.0	2.0 to 3.0	8.0 C max to 1.0 max 8.0 C max to 1.0 max	2.5	0.60	0.04	0.03	
ER321	0.06	18.5 to 20.5	7.0 to 10.5	0.5 max.		1.0 to 2.5	0.25 to 0.60	0.03	0.03	
ER347	0.08	19.0 to 21.5	9.0 to 11.0		10.0 C max to 1.0 max	1.0 to 2.5	0.25 to 0.60	0.03	0.03	
ER340	0.08	19.0 to 21.5	9.0 to 11.0		10.0 C, max to 1.0 max <sup>1/2</sup>	1.0 to 2.5	0.25 to 0.60	0.03	0.03	
ER349	0.07 to 0.13	19.0 to 21.5	8.0 to 9.5	6.35 to 0.65		1.0 to 2.5	0.25 to 0.60	0.03	0.03	1.75 to 1.75
ER410	0.12	11.5 to 13.5	0.6	0.6		0.6	0.60	0.03	0.03	
ER470	0.25 to 0.40	12.0 to 14.0	0.6	0.6		0.6	0.60	0.07	0.03	
ER430	0.10	13.0 to 15.0	0.6	0.6		0.6	0.60	0.03	0.03	
ER507	0.10	4.5 to 6.0	0.6	0.45 to 0.55		0.6	0.25 to 0.60	0.03	0.03	

TABLA 4.22 A. W. S. A5.9-69 DIMENSIONES NORMALES PARA BARRAS Y APORTE DE ACERO INOXIDABLE.

FORMA	DIAMETRO PULG.
BARRAS DE SOLDAR RECTAS	1/16, 5/64, 3/32, 1/8 5/32, 3/16.
METAL DE APORTE EN ROLLO	1/16, 5/64, 3/32, 7/64, 1/8, 5/32, 3/16, 1/4.



A. W. S. AS.15-69 BARRAS Y ELECTRODOS RECUBIERTOS PARA SOLDAR  
HIERRO COLADO.

Esta especificación describe los requerimientos para barras para soldar por oxiacetileno y soldadura por arco metálico protegido, de hierro fundido.

Estos metales de aporte son apropiados para soldar fundición de hierro gris, hierro maleable y algunas aleaciones, con excepción de aleaciones de níquel, la clasificación se basa en la composición química de las barras y núcleos de los electrodos recubiertos. La composición química de las aleaciones base níquel, ENi-Cl, ENiFe-Cl, ENiCu-A, ENiCu-B, se basan en la composición del metal depositado. (TABLA 4.23 A. W. S. AS.15-69).

A. W. S. AS.10-69 BARRAS Y ELECTRODOS DE ALUMINIO Y SUS ALEACIONES.

Esta norma describe varillas de aluminio y aleaciones, para usar con soldadura TIG y electrodos para usar con soldadura MIG.

Varillas y electrodos se clasifican en base a la composición química del metal de aporte. (TABLA 4.24 A. W. S. AS.10-69).

Los electrodos deben también satisfacer una prueba de uso. Para electrodos de diámetros de 3/32 pulg. y menores, debe hacerse una soldadura con unión a tope en posición de techo.

Para electrodos de 1/8 pulg. la soldadura se hace en posición horizontal. La soldadura será radiografiada y debe satisfacer pruebas standard de rayos X de A. W. S.

Las pruebas de uso para barras consiste en hacer un cordón en una placa horizontal con una flama de gas o una soldadura TIG. El cordón debe ser uniforme en apariencia y debe estar libre de defectos específicos.

**A. W. S. A5.6-69 ELECTRODOS DE COBRE Y SUS ALEACIONES PARA SOLDADURA POR ARCO.**

Esta especificación cubre los requerimientos para barras sólidas de cobre y electrodos de cobre y sus aleaciones para soldadura por arco, para usarse con los siguientes procesos de soldadura: Arco metálico protegido, gas-arco metálico, y arco sumergido.

La especificación no cubre barras usadas con el proceso TIG. Los electrodos están clasificados en base de la composición química de la varilla o del núcleo en electrodos recubiertos. (TABLA 4.25 A. W. S. A5.6-69) el metal depositado debe tener propiedades de tensión mostradas en la tabla 4.26 de la misma norma.

Los electrodos recubiertos están disponibles en diámetros de 3/32 pulg. a 1/4 de pulg.

Las varillas para soldadura MIG están disponibles en diámetros de 0.035 pulg. a 3/16 pulg. en gran variedad de longitudes.

TABLA 4.23 A.W.S. A5.15-69 ESPECIFICACIONES QUIMICAS DE ELECTRODOS RECUBIERTOS PARA ACERO DULCE

Clasificación AWS	C	Mn	P	S	Fe	Mo	Ni	Cu	Zn	Sn	Al	Pb	Ca	Otro Elemen Totol
	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%
<b>FUNDICION GRIS METALES DE APORTE</b>														
RCI	3.25 to 3.50	3.75 to 3.00	0.50 to 0.75	0.50 to 0.75	0.10	remanente	traza	traza	...	...	...	...	...	...
RCI-A	3.25 to 3.50	3.00 to 2.90	0.50 to 0.70	0.20 to 0.40	0.10	"	0.25 to 0.45	1.20 to 1.00	...	...	...	...	...	...
RCI-B	3.25 to 4.00	3.75 to 3.75	0.10 to 0.40	0.05	0.03	"	...	0.50	...	...	...	...	0.20	...
<b>METALES DE APORTE BASE COBRE</b>														
RCuZnA <sup>a</sup>	...	c	c	...	...	c	...	57.0 to 51.0	remanente	0.25 to 1.00	0.01 <sup>c</sup>	0.05 <sup>c</sup>	...	0.30
RCuZnB <sup>1</sup>	...	0.04 to 0.15	0.01 to 0.50	c	...	0.25 to 1.2	...	0.2 to 0.5	56.0 to 60.0	...	0.8 to 1.1	0.01 <sup>c</sup>	0.05 <sup>c</sup>	0.50
RCuZnC <sup>1</sup>	...	0.04 to 0.15	0.01 to 0.50	...	...	0.25 to 1.2	...	...	58.0 to 60.0	...	0.8 to 1.1	0.01 <sup>c</sup>	0.05 <sup>c</sup>	0.50
RCuZnD <sup>a</sup>	...	0.04 to 0.25	...	0.25	...	...	...	9.00 to 11.00	48.0 to 50.0	...	...	0.01 <sup>c</sup>	0.05 <sup>c</sup>	0.30
ECuSnA <sup>b</sup>	...	c	c	0.10 to 0.25	...	c	...	c	remanente	c	4.0 to 6.0	0.01 <sup>c</sup>	0.02 <sup>c</sup>	0.30
ECuSnC <sup>2</sup>	...	c	c	0.05 to 0.25	...	c	...	c	"	c	7.0 to 8.0	0.01 <sup>c</sup>	0.02 <sup>c</sup>	0.50
ECuAlA2 <sup>b</sup>	...	0.10	...	...	...	15	...	"	...	0.02	...	9.0 to 11.0	0.02	0.50
<b>ELECTRODOS DE ACERO SUAVE</b>														
ES <sup>1</sup>	0.15	0.03	0.30 to 0.60	0.04	0.04	remanente	...	...	...	...	...	...	...	...
<b>ELECTRODOS BASE NIQUEL</b>														
ENiC <sup>1</sup>	2.00	4.00	1.00	...	0.03	8.00	...	25.00	...	...	...	...	...	1.00
ENiFeC <sup>1</sup>	2.00	4.00	1.00	...	0.03	remanente	...	45.0 to 60.0	7.50	...	...	...	...	1.00
ENiCu	0.35 to 0.55	0.75	2.25	...	0.025	3.0 to 8.0	...	50.0 to 80.0	25.0 to 45.0	...	...	...	...	1.00
ENiCoB	0.35 to 0.55	0.75	2.25	...	0.025	3.0 to 8.0	...	60.0 to 70.0	25.0 to 35.0	...	...	...	...	1.00

NOTAS: a: Niquel más incidentalmente cobalto

b: Cobre más incidentalmente plata

c: Los elementos totales no exceden el valor especificado

TABLA 4.24 A. W. S. AS. 10-69 ESPECIFICACIONES QUIMICAS PARA BARRAS Y ELECTRODOS PARA ALUMINIO Y SUS ALEACIONES

Clasificación AWS	Silicón %	Fe %	Cu %	Mn %	Mg %	Cr %	Ni %	Zn %	Ti %	% Otros Elementos C/U Total	Al %
ER1100	1	1	0.05-0.20	0.05				0.10		0.03	99.90 max
ER1250	1	1	0.54	0.01						0.03	99.50 max
ER2312 <sup>a</sup>	0.20	0.30	58.54	0.10-0.40	0.02			0.10	0.10-0.20	0.05	residualmente
ER6145	0.3-0.7	0.8	33.47	0.15	0.15	0.15		0.10	0.10	0.05	0.15
ER4043	0.5-0.8	0.8	0.30	0.05	0.05			0.10	0.20	0.05	0.15
ER4047	1.0-1.25	0.8	0.20	0.14	0.10			0.20	0.20	0.05	0.15
ER5075	0.10	0.40	0.03	0.30-0.50	33.43	0.10-0.25		1.4-1.2	0.10	0.05	0.10
ER5554	1	1	0.10	0.50-1.0	2.4-3.0	0.05-0.20		0.25	0.0-0.20	0.05	0.15
ER5554 <sup>b</sup>	1	1	0.05	0.01	3.1-3.9	0.15-0.25		0.10	0.0-0.15	0.05	0.15
ER5756	1	1	0.10	0.05-0.20	4.5-5.5	0.05-0.20		0.10	0.0-0.20	0.05	0.15
ER5356	1	1	0.10	0.50-1.0	4.7-5.3	0.05-0.20		0.25	0.0-0.20	0.05	0.15
ER5182	0.40	0.10	0.10	0.0-1.0	4.3-5.7	0.05-0.25		0.25	0.15	0.05	0.15
AC4A <sup>a</sup>	1.5	1.0	40.50	0.35	0.03			0.25	0.25	0.05	0.15
RCN42A <sup>a</sup>	0.2	1.0	35.45	0.25	12.18	0.25	1.2-2.3	0.25	0.25	0.05	0.15
RC314 <sup>a</sup>	4.5-5.5	0.8	1.0-1.5	0.50 <sup>b</sup>	0.40-0.60	0.25		0.25	0.25	0.05	0.15
RC70A <sup>a</sup>	6.5-7.5	0.8	0.25	0.25	0.20-0.40			0.25	0.25	0.05	0.15

- a) Para reparar fundición, b) Silicón más hierro no debe exceder 1%, c) Silicón más hierro no debe exceder 0.4%, d) Silicón más hierro no debe exceder .45%, e) Silicón más hierro no debe exceder 0.5%

TABLA 4.25 A. W. S. ESPECIFICACIONES QUIMICAS PARA BARRAS Y ELECTRODOS PARA COBRE Y SUS ALEACIONES

Nombre Común	Clasificación AWS	Cu incluye % Ag	Zn %	Sn %	Mn %	Fe %	Silicón %	Ni incluye % Co	P %	Al %	Pb %	Ti %	Otros Elementos
Cu	ECu	99.99	*	10	0.5	*	0.50	*	0.15	0.01	0.02		0.50
Cu-Silicón													
Cu-Silicón-bronce	ECuS	residualmente	*	1.5 <sup>b</sup>	1.5 <sup>b</sup>	0.5	2.0-4.0	*	*	0.01	0.02		0.50
Cu-Sn (bronce)	ECuSn		*	8.0-16.0	*	*	*		0.10-0.25	0.01	0.02		0.50
Cu-Sn-bronce	ECuSnC		*	3.0-16.0	*	*	*		0.05-0.25	0.01	0.02		0.50
Cu-Ni	ECuNi		*	*	1.00 <sup>b</sup>	0.40-0.75	0.50	2.0-3.0 max			0.02	0.15-1.00	0.50
Cu-Al (aluminio-bronce)	ECuAl		0.20			1.5	0.10			6.0-16.0	0.02		0.50
	ECuAlZn		0.02			1.5	0.10			9.0-16.0	0.02		0.50
	ECuAlZn <sup>d</sup>		0.25			3.0-16.0	0.10			11.0-16.0	0.02		0.50

TABLA 4.26 A. W. S. A5.8-69 PROPIEDADES DE TENSION PARA SOLDADURA DE COBRE Y SUS ALEACIONES.

CLASIFICACION A. W. S	ESFUERZO A LA TENSION MIN. LB/PULG <sup>2</sup>
ECu	25,000
ECuSi	50,000
ECuSn-A	35,000
ECuSn-C	40,000
ECuNi	50,000
ECuAl-A1	55,000
ECuAl-A2	60,000
ECuAl-B	65,000

A. W. S. A5.7-69 VARILLAS DE SOLDADURA PARA COBRE Y SUS ALEACIONES

Esta norma cubre varillas para oxiacetileno y soldadura TIG. las barras están clasificadas en base a la composición química de la barra y las propiedades mecánicas de la unión soldada.

Las especificaciones químicas se muestran en la tabla 4.27 A.W.S. A5.7-69. Los requerimientos de esfuerzo a la tensión se muestran en la tabla 4.28 de la misma norma. Los esfuerzos se determinan por una prueba de la soldadura en una unión a tope.

TABLA 4.27 A. W. S. A5.7-69 ESPECIFICACIONES QUIMICAS PARA VARILLAS DE SOLDADURA PARA COBRE Y SUS ALEACIONES

Nombre Común	Clasificación AWS	Cu + Ag %	Zn %	Sn %	Mn %	Fe %	Silicio %	Ni + Co %	P %	Al %	Pb %	Ti %	Otros %
Cu	RCu	98.0 min		1.0	0.5	*	0.50	*	0.15	0.01*	0.02*		0.50
Cu-Silicio (Silicio - bronce)	RCuSiA	98.0 min	1.5 <sup>b</sup>	1.5 <sup>b</sup>	1.5 <sup>b</sup>	0.5	7.8 to 8.0	*	*	0.01*	0.02*		0.50
Cu - Sn (estaño - bronce)	RCuSnA	0.25 min	*	40 to 6.0	*	*	*	*	0.10 to 0.35	0.01*	0.02*		0.50
Cu - Ni	RCuNi	remanescente	*	*	1.00	0.40 to 0.70	0.15	29.0 to 37.0	...	...	0.02*	0.02 to 0.50	0.50
Latón	RBCuZnA <sup>c</sup>	57 to 61	remanescente	0.25 to 1.00	*	*	*	*	...	0.01*	0.05*		0.50
Bajo Huma (bronce - Ni)	RCuZnB	56 to 60	**	0.8 to 1.1	0.01 to 0.50	0.25 to 1.2	0.04 to 0.15	0.2 to 0.8	...	0.01*	0.05*		0.50
Bajo Huma (bronce)	RCuZnC	56 to 60	**	0.8 to 1.1	0.01 to 0.50	0.25 to 1.2	0.04 to 0.15	...	...	0.01*	0.05*		0.50
Ni - Bronce	RBCuZnD <sup>e</sup>	46 to 50	**	...	...	...	0.04 to 0.25	8.0 to 11.0	0.25	0.01*	0.05*		0.50
Cu - Al (aluminio - bronce)	RCuAlA2	remanescente	0.07	...	...	1.5	0.10	...	...	8.0 to 11.0	0.02		0.15
	RCuAlB	**	0.02	...	...	4.0 to 4.75	0.10	...	...	11.0 to 12.0	0.02		0.5*

TABLA 4.28 A.W.S. A5.7-69 ESPECIFICACIONES DE TENSION EN VARILLAS DE SOLDADURA PARA COBRE Y SUS ALEACIONES.

CLASIFICACION A. W. S.	ESFUERZO A LA TENSION MIN. PSI		PROCESOS APLICABLES
	PLACA BASE ALEACION DE COBRE	PLACA BASE ACERO	
RCu	25,000	...	OAW, GTAW
RCuSi-A	50,000	...	OAW, GTAW
RCuSn-A	35,000	...	GTAW
RCuNi	50,000	...	OAW, GTAW
RBCuZn-A	50,000	40,000	OAW
RCuZn-B	56,000	50,000	OAW
RCuZn-C	56,000	50,000	OAW
RBCuZn-D	.....	60,000	OAW
RCuAl-A2	65,000	...	GTAW
RCuAl-B	70,000	...	GTAW

OAW : Soldadura por oxiacetileno.

GTAW : Soldadura por arco-gas tungsteno.

## CAPITULO V

# BREVE DESCRIPCION DE LA SOLDABILIDAD DE LOS RECIPIENTES ATMOSFERICOS Y A PRESION



## 5.1 RECIPIENTES ATMOSFERICOS

El gran crecimiento de las ciudades ha incrementado la demanda de almacenamientos de agua, combustible, alimentos, y productos derivados del petroleo. Así mismo dentro de la industria química es indispensable contar con grandes recipientes atmosféricos de almacenamiento.

Los campos de aplicación de estos recipientes, pueden extenderse a todos aquellos casos de almacenamiento de grandes cantidades de fluidos en los que se presente: Inflamabilidad, necesidad de evitar la contaminación, volatilidad alta, o bien sencillamente en aquellos casos de almacenamiento de líquidos comunes a presión atmosférica.

Desde el punto de vista de diseño, se pueden distinguir dos tipos de recipientes atmosféricos:

- a) Los cerrados con tapa cónica.
- b) Los abiertos o bien provistos de una tapa flotante, que en el diseño del fondo y del cuerpo cilíndrico caen en el mismo caso de los cerrados.

El primer tipo es el más común puede observar algunas variantes según sus dimensiones. Hasta aproximadamente 24 ft. de diámetro se diseñan con tapa autosoportada, de 24 a 48 ft. requieren generalmente de una columna como soporte central; y de 48 ft. en adelante necesitan una estructura completa del soporte de la tapa.

Los recipientes de tapa flotante se consideran como abiertos para diseño de cuerpo y fondo, y se usan en algunos casos de diámetros excesivos con lo cual se evita que la estructura soporte la tapa y esta prácticamente flota sobre el líquido.

## CONFIGURACION GENERAL Y ACCESORIOS.

En la figura 5.1 se ilustra un tanque de almacenamiento a presión típico el cual cuenta con los siguientes aditamentos:

Entrada de hombre.- En general se requiere cuando menos una entrada en el cuerpo cilíndrico, de tamaño limitado entre 20 y 24 pulg. y colocada a una altura a su línea de centros de 4 a 5 pies.

Venteos.- Se pueden presentar dos casos:

- a) Venteo libre para líquidos no volátiles.
- b) Venteo de conservación para productos volátiles, combinado con un interruptor de flama en caso de inflamabilidad.

Escalera.-

- a) Tipo marino para tanques con alturas no mayores a 15 ft.
- b) Escalera espiral o de caracol.

Drenaje.-

- a) Simple en el fondo del recipiente con tubería subterránea.
- b) Con pozo colector para lograr un desalojo eficaz.

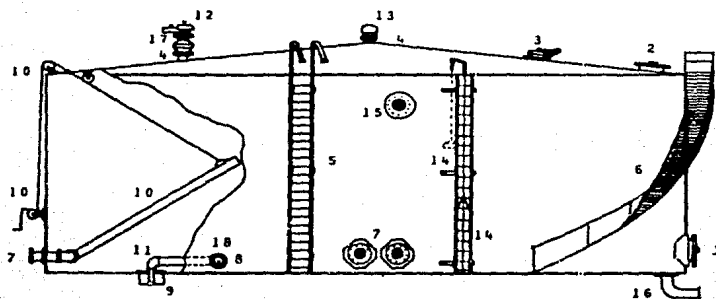
Boquillas adicionales.-

- a) Boquillas para carga y descarga del producto. Las dimensiones serán de acuerdo a las cantidades manejadas.

Medidor de nivel.- Se utiliza un medidor de flotador con cable y contrapeso externo, aprovechando la pared exterior del cuerpo para colocar la escala.

Además de lo anterior los recipientes abiertos y los de tapa flotante requieren de un aro atiesador en la parte superior del cuerpo, debido a que se observa una falta de rigidez con la ausencia de una tapa fija. Los recipientes de tapa flotante son también útiles para el almacenamiento de líquidos relativamente volátiles, ya que disminuyen la cámara de vaporización, lo cual disminuye la velocidad de escape.

FIG. 5.1 TANQUE ATMOSFERICO TIPICO



- 1.-Entrada de hombre (Cuerpo cilíndrico)
- 2.-Entrada de hombre (Tapa)
- 3.-Boquilla de medición u observación
- 4.-Boquilla de venteo en la tapa
- 5.-Escalera marina (Tanque pequeños)
- 6.-Escalera de caracol (Tanques grandes)
- 7.-Boquillas en el cuerpo cilíndrico
- 8.-Boquilla para decantados
- 9.-Foso de drenaje
- 10.-Tubería basculante de salida de producto
- 11.-Salida de agua decantada
- 12.-Venteo de conservación (Volátiles)
- 13.-Venteo libre (Volátiles)
- 14.-Medidor de nivel de flotador
- 15.-Conexión para la salida de espuma
- 16.-Drenaje de tubo
- 17.-Interruptor de flama
- 18.-Válvula anticongelante

La fórmula general de diseño para encontrar el espesor del cuerpo de recipientes atmosféricos es la siguiente:

$$t_s = \frac{G(62.37)(12D)(H-1)}{144(2SE)} + c$$

Donde:  $t_s$  = Espesor (Pulg)

G = Densidad relativa del fluido a almacenar (ad)

D = Diámetro del recipiente (Ft.)

H = Altura del recipiente (Ft.)

S = Esfuerzo del material (Lb/pulg<sup>2</sup>)

E = Eficiencia de la unión soldada

c = Espesor adicional por corrosión (Pulg)

#### SOLDADURAS

Dentro de las fórmulas de diseño de recipientes atmosféricos se involucra el término de eficiencia de la unión.

Si todas las soldaduras a tope se sueldan por ambos lados y se radiografían en su totalidad entonces puede suponerse que la unión es tan fuerte como la placa, es decir la eficiencia es del 100%.

Si todas las uniones están doblemente soldadas a tope y sólo se radiografía una zona cada 15mt. entonces debe tomarse un valor de 85% de eficiencia considerando que la resistencia de ésta es 85% de la resistencia de la placa base.

Si no hay radiografía entonces la eficiencia tiene que tomarse de

70% para soldaduras a tope dobles.

Las uniones de las placas, las cuales recibirán los primeros esfuerzos, de el peso o presión del contenido del tanque requieren uniones soldadas con resistencia igual al del metal de las placas.

Esas uniones deben ser soldadas en tanques cilindricos, uniones con el punto de soporte en tanques con tapa y todas las uniones en tanques a presión.

Esas uniones deben ser soldadas para obtener una penetración completa y fusión a través del espesor de la placa, son generalmente soldaduras por ambos lados con bordes biselados cuadrados a tope, para placas 5/16 pulg. o menores en espesor, y otras preparaciones de bisel en placas mayores.

Las uniones sujetas a esfuerzos secundarios, tales como las uniones circunferenciales de tanques cilindricos no requieren uniones tan resistentes, generalmente se sueldan por ambos lados para obtener al menos 2/3 de penetración.

La parte no soldada no mayor a 1/3 del espesor total se localiza en el centro de la unión.

La unión entre el cuerpo y la tapa se hace comunmente con un cordón continuo de soldadura por ambos lados. En caso de utilizar placas con espesor mayor a 1/2 pulg. deberán usarse bordes biselados.

## PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA

La soldadura puede desarrollarse por cualquier procedimiento tradicional, el más ampliamente usado es la soldadura manual por arco, y algunos procesos automáticos, los cuales reducen costos y aumentan la confiabilidad de las uniones soldadas eliminando los errores humanos tanto como sea posible.

Las superficies a soldar deberán estar libres de escoria, grasa, polvo, óxido, pintura o cualquier otro material extraño.

La soldadura no deberá efectuarse cuando la temperatura del metal base sea menor a 0°F, o cuando las superficies estén húmedas, por lo tanto no es conveniente efectuar soldaduras cuando llueva o se tenga un viento excesivo en cuyo caso la zona a soldar deberá estar protegida de tales condiciones climatológicas.

## 5.2 RECIPIENTES A PRESION

Exceptuando los equipos de almacenamiento a presión atmosférica, el resto de los recipientes de proceso se pueden clasificar dentro de la categoría de los recipientes a presión, ya sea que operen bajo presión interna o presión externa.

Tanques cilindricos de tapas planas y tapas abombadas, esferas, tanques con tapas cónicas, reactores, cristalizadores etc. pueden calcularse mecánicamente en la determinación de espesores mediante las expresiones generales de diseño. (12)

i) Presión interna: Para el cálculo del espesor del cuerpo.

$$t = \frac{Pr_i}{2SE - 0.4P} + c$$

ii) Recipientes esféricos.

$$t = \frac{Pr_i}{2SE - 0.2P} + c$$

Donde:

t : Espesor de diseño del envolvente. (pulg.)

P : Presión de diseño (lb/pulg.<sup>2</sup>)

r<sub>i</sub> : Radio interior (pulg.)

S: Esfuerzo (lb/pulg.<sup>2</sup>)

E: Eficiencia de la unión soldada.

c: Espesor por corrosión.



El espesor del recipiente operando a presión interna o externa, ya sea para el cuerpo cilíndrico o las tapas no deberá ser menor a 3/16 de pulg. incluyendo la tolerancia por corrosión, para construcción en aceros de baja aleación. En el caso de materiales de alta aleación (por ejemplo aceros inoxidable) se permiten espesores hasta de 1/8 de pulgada sin tolerancia por corrosión.

Existen requerimientos para recipientes a presión fabricados por soldadura que se detallan en la Subsección B parte UW del CODIGO ASME PARA CALDERAS Y RECIPIENTES A PRESION (13) De los cuales se describen en este capítulo algunas de las más utilizadas.

#### UW-1 ALCANCE:

Las reglas de la parte UW son aplicables a recipientes a presión fabricados por medio de soldadura.

#### UW-2 RESTRICCIONES:

A) Cuando los recipientes estén destinados a contener sustancias letales líquidas o gaseosas todas las uniones soldadas a tope deben ser completamente radiografiadas y cuando se fabriquen de acero al carbón o acero baja aleación tales recipientes deberán recibir un tratamiento térmico posterior.

Las uniones se clasifican en categorías de acuerdo a lo siguiente:

- 1) Todas las uniones categoría A deben ser del tipo No 1 de la tabla UW-12.
  - 2) Todas las uniones de categorías B y C deben ser tipo No 1 o 2 de la tabla UW-12.
  - 3) Todas las uniones categoría D deben tener penetración completa de la soldadura a través del espesor total de la pared del recipiente.
- B) Cuando los recipientes operan abajo de  $-20^{\circ}\text{F}$  se requiere prueba de impacto para el material y la soldadura y las uniones de varias categorías deben ser como sigue:
- 1) Todas las uniones categoría A deben ser del tipo No 1 de la tabla UW-12.
  - 2) Todas las uniones categoría B deben ser del tipo 1 o 2 de la tabla UW-12.
  - 3) Todas las uniones categoría C deben tener penetración completa de la soldadura extendida a través de la sección total de la unión.
  - 4) Todas las uniones categoría D deben tener penetración completa de la soldadura a través del espesor total de la pared del recipiente.

### UW-3 CATEGORIA DE LA UNION SOLDADA.

A) El término Categoría como se usa de aquí en adelante define la localización de una unión en un recipiente.

Las categorías establecidas en este documento marcan los requerimientos específicos especiales, con respecto al tipo de unión y grado de inspección para ciertas uniones soldadas. Puesto que estos requerimientos especiales los cuales se basan en el servicio, material y espesor no aplican a todas las uniones soldadas, únicamente aquellas uniones en las cuales apliquen requerimientos especiales estarán incluidas en las categorías.

Las uniones incluidas en cada categoría se designan como A, B, C, y D. La figura UW-3 ilustra uniones típicas localizadas incluidas en cada categoría.

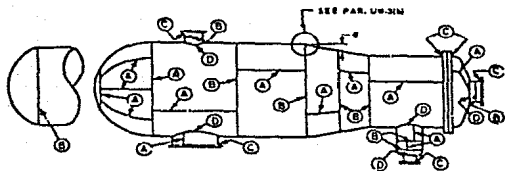


Fig. UW-3 Ilustración de la localización de uniones soldadas de categorías A, B, C, y D.

**Categoría A:**

Uniones soldadas longitudinales dentro del cuerpo principal, cámaras de comunicación<sup>1</sup>, cambios de diámetro, boquillas, o cualquier unión soldada dentro de una esfera, dentro de una tapa, o dentro de una placa lateral, en un recipiente de caras planas, las uniones circunferenciales que conectan tapas hemisféricas a cuerpo principal, a transiciones de diámetro, a boquillas o a cámaras de comunicación.

**Categoría B:**

Uniones soldadas circunferenciales dentro del cuerpo principal, cámaras de comunicación, boquillas o cambios de diámetro, incluyendo uniones entre la transición y el cilindro; Uniones soldadas circunferenciales uniendo tapas que no sean hemisféricas al cuerpo principal, a cambios de diámetro, boquillas o cámaras de comunicación.

**Categoría C:**

Uniones soldadas conectando bridas, traslapes, cabezales de tubos, o tapas planas al cuerpo principal, a tapas formadas, a cambios de diámetro, a boquillas o a cámaras de comunicación. Cualquier unión soldada conectando una placa lateral a otra, en recipientes de caras planas.

**Categoría D:**

Uniones soldadas conectando cámaras de comunicación o boquillas a cuerpo principal, a esferas, a cambios de diámetro, a tapas. (Para boquillas en el lado pequeño de un cambio de diámetro, categoría B).

**NOTA 1 CAMARAS DE COMUNICACION SE DEFINEN COMO ACCESORIOS DE UN RECIPIENTE EN CUERPO O TAPAS QUE FORMAN PARTE INTEGRAL DEL ENTORNO PRESURIZADO EJM. COLECTORES DE ACEITE.**

B) Cuando las uniones soldadas a tope en ángulo conecten un cambio de diámetro a un cilindro debe darse un ángulo  $\alpha$  (Fig. UW-3) no mayor a  $30^\circ$ .

Todos los requerimientos en uniones soldadas a tope aplican a uniones en ángulo.

#### UW-5 MATERIALES

A) Los materiales usados en la construcción de recipientes a presión deben cumplir con los requisitos para materiales fijados en la subsección UG-5 a UG-14 del código ASME (13). y deben dar buena calidad en las soldaduras y una calificación satisfactoria en las pruebas de procedimientos de soldadura.

B) Dos materiales de especificaciones diferentes pueden ser unidos por soldadura si cubren con los requerimientos de la sección IV parte Q-11 del código ASME (13).

En donde se mencionan tres tipos de variables para un proceso de soldadura.

**Variables esenciales.** - Las que afectan a las propiedades mecánicas en la unión y es necesario evaluar el proceso de soldadura nuevamente.

**Variables suplementarias.** - Un cambio en una condición de soldadura que afecte a las propiedades de resistencia al impacto en la unión y requiera un ajuste (precalentamiento cambio de posición etc.).

**Variables no esenciales.** - Son aquellas cuyo cambio no afecta las propiedades mecánicas en la unión.

El apéndice A muestra tablas según el código ASME (13) en las que se presentan las posibles variables, su calificación y la sección del código en que se tratan a profundidad, para soldadura de arco y oxiacetileno.

## DISEÑO

### UW-8 GENERALIDADES

Las reglas de los siguientes párrafos aplican específicamente al diseño de recipientes a presión y sus partes, que son fabricados por soldadura y deben ser usadas de acuerdo con las especificaciones generales de diseño.

### UW-9 DISEÑO DE LAS UNIONES SOLDADAS.

#### A) Tipos permisibles:

Los tipos de uniones soldadas permitidas en procesos de soldadura por arco y gas se enlistan en la tabla UW-12, así mismo los espesores límites de placa para cada tipo.

#### B) Biselado:

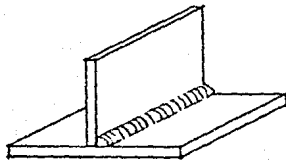
Las dimensiones y perfiles de los bordes a unir deben ser tales que permitan una fusión y penetración completa en la unión.

#### C) Uniones a traslape:

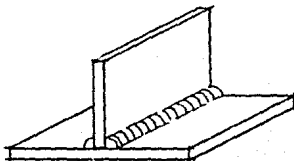
Para uniones a traslape, la superficie traslapada no debe ser menor a 4 veces el espesor de la placa interior excepto en el caso de tapas.

D) Uniones sujetas a esfuerzos por flexión:

Excepto en casos especiales las soldaduras a filete Fig. 5.2 deben usarse donde sea necesario reducir concentración de esfuerzos. Las uniones en esquina, con soldaduras a filete solamente, no deberán usarse a menos que las placas que forman la esquina estén soportadas adecuadamente y no se afecte a tales uniones.



Filete sencillo



Filete doble

Fig 5.2 Soldadura a filete

#### UW-11 EXAMEN RADIOGRAFICO.

A) Radiografía total:

Las siguientes uniones soldadas a tope de acuerdo con los tipos No 1 y 2 de la tabla UW-12 deben ser examinadas radiográficamente en el total de su longitud.

- 1) Uniones en recipientes que contengan sustancias letales.
- 2) Uniones en placas o paredes de recipientes en las cuales el espesor de la pared sea mayor a  $1\frac{1}{2}$  pulg.
- 3) Uniones en calderas de vapor con presiones de diseño mayor a 50 lb/pulg<sup>2</sup>.

4) Uniones en boquillas, cámaras de comunicación etc. en un recipiente o sección de recipiente que caiga en cualquiera de los casos 1, 2, y 3, excepto cuando las uniones circunferenciales soldadas a tope en boquillas y cámaras de comunicación no excedan 10 pulg. de extensión.

**B) Radiografía Discontinua:**

Las uniones soldadas a tope de acuerdo con el tipo No 1 y 2 de la tabla UW-12 que no requieran radiografía total deben ser parcialmente examinadas.

**C) Sin radiografiado:**

El no examinar radiográficamente una unión es aceptado únicamente cuando el recipiente o alguna de sus partes es diseñado solamente para presión externa o cuando en el diseño se cumple con el inciso C de la especificación UW-12.

Además del ensayo radiográfico se practican otros ensayos los cuales se describen en el capítulo siguiente.

**UW-12 EFICIENCIA DE LAS UNIONES.**

La tabla UW-12 muestra la eficiencia de la unión E, que debe usarse en la fórmula de diseño, para uniones por procesos de soldadura por arco o gas.

La eficiencia de la unión depende del tipo de unión y del tipo de examen que se le practique.

A) El valor de E nunca debe ser mayor que el que se marca en la columna A) de la tabla y debe usarse en calculos de diseño para uniones soldadas a tope con radiografía total.



B) El valor de E no debe ser mayor que el dado en la columna B) de la tabla y debe usarse en los cálculos de diseño para uniones soldadas a tope con radiografiado parcial.

C) El valor de E no debe ser mayor que el dado en la columna C) de la tabla para el caso de uniones soldadas a tope sin radiografiado.

**TABLA UW-12**

**EFICIENCIAS MAXIMAS DE UNIONES PERMITIDAS PARA UNIONES SOLDADAS  
POR ARCO Y GAS.**

No	Descripción del tipo de unión	Limitaciones	Grado de Examen		
			A	B	C
1	Uniones a tope obtenidas con doble soldadura o por otro medio con el cual se obtenga la misma calidad en la soldadura interior y exterior.	Ninguna	1.0	0.85	0.70
2	Uniones simples soldadas a tope con tira de respaldo.	Ninguna	0.9	0.8	0.65
3	Uniones simples soldadas a tope sin tira de respaldo.	En uniones circunferenciales no mayores a 5/8 de espesor y 24 pulg. de diámetro.	-	-	0.8
4	Uniones a traslape, doble filete.	Uniones longitudinales no mayores de 3/8 y circunferenciales no mayores a 5/8 de espesor.	-	-	0.55

TABLA UW-12 (CONTINUA)

No	Descripción del tipo de unión.	Limitaciones	Grado de Examen.		
			A	B	C
5	Uniones a traslape filete simple con soldadura tapón.	<p>A) Juntas circunferenciales para unión de tapas no mayores de 24 pulg. de diámetro exterior a cuerpos no mayores de 1/2 pulg. de espesor.</p> <p>B) Uniones circunferenciales para unir cuerpos de chaquetas no mayores a 5/8 de espesor. Donde la distancia del centro de la soldadura tapón al borde de la placa no es menos de 1 1/2 veces el diámetro del barreno para la soldadura tapón.</p>	-	-	0.50
5	Unión a traslape filete simple sin soldadura tapón.	<p>Para la unión de tapas convexas a cuerpos no mayores a 5/8 pulg usando soldadura a filete solamente del lado interno del cuerpo, o para unir tapas a cuerpos no mayores de 24 pulg. de diámetro ext. y no mayores a 1/4 de espesor. Con filete en el lado exterior de la tapa solamente.</p>	-	-	0.45

### 5.3 ESFUERZOS RESIDUALES

Durante la soldadura ocurren esfuerzos térmicos debidos a la aplicación localizada del calor.

Una vez terminado el proceso de soldadura en la pieza soldada permanecen esfuerzos residuales y distorsiones.

Los esfuerzos térmicos, esfuerzos residuales y distorsión ocasionan fracturas y desacoplamiento en las uniones.

Los esfuerzos residuales en áreas vecinas a la soldadura pueden ocasionar fallas prematuras en recipientes o estructuras soldadas.

En las uniones soldadas se pueden presentar tres tipos de distorsiones:

Deformación transversal: A través de la soldadura.

Deformación longitudinal: A lo largo de la soldadura

Deformación angular: En la cual se desvía las piezas metálicas fuera de los planos horizontal y vertical.

Existen diversos métodos para controlar los esfuerzos residuales y la distorsión. En la fabricación de equipo para la industria química es particularmente importante el uso de tales métodos.

## DISEÑO PARA EL CONTROL DE LA DISTORSION

El diseño más económico para una unión soldada es aquel que requiere el menor número de partes, la mínima cantidad de soldadura y reduce al mínimo la distorsión.

La preparación de la unión es particularmente importante en uniones a tope. El diseño de la unión que requiera la mínima cantidad de metal de aporte es el más recomendado para disminuir la deformación transversal; por ejemplo el uso de un doble bisel en V en lugar de un bisel simple en V dará como resultado una reducción en la cantidad del metal de aporte.

Los procedimientos de ensamble tienen efectos significativos en el grado de distorsión, así mismo la técnica en la aplicación de la soldadura y la habilidad del operario pueden reducir la deformación significativamente.

En la mayoría de los casos es posible la aplicación de alguno de los métodos y técnicas que se describirán brevemente, sin embargo es necesario aplicar el criterio personal en cada caso cuando se diseña una unión.

En el procedimiento que se muestra en la figura 5.3 es necesario estimar la cantidad de deformación y colocar las piezas a unir en un ángulo que la compense.



Fig. 5.3

Es decir las piezas se colocan desalineadas deliberadamente de modo que la soldadura las haga moverse a su alineación correcta.

Las uniones a tope se pueden mantener rectas si se usan dispositivos de sujeción, un material de apoyo y se hace una preparación adecuada de los bordes. Fig 5.4

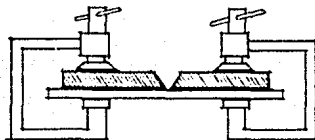


Fig. 5.4

El uso de contrafuertes o largueros ayuda a controlar la deformación. Fig. 5.5

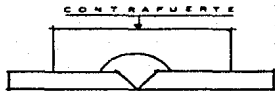


Fig. 5.5

En uniones muy largas puede usarse el método de soldadura en retroceso. Cada cordón de soldadura se hace en el sentido que indica la flecha de la figura 5.6 de modo que cada una termina en donde empezó la anterior.

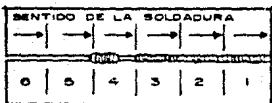


Fig. 5.6

En la figura 5.7 se ilustra una unión en T en la cual se alternan las soldaduras a uno y otro lado en el orden ilustrado.

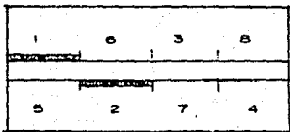


Fig. 5.7

#### TRATAMIENTOS EN CONJUNTOS DE PARTES SOLDADAS

Con objeto de reducir los esfuerzos residuales y la deformación se han desarrollado diversos tratamientos térmicos y mecánicos. los más comunmente usados son: Precalentamiento, recalado y poscalentamiento.

Estos tratamientos además de reducir los esfuerzos residuales pueden cambiar las propiedades metalúrgicas de las piezas soldadas.

Los tratamientos térmicos son necesarios para mantener o restaurar las propiedades del metal base afectadas por el calor de la soldadura.

Las propiedades del depósito de soldadura pueden ser mejoradas o modificadas mediante tratamientos térmicos.

En suma estos tratamientos pueden ser necesarios para relevar esfuerzos y producir la microestructura deseada en el metal base y en el material de aporte.

La magnitud de los cambios en el metal base determinará el tratamiento térmico subsecuente en función de la temperatura a la cual el metal es sujeto, el periodo de exposición, la composición del metal y la velocidad de enfriamiento.

La aplicación de tratamientos térmicos antes y después de la soldadura así como un buen diseño de la unión y una ejecución experimentada mejorarán considerablemente la soldabilidad, la resistencia a la corrosión y en general darán como resultado buenas uniones soldadas.

#### PRECALENTAMIENTO

El precalentamiento involucra una elevación de temperatura en el metal base o una parte del mismo antes de la soldadura. La temperatura que se alcanza durante este precalentamiento es muy variable en función principalmente del tipo de material que se está trabajando, en *Weldability of steels* (9) se dan amplias recomendaciones a este respecto.



La temperatura a la cual se calentará el metal base debe ser cuidadosamente controlada.

El mejor método de control se logra calentando en un horno la pieza manteniendo la temperatura deseada y usando resistencias eléctricas y mantillas de calentamiento.

En materiales de pared delgada pueden usarse lámparas radiantes o corrientes de aire caliente, todos los métodos deben contar con indicadores de temperatura tales como termocopios de superficie, termómetros o materiales indicadores que fundan a la determinada temperatura.

Cuando se utilicen sopletes para calentar deben prevenirse sobrecalentamientos localizados y residuos de combustión en las áreas que serán soldadas.

El precalentamiento es un medio efectivo para reducir fracturas, otra ventaja del precalentamiento es que reduce la velocidad de enfriamiento en el metal soldado, con el precalentamiento se reduce el gradiente de temperatura favoreciendo la estructura metalúrgica del acero.

Sin embargo el precalentamiento puede resultar perjudicial si no se controla dentro de límites preestablecidos, cuando la pieza a soldar se encuentra bajo la acción de esfuerzos severos, un calentamiento localizado puede incrementar tales esfuerzos y producir fracturas.

En general un precalentamiento a más de 500°F reduce la resistencia del material.

## POSTCALENTAMIENTO

El tratamiento térmico para relevado de esfuerzos se define como un calentamiento uniforme de una pieza a una temperatura adecuada, manteniéndola a esta temperatura por un periodo de tiempo determinado, seguido por un enfriamiento uniforme, un mal tratamiento térmico puede provocar cambios estructurales y dimensionales; por tanto el tratamiento térmico para relevado de esfuerzos debe desarrollarse dentro de un pequeño rango crítico.

En el código ASME para recipientes a presión se especifican temperaturas y tiempos a los cuales debe apegarse el tratamiento térmico para calderas y recipientes a presión.

### RELEVADO DE ESFUERZOS TERMICOS

Los esfuerzos residuales resultantes de la soldadura deben reducirse a un nivel por abajo del punto de cedencia del material, a la temperatura del tratamiento de relevado de esfuerzos.

Los esfuerzos residuales remanentes en un material después del relevado de esfuerzos dependen de la velocidad de enfriamiento.

Un enfriamiento desigual después del tratamiento de relevado de esfuerzos puede anular el valor del tratamiento térmico y provocar esfuerzos adicionales dentro de la unión soldada.

El porcentaje de relevado de esfuerzos internos depende del tipo de acero, su composición y resistencia a la cedencia.

Los efectos de diferentes tiempos y temperaturas se muestran en la gráfica S-A .

La temperatura alcanzada durante el precalentamiento tiene un efecto mayor en el relevado de esfuerzos que el lapso de tiempo que la pieza se mantiene a esta temperatura.

Cuando se usa un tratamiento térmico de relevado de esfuerzos para reducir esfuerzos residuales, deben tomarse en consideración otras propiedades importantes, la microestructura y la resistencia a la tensión y el impacto pueden afectarse por un tratamiento de relevado de esfuerzos, por tanto debe seleccionarse una temperatura que desarrolle propiedades deseables en el acero y se obtenga un máximo relevado de esfuerzos (Gráfica 5-B).

Fig. 5-A EFECTO DEL TIEMPO Y TEMPERATURA EN EL RELEVADO DE ESFUERZO.

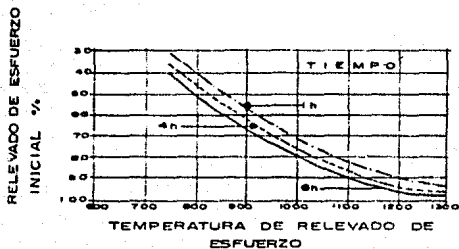
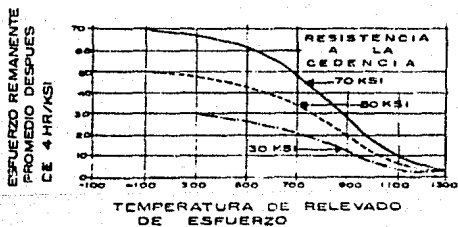


Fig. 5-B



# **CAPITULO VI**

## **ENSAYOS DE LA SOLDADURA**

## 6.0 ENSAYOS DE LA SOLDABILIDAD

En la industria química es de gran importancia garantizar la calidad en la fabricación de equipos, ya que de ello dependerá el éxito de un proyecto y la seguridad del personal que operará tal equipo.

Con el fin de asegurar la calidad de las uniones soldadas es necesario realizar algunas pruebas para retar dichas uniones y localizar posibles defectos. Seferían (11) clasifica los defectos de las soldaduras de acuerdo a la tabla 6.1 refiriéndose a procedimientos de unión con arco y por oxiacetileno.

Las pruebas o ensayos que se practican a la soldadura se dividen en dos clases generales:

- 1) Ensayos Destructivos
- 2) Ensayos no Destructivos

Un ensayo no destructivo es cualquier prueba que no daña el material ni altera su utilidad. Las pruebas no destructivas reconocidas aplicadas a uniones soldadas son las siguientes:

- i) Radiografía, utilizando rayos X o rayos Gamma.
- ii) Pruebas con ultrasonidos que revelan defectos por medio de ecos acústicos.
- iii) Pruebas Magnéticas, las cuales revelan los defectos por medio de campos magnéticos establecidos en la proximidad de los mismos.
- iv) Pruebas de líquidos penetrantes.

Además de estas existen también otras técnicas no destructivas aplicables principalmente a la soldadura de trabajos en serie, tal como la fabricación de tuberías.

La inspección visual es también un ensayo no destructivo.

Las pruebas destructivas se efectúan sobre muestras representativas de los materiales o uniones soldadas, los cuales se valorarán según los resultados de las pruebas que se realicen.

TABLA 6.1

CLASIFICACION DE LOS DEFECTOS DE LAS SOLDADURAS

NATURALEZA DEL DEFECTO		PROCEDIMIENTO DE UNION	OBSERVACIONES
FALTA DE PENETRACION	D. A.	OX. Y A. E.	FUSION INSUFICIENTE
FALTA DE ESPESOR	D. A.	OX. Y A. E.	FALTA DE METAL EN LA SUPERFICIE
MORDEDURAS	D. A.	OX. Y A. E.	SOBRE TODO EN OX.
BORDES DESNIVELADOS	D. A.	OX. Y A. E.	MALA PREPARACION DE LOS BORDES
POROS SUPERFICIALES	D. A.	OX	
GRIETAS	D. A.	OX. Y A. E.	FISURAS EXTERNAS
FALTA DE PENETRACION CON INCLUSION DE ESCORIA	D. A.	A. E.	LA ESCORIA SUELE ESCONDER AL DEFECTO
FALTA DE CONEXION EN LA SECCION	D. I.	OX. Y A. E.	SOLDADURAS EN X
PEGADURAS	D. I.	OX. Y A. E.	NO IDENTIFICABLE
BURBUJAS	D. I.	OX. Y A. E.	
INCLUSION DE ESCORIA	D. I.	A. E.	
FISURAS INTERNAS	D. I.	OX. Y A. E.	FISURAS MUY FINAS

NOTAS: OX. = PROCEDIMIENTO POR SOLDADURA OXIACETILENICA;  
 A. E. = PROCEDIMIENTO POR ARCO  
 D. I. = DEFECTO INTERNO  
 D. A. = DEFECTO APARENTE



## 6.1 ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS Y SUS LIMITACIONES

### INSPECCION VISUAL

La inspección visual esta limitada a la detección de fallas superficiales, sin embargo una concienzuda inspección visual aplicada antes, durante y después de la soldadura puede prevenir del 80 al 90% de las posibles fallas.

De hecho la capacidad para prevenir fallas antes de la soldadura es tal vez la característica más importante de la inspección visual:

Durante la inspección visual deben revisarse los siguientes puntos:

- Selección adecuada del procedimiento de soldadura.
- Limpieza.
- Temperatura.
- Preparación de la unión.
- Metal de aporte.
- Gas protector.
- Control de distorsión.

El producto soldado debe verificarse para comprobar sus características tales como:

- Precisión en las dimensiones de el conjunto de partes soldadas.
- Conformidad con las especificaciones de los dibujos.
- Aceptabilidad de las uniones estimando su apariencia, rugosidad, salpicaduras etc.

- La presencia de poros, bordes desnivelados, burbujas, fisuras, falta de penetración etc.

Algunos autores consideran al método de inspección mediante líquidos penetrantes como una parte del método de inspección visual y lo consideran solamente como una herramienta del mismo para resaltar e identificar fallas, este método se detalla a continuación.

#### INSPECCION POR LIQUIDO PENETRANTE.

La inspección por líquido penetrante es un método sensitivo, usado para localizar discontinuidades, tales como fisuras y poros, principalmente en materiales no porosos.

Por este método, las piezas a examinar se impregnan con un líquido muy humectante cuyo exudado se hace patente donde existe algún defecto, debido a sus propiedades fluorescentes. Para asegurar aún más la aparición del defecto por contraste, se utiliza un producto en polvo llamado reforzador o revelador.

Una composición típica de líquido penetrante es la siguiente:

Tetralina.....	12 ml
Xileno.....	12 ml
Propanol.....	1 ml
Colorante.....	0.25 g

Entre los productos reforzadores, puede utilizarse piedra pomez finamente pulverizada o piedra de sílice.

La imagen de la fluorescencia queda definida con la radiación violeta de una lámpara con longitud de onda de 3600 A con una potencia de 75 a 120 W.

La técnica de este control consta de las operaciones siguientes:

- a) Las piezas a examinar se limpian por cepillado metálico o quemado de las materias grasas o pinturas.
- b) Las partes a controlar se impregnan con el líquido detector dejándolas en reposo de 5 a 10 minutos para permitir su penetración en el defecto.
- c) Se quita el exceso de líquido que queda sobre la superficie, ya sea con un trapo seco o mediante un lavado con agua.
- d) Se deposita, por pulverización sobre la superficie a examinar, una capa ligera y uniforme de un producto reforzador.
- e) Al cabo de 5 o 10 minutos el líquido absorbido exuda apareciendo claramente el producto reforzador cuando se ilumina con luz ultravioleta.

#### Usos.

Este método es aplicable a materiales magnéticos sin embargo, es particularmente útil en materiales no magnéticos tales como el aluminio, magnesio, y aceros inoxidables austeníticos, los cuales no pueden ser examinados por inspección magnética.

### Ventajas.

La inspección por líquido penetrante es relativamente barata y razonablemente rápida. El proceso es simple y los operadores lo aprenden adecuadamente. En superficies razonablemente pulidas hay pocos falsos o indicaciones no relevantes, la interpretación es más fácil que en el método magnético en donde alguna anomalía puede dar indicaciones falsas.

### Limitaciones.

Su principal limitación consiste en que es necesario limpiar perfectamente la pieza de líquido penetrante ya que algunas substancias usadas como penetrantes pueden producir deterioro en la soldadura y el metal base y pueden afectar el tiempo de vida de la unión. Los penetrantes son difíciles de remover completamente de las discontinuidades y si resultan corrosivos al material o incompatibles con el uso que se dará al producto deben evitarse.

## CONTROL MAGNETICO

La aplicación de este método se limita a materiales magnéticos.

La pieza en estudio forma parte de un circuito magnético en el que la dirección de las líneas de fuerza es perpendicular a la posición de la unión. Todo defecto capaz de producir una variación de la permeabilidad en la pieza, crea al mismo tiempo una perturbación localizada en el circuito magnético. Esta perturbación puede hacerse visible materializando las líneas de fuerza sobre la superficie de la unión mediante sustancias ferromagnéticas que se extienden sobre ella:

- Por pulverización con limadura de hierro o de óxido de hierro;
- Por aspersión de una suspensión; de hierro o de un material ferromagnético, en petróleo.

La sensibilidad del método depende de un gran número de factores:

- Forma y dimensión de los defectos;
- posición y profundidad del defecto;
- intensidad del campo magnético;
- dimensiones del polvo magnético;
- y por último y de gran importancia, la preparación de las piezas a examinar.

El método parece ser particularmente sensible para los defectos de discontinuidad tales como fisuras, incluso muy finas. Por otra parte, puede verse que la disminución de la anchura del defecto, colocado según la dirección del campo, produce la caída de la fuerza de orientación de la limadura, primero lenta y después

rápido, favoreciendo la fuerza de atracción. Así llegamos al límite que define la anchura mínima del defecto posible de descubrir, que es del orden de  $10^{-4}$  a  $10^{-5}$  cm. La sensibilidad relativa del método todavía aumenta más cuando el defecto se coloca perpendicularmente al campo magnético y próximo a la superficie.

Cuando el tamaño del polvo disminuye, con el resto de factores constantes, la fuerza de orientación aumenta con respecto a las otras, aumentando la sensibilidad. Por otra parte no se mejora el espectro magnético reduciendo el tamaño del grano por debajo de la anchura mínima del defecto posible de descubrir.

Por último la sensibilidad del ensayo está ligada, sobre todo, al grado de pulido de las superficies.

## RADIOGRAFIA CON RAYOS X

La inspección radiográfica es conveniente para todos los materiales sin embargo la aplicabilidad de la radiografía, para inspeccionar uniones soldadas depende en gran medida de la localización de la unión, la configuración de la unión y el espesor del material.

Cuando los rayos X atraviesan un cuerpo opaco, son parcialmente absorbidos; la intensidad emitida  $I$  esta ligada a la intensidad incidente  $I_0$  de la radiación, para una sustancia determinada por la relación:

$$I = I_0 e^{-\mu x} \quad 6.1$$

Siendo:

$x$  el espesor atravesado,

$\mu$  el coeficiente de absorción del material, que es mayor cuanto mayor sea la densidad del cuerpo irradiado, es decir, que un cuerpo es más transparente a los rayos X cuanto menos denso sea.

$\mu = 0.11$  para el aluminio.

$\mu = 0.304$  para el hierro.

$\mu = 0.495$  para el plomo.

Así pues si colocamos una placa fotográfica detrás de una placa homogénea de espesor  $x$  sobre la que se hace incidir un haz de rayos X paralelos, se obtendrá, después de un cierto tiempo de exposición, un ennegrecimiento uniforme tanto más fuerte cuanto que la sustancia sea menos absorbente

Si la pieza encierra un defecto, por ejemplo un hueco de espesor  $d$  (Fig. 6.1) la intensidad de los rayos emitidos que atraviesan el defecto será:

$$I' = I_0 e^{-\mu(x-d)}$$

La intensidad de los rayos emitidos que atraviesan el espesor  $x$ , donde no existe defecto, será:

$$I = I_0 e^{-\mu x}$$

la relación:

$$\frac{I'}{I} = e^{\mu d}$$



Fig. 6.1

depende de la naturaleza del material ( $\mu$ ) y del espesor del defecto ( $d$ ). Así pues la imagen del defecto se destacará tanto más cuanto que la relación  $I'/I$  sea mayor, es decir cuando lo sean  $\mu$  y  $d$ .

La sensibilidad del método depende de un gran número de factores y en particular:

- de la nitidez de las imágenes;
- del contraste;
- de la posición y dimensiones de los defectos;
- de la potencia del equipo y condiciones de operación, tiempo de exposición, calidad de la película etc.



### Ventajas.

La radiografía puede detectar:

- Discontinuidades, penetración inadecuada, refuerzo excesivo y cualquier falla que pueda ser detectada por inspección visual postsoldadura.
- Discontinuidades superficiales que podrían ser detectadas por métodos magnéticos o de líquido penetrante .
- Discontinuidades internas que no pueden ser detectadas por otros métodos.
- La radiografía es más sensitiva a discontinuidades paralelas a la radiación mientras que la inspección ultrasónica es más sensitiva a discontinuidades perpendiculares a las ondas sonoras.

### Limitaciones.

- El costo de la radiografía es alto y el método es complejo comparado con los anteriores.
- Las discontinuidades deben ser más o menos paralelas a los rayos X. Esto no es problema en el caso de incrustaciones o poros porque estos tienen generalmente contornos redondeados. Sin embargo las fisuras, fusión incompleta y laminaciones deben estar paralelas a la radiación para ser detectadas.
- El uso de la radiografía puede resultar peligroso si no se toman las medidas de seguridad adecuada y se somete a los operadores a exposiciones excesivas.

## INSPECCION ELECTROMAGNETICA

La inspección electromagnética requiere que la parte a ser probada sea sujeta a la influencia de un campo magnético externo.

La prueba detecta discontinuidades superficiales o subsuperficiales en cualquier material conductor eléctrico. El campo electromagnético induce corrientes parásitas en la parte probada y también establece campos magnéticos si la parte es magnética .

El método consiste en que un generador de corriente continua haga pasar por cada uno de los cordones de soldadura a examinar y por medio de escobillas de contacto una corriente de alta intensidad, 2500 A , bajo una tensión de 1 V. Las líneas de fuerza del campo magnético así creado, son interrumpidas por una bobina situada situada entre las escobillas, a pequeña distancia de los cordones de soldadura.

Cuando se presenta un defecto queda perturbado el flujo que atraviesa la bobina, lo que da origen a la inducción de una corriente en ella. Esta corriente amplificada es registrada por medio de aparatos apropiados.

### Ventajas.

Las tres ventajas más significativas de el método electromagnético sobre otros métodos son:

- Puede ser completamente automático logrando una inspección a alta velocidad y un costo relativamente bajo.

- Las inducciones producidas son proporcionales al tamaño real de la discontinuidad, de este modo la prueba puede facilitar una clasificación y evaluación de la falla.
- No es necesario tocar la pieza a probar, basta con una cierta proximidad.

#### Limitaciones.

En la preparación del material a ser inspeccionado, cualquier suciedad que pueda tener características eléctricas o magnéticas debe ser removida.

Antes de empezar la prueba debe calibrarse el instrumento contra una referencia patrón.

El diseño de la bobina que produce el campo magnético debe ser apropiado para el contorno del componente a ser probado.

Cuando se inspeccionan soldaduras, en productos tubulares, la bobina se construye de tal manera que circunde al material.

El límite para penetración de corrientes parásitas en la mayoría de los metales no magnéticos es aproximadamente 6mm (1/4 pulg.), bajo la superficie.

## INSPECCION POR ULTRASONIDO

La utilización de ondas ultrasónicas para el control de defectos en piezas metálicas data de varios años, pero ha sido recientemente, con el desarrollo de la electrónica cuando se ha generalizado su empleo para el control de las soldaduras.

El procedimiento consiste en hacer atravesar la pieza por una energía ultrasónica, y definir la energía disipada debida a la presencia de un extraño o de un defecto en el interior de la pieza. El sistema va provisto de dos palpadores, uno de los cuales emite la energía ultrasónica y el otro, el receptor, capta la fracción de energía no absorbida. Para el control de la soldadura se pueden utilizar tres métodos en la práctica.

a) El método por transmisión. - En este método la pieza a examinar se coloca entre los dos palpadores, el emisor E y el receptor R y la radiación atraviesa dicha zona (Fig. 5.2).

Si en el recorrido de las ondas se presenta algún defecto, una parte de la energía se pierde, y el receptor no recibe más que una fracción de la energía emitida.

b) El método por reflexión. - Utiliza el rayo reflejado sobre la cara opuesta de la pieza o sobre el defecto. En este caso, la radiación emitida, se dirige oblicuamente y la onda reflejada sigue las leyes de la reflexión de la radiación luminosa, igualdad entre los ángulos de incidencia y reflexión. Si sobre el trayecto de la radiación se presenta un defecto, la reflexión se hace en parte sobre estos obstáculos, y la radiación total reflejada, captada por el reflector R, estará compuesta por una fracción de las ondas reflejadas sobre la cara opuesta de la pieza B y otra

fracción de las ondas reflejadas sobre el defecto. Por tanto el palpador R recibe dos trenes de ondas que se suman algebraicamente. (Fig. 6.3).

c) El método por reflexiones múltiples.- Se basa en el método anterior, pero la energía ultrasónica sufre varias reflexiones antes de llegar al receptor R. Si un defecto se encuentra en el trayecto, la energía es absorbida por reflexiones sucesivas sobre él y el receptor R, recibe una pequeñísima fracción de la energía emitida por E. (Fig. 6.4).

En todos estos métodos, obtener un contacto íntimo entre los palpadores y la pieza es una condición indispensable si se quiere conseguir una nitidez perfecta en la recepción. El estado de la superficie de las piezas es un factor muy importante en este tipo de control. Con el fin de mejorar el rendimiento de los diversos métodos expuestos se interpone, entre la pieza y los palpadores, una película líquida (aceite, parafina o agua) o bien un diafragma flexible que se adapta íntimamente a las irregularidades de la superficie del metal.

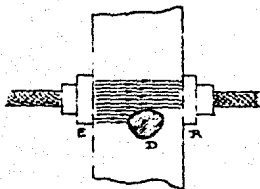


Fig. 6.2 Método por transmisión

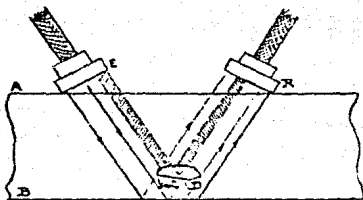


Fig. 6.3 Método por reflexión

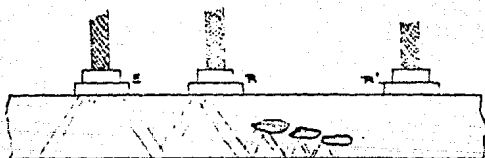


Fig. 6.4 Reflexiones Múltiples

## 62 ENSAYOS DESTRUCTIVOS

Este tipo de ensayos se practica principalmente en la fabricación en serie, cuando todas las unidades son idénticas.

Se realizará sobre algunas muestras del conjunto total, las cuales serán sometidas a diferentes tipos de ensayos, dependiendo de los esfuerzos que vayan a soportar y las condiciones de trabajo.

Este tipo de ensayo es forzosamente limitado, y depende, en primer lugar, de los costos de construcción.

Existen gran variedad de ensayos destructivos, y la selección del método más adecuado dependerá, de las características de cada proceso en particular. En el caso de la industria química es necesario asegurarse de la resistencia de la unión ante los diferentes productos químicos a que estará expuesta.

Los ensayos destructivos se aplican también para calificar a los soldadores, y se aplican tres tipos de pruebas para determinar la destreza del operador.

- 1.- Ensayos de resistencia a la tracción de la soldadura.
- 2.- Ensayos de flexión con guía para determinar la ductilidad de la soldadura.
- 3.- Ensayos sobre probetas soldadas en angulo para probar que no existen grietas ni fusión incompleta y que el contorno de la soldadura es satisfactorio.

La calificación de soldadura a tope exige:

1. - Una prueba de doblado con la raíz de la soldadura en la cara exterior, la raíz trabaja a tracción.
2. - Una prueba de doblado con la raíz de la soldadura en la cara interior, la raíz trabaja a compresión.
3. - Un ensayo de flexión lateral.
4. - Exámenes de rayos X (Revisado, en la primera parte del capítulo)

#### ENSAYO DE FLEXION GUIADA PARA LA DETERMINACION DE LA DUCTILIDAD DE UNA SOLDADURA.

Una descripción detallada de este ensayo se encuentra en la norma ASTM E190-61T. La matriz utilizada para el ensayo de flexión guiada se muestra en la Fig. 6.5.

La muestra soldada a ensayar deberá ser de un ancho de 3.81 cm. y debe quitarse cualquier refuerzo de la soldadura. La muestra se coloca horizontalmente a través de los soportes de la matriz hembra con la soldadura en la mitad del intervalo vacío. La matriz macho es obligada a descender sobre la probeta soldada hasta que la muestra se dobla en forma de U, hasta el punto de que un alambre de 1/32 de pulg. no puede ser insertado entre la probeta y cualquier punto de la curvatura de la matriz macho del mecanismo. Entonces se examina la superficie de la probeta. Cualquier probeta que después del ensayo presenta grietas o fracturas que sobrepasa



3.15mm (1/8 pulg.) en longitud se considera que no ha resistido el ensayo. Las fracturas o grietas de los extremos de la probeta no se tienen en cuenta. La fig. 6.4 detalla este sistema.

En un ensayo de flexión guiada superior, la soldadura se coloca en el lado convexo de la zona doblada. En un ensayo de flexión guiada inferior la soldadura queda en la zona cóncava de la probeta. En un ensayo de flexión guiada lateral, los mayores defectos aparecen en la parte convexa.

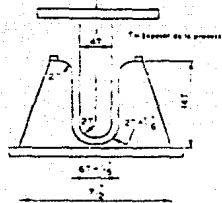


Fig. 6.5 Matrices macho y hembra utilizadas en los ensayos de flexión guiada.

## ENSAYOS DESTRUCTIVOS PARA SOLDADURAS EN ANGULO.

Quizá el ensayo más común para soldaduras en ángulo sea el ensayo de rotura. Un extremo de la probeta soldada en ángulo se introduce en una prensa sujetadora. El otro extremo se sujeta en las mordazas de una llave inglesa que se emplea para romper la soldadura. La dirección de plegado es tal que la raíz de la soldadura queda sometida a tracción y la cara externa a compresión. Después de que la soldadura se rompe o queda plana, se examina la superficie de la fractura para ver si se ajusta a las normas siguientes:

1. - La soldadura debe presentar penetración en las dos chapas.
2. - No debe existir señales de grietas, fusión incompleta de la raíz o bolsas de gas.
3. - Los extremos de la soldadura en ángulo deben ser de igual longitud con una variación menor de 1.5 mm.
4. - No deben existir mordeduras.
5. - La concavidad o la convexidad de la soldadura no deben de exceder de 1.5 mm.

## ENSAYO DE SEVERIDAD TERMICA CONTROLADA (ENSAYO CTS)

Este es un ensayo de sensibilidad a la rotura del metal base de la soldadura y por ello se aplica únicamente a los aceros con tendencia a la rotura, tales como los aceros de baja aleación.

La descripción del ensayo CTS se indica en la figura 6.6. Cada probeta contiene dos soldaduras en ángulo, en realidad trasladadas. Las placas se someten primero a un mecanizado y después se atornillan juntas. Entonces se efectúan las dos soldaduras de anclaje. Estas se utilizan para mantener las dos placas juntas con la máxima rigidez para que las soldaduras siguientes no sean capaces de producir y relajar tensiones. En la figura, las dos placas de prueba son de 6.3 mm de espesor. De las dos soldaduras, una tiene un coeficiente de susceptibilidad térmica de 2 y la otra de 3. Se construye una serie normalizada de probetas, una probeta de placa de 6.3 mm, otra de 12.6mm y una tercera de 26.4mm. Con estas tres probetas se tiene un intervalo de susceptibilidad térmica de 2 a 12. Las soldaduras tienen que tener una ala de 6.4mm y el calor suministrado a las soldaduras tiene que ser de 32,000 J/pulg. Como los aceros propensos a la formación de grietas son soldados normalmente con varillas 7018, este tipo de varilla es el utilizado normalmente en el ensayo CTS.

El ensayo CTS se utiliza para determinar las temperaturas de precalentamiento o poscalentamiento al soldar. Si el material muestra grietas con un coeficiente de susceptibilidad térmica de 2 se le califica como muy propenso a la formación de grietas. Si no se producen grietas incluso con un coeficiente máximo de susceptibilidad térmica de 12, entonces no existe riesgo de formación de grietas durante la soldadura. El examen de las soldaduras de ensayo se verifica simplemente mediante un corte de las mismas.

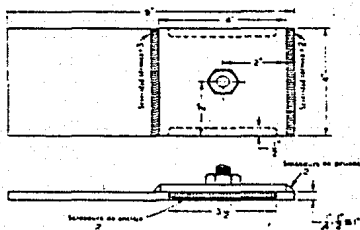


Fig. 6.6 Ensayo de severidad térmica controlada

Además de los ensayos que aquí se describen existen otros muchos, y la selección adecuada del ensayo que deberá aplicarse a un determinado equipo o sistema será en muchas ocasiones responsabilidad del Ingeniero Químico que se encuentre encargado del proyecto.

En este capítulo se describen con más detalle los métodos no destructivos ya que son los más ampliamente usados en la industria para probar equipo, ya que el uso de ensayos destructivos resultaría sumamente costoso. Este tipo de ensayos se llega a realizar para calificar al personal aplicándolo a pequeñas piezas.

# CONCLUSIONES

## CONCLUSIONES

A lo largo del presente trabajo se han desarrollado de manera breve diversos métodos de unión de piezas metálicas mediante soldadura, así mismo se han descrito los materiales auxiliares que se emplean en dichos métodos. Resulta de gran importancia para el Ingeniero Químico encargado del diseño y construcción de equipo, el conocimiento adecuado de tales sistemas, para poder seleccionar el mejor para cada caso particular, debiendo tomar en cuenta factores técnicos y económicos.

La aplicabilidad de las técnicas de soldabilidad en la industria Química es enorme, ya que además de ser imprescindible en la fabricación de equipo, montaje e instalaciones, puede emplearse también en situaciones de mantenimiento preventivo y correctivo, consiguiendo en muchas ocasiones recuperar piezas o reconstruirlas logrando así importantes ahorros.

De gran valor resulta el conocimiento de las normas internacionales que se emplean en soldadura, ya que aplicándolas correctamente aseguramos trabajos de calidad.

La mayor parte de las soldaduras debe ajustarse a ciertas especificaciones; el Ingeniero Químico debe supervisar el desarrollo del proceso y continuamente tomar decisiones sobre la calidad del trabajo, por lo mismo el Ingeniero Químico que trabaje en este campo de la industria tiene que estar familiarizado con las técnicas de fabricación y montaje empleadas en soldadura y en particular conocer las normas según las cuales deben efectuarse dichas operaciones.

En el presente trabajo, no se intenta hacer un estudio profundo de todos los aspectos de la soldabilidad, sino más bien proporcionar una guía que nos permita, seleccionar adecuadamente el método, los materiales y las condiciones de operación más convenientes para cada caso que se presente. Podemos resumir como los criterios de selección más importantes los siguientes:

Espesor del material a unir. Aunque casi cualquier proceso de soldadura puede ser usado para unir cualquier espesor de material, Deben emplearse procesos específicos o combinaciones de ellos para asegurar que la unión soldada resulte óptima en apariencia y propiedades para un determinado espesor. Algunos métodos de baja temperatura son mejores para materiales delgados, mientras que los métodos de alta temperatura son eficientes para materiales gruesos.

Número de soldaduras a realizar. Cuanto más aumente el número de un mismo tipo de uniones los procesos automáticos serán más recomendables y económicos.

Sin embargo es necesario tomar en cuenta la localización de la unión.

Tipo de material a unir. Ciertos metales ejm. Titanio y Aluminio son comunmente soldados usando gases protectores, entonces en estos metales se reduce la formación de óxidos.

También debe considerarse el costo y la disponibilidad de consumibles para un material específico.

Habilidad de los soldadores y reproducibilidad de las uniones. La falta de soldadores calificados o el costo de la mano de obra pueden favorecer la elección de un sistema automático.

También si es necesario una muy alta calidad y consistencia, y especialmente si deben realizarse un gran número de soldaduras iguales, los sistemas automáticos pueden resultar con frecuencia más rápidos y económicos.

En la actualidad es imprescindible tener un control adecuado de la calidad, en el caso de la soldabilidad es posible aplicar una gran variedad de ensayos que garanticen la eficiencia de nuestras uniones, algunos de los tipos de ensayos más comunes se describen en el capítulo VI.

Sin embargo antes de aplicar un tipo determinado de ensayo es necesario hacer un estudio, visualizando claramente el objetivo que se desea alcanzar, el grado de aseguramiento requerido y tener presente en todos los casos el aspecto económico que en la actualidad cobra vital importancia.



# APENDICE

## SECTION IX — PART QW, WELDING

 QW-253  
 WELDING VARIABLES PROCEDURE SPECIFICATIONS (WPS)  
 Shielded Metal-Arc Welding (SMAW)

Paragraph	Brief of Variables	Essential	Supplementary Essential	Nonessential
QW-402 Joints	.1 $\phi$ Groove design			X
	.4 — Backing			X
	.11 = Retainers			X
QW-403 Base Metals	.5 $\phi$ P-Number Impact		X	
	.6 $\ddagger$ Limits impact		X	
	.7 $\ddagger$ Limits > 8 in.	X		
	.8 $\phi$ $\ddagger$ Qualified	X		
	.9 Pass $\ddagger$ limits	X		
	.11 $\phi$ P-Number (except.1)	X		
QW-404 Filler Metals	.13 $\phi$ P-Number Gr. No.	X		
	.4 $\phi$ P-Number	X		
	.5 $\phi$ Chem. comp.	X		
	.6 $\phi$ Diameter			X
	.7 $\phi$ Diam. > 1/4 in.		X	
QW-405 Positions	.12 $\phi$ SFA spec.		X	X
	.30 $\phi$ $\ddagger$ QW-451	X		
	.1 $\phi$ Position			X
QW-406 Preheat	.2 $\phi$ Up or down		X	
	.3 $\phi$ $\ddagger$ Vertical welding			X
	.1 $\phi$ < 100°F	X		
QW-407 PWHT	.2 $\phi$ Preheat		X	X
	.3 > Max. interpass		X	
	.1 $\phi$ PWHT	X		
	.2 $\phi$ PWHT (T & T range)		X	
QW-409 Electrical Characteristics	.3 $\ddagger$ , Sol. PWHT (P.No. 8)	X		
	.4 $\ddagger$ Limits PWHT	X		
	.1 $\phi$ 1 or $\phi$ 1 & E		X	
QW-410 Technique	.8 $\phi$ Type 1 or $\phi$ 1 & E range			X
	.1 $\phi$ Bead technique			X
	.4 $\phi$ Method rearing			X
	.6 $\phi$ Method back gouge			X
	.25 $\phi$ Manual or automatic			X
.26 $\ddagger$ Peening				X

## Legend:

$\phi$  Change      + Addition      > Increase      † Uphill      - Forehand  
 $\ddagger$  Thickness      - Delete      < Decrease      ‡ Downhill      = Backhand

PROCEDURE QUALIFICATIONS

QW-252

QW-252  
WELDING VARIABLES PROCEDURE SPECIFICATIONS (WPS)  
Oxyfuel Gas Welding (OFW)

Paragraph	Brief of Variables	Essential	Supplementary Essential	Nonessential
QW-402 Joints	.1 $\phi$ Groove design			X
	.2 $\pm$ Backing cham.			X
	.3 $\phi$ Backing cham.			X
	.10 $\phi$ Root spacing			X
QW-403 Base Metals	.1 $\phi$ P-Number	X		
	.2 Min. I qualified	X		
	.13 $\phi$ P-Number Gr. No.	X		
QW-404 Filler Metals	.3 $\phi$ Size			X
	.7 $\phi$ F-Number	X		
	.5 $\phi$ Chem. comp.	X		
	.12 $\phi$ SPA spec.	X		
QW-405 Positions	.1 + Position			X
QW-406 Preheat	.1 $\phi$ < 100°F			X
QW-407 PWHT	.1 $\phi$ PWHT	X		
QW-408 Gas	.7 $\phi$ Type fuel gas	X		
QW-410 Technique	.1 $\phi$ Bead technique			X
	.2 $\phi$ Flame character			X
	.4 $\phi$ = Technique			X
	.5 $\phi$ Method cleaning			X
	.26 $\pm$ Peening			X

Legend:

$\phi$  Change    + Addition    > Increase    ↑ Uphill    - Forehand  
 r Thickness    - Delete    < Decrease    ↓ Downhill    = Backhand

# BIBLIOGRAFIA

## BIBLIOGRAFIA

- 1) W. J. PATTON. CIENCIA Y TECNICA DE LA SOLDADURA. EDITORIAL URMO, ESPAÑA (1975).
- 2) R. G. BAKER. THE WELDING OF PRESSURE VESSEL STEELS. CLIMAX MOLIBDENUM CO. LTD. VLIERS HOUSE 41/47 LONDON ENGLAND.
- 3) KENNEDY GOWER A. WELDING TECHNOLOGY HOWARD W. SAMS & CO. INC. U. S. A (1978).
- 4) LITTLE RICHARD L. WELDING & WELDING TECHNOLOGY Mc GRAW HILL USA (1973).
- 5) A. W. S. INC. A. W. S. COMMITTEE ON METHODS OF INSPECTION. WELDING INSPECTION USA (1968).
- 6) HOUDLCROFT P. T. WELDING PROCESSES. CAMBRIDGE UNIVERSITY PRESS ENGLAND (1967).
- 7) LINNERT GEORGE E. WELDING METALLURGY. AMERICAN WELDING SOCIETY USA (1965).
- 8) SCHIMOKO PAUL & HANS A. HORN. TRATADO GENERAL DE SOLDADURA. EDITORIAL GUSTAVO GILI S. A. ESPAÑA (1969).
- 9) STOUTD ROBERT D. & DOTY W. D' ORVILLE. WELDABILITY OF STEELS. WELDING RESEARCH COUNCIL. USA (1971).
- 10) A. W. S. INC. RESISTANCE WELDING COMMITTEE. RESISTANCE WELDING. USA (1973).
- 11) SEFERIAN D. LAS SOLDADURAS. TECNICA-CONTROL SOLDABILIDAD DE LOS METALES. URMO S. A DE EDICIONES BILBAO ESPAÑA (1977).
- 12) BECERRA H. & ABRAJAN R. DISEÑO DE RECIPIENTES DE PROCESO. MEXICO, 1965.
- 13) A. S. M. E. BOILER AND PRESSURE VESSEL CODE. U. S. A. 1977
- 14) A. W. S. WELDING HANDBOOK. U. S. A. 1973
- 15) BAUMEISTER THEODORE ET. AL.. MARKS MANUAL DEL INGENIERO MECANICO

- 16) MESSER GRIESHEIM . GUIA DE ELECTRODOS. MEXICO 1985.
- 17) EUTECTIC-CASTOLIN. MANUAL DE PROCESOS Y SISTEMAS . MEXICO 1984.
- 18) JONES E. ET.AL. SELECTING ARC WELDING PROCESS PART-1 . CHEMICAL ENGINEERING, VOL. 93 No. 5. MARCH 3 1986.
- 19) JONES E. ET.AL. . SELECTING ARC WELDING PROCESS PART-2 . CHEMICAL ENGINEERING, VOL. 93 No 5 MARCH 31 1986.
- 20) G. RIBAUD Y D. SEFERIAN. ESTUDIO DE LAS LLAMAS DE ALTA TEMPERATURA, SOUDURE AUTOGENE, VOL. 107, 1954, PAG. 130.
- 21) P. MONTAGNE , CALCUL NUMERIQUE DES EQUILIBRES CHIMIQUES EN PHASE HOMOGENE, TESIS DOCTORAL, BAUTHIER-VILLARS, PARIS 1934.
- 22) HOWARD B. CARY, MODERN WELDING TECHNOLOGY, PRENTICE HALL INC. U.S.A. 1979.
- 23) METALS HANDBOOK, VOL 6, WELDING, BRAZING AND SOLDERING, ASME U.S.A. 1978.
- 24) HORWITZ H. , SOLDADURA APLICACIONES Y PRACTICA, REPRESENTACIONES Y SERVICIOS DE INGENIERIA S.A. MEXICO, 1984.
- 25) ZINGER F. Y ANDREW P. , RESISTENCIA DE MATERIALES, HARLA, 3a ED. MEXICO 1982.