UTN
1292

Soldadura

La metodología de trabajo en los prácticos de soldadura será determinar en cada caso:

- El proceso de soldadura a usar
- El aporte adecuado
- La necesidad de precalentar el material base y la temperatura de precalentamiento, si fuese necesaria.
- El diseño de junta
- La secuencia de soldadura
- Los parámetros de soldadura
- Los ensayos necesarios para garantizar la calidad del procedimiento realizado.

Material Base.

En la aplicación industrial de Procesos de Soldadura, el Material base a soldar es lo primero que se debe tener en cuenta, es decir, que el dato fundamental para determinar el Procedimiento de soldadura es conocer que se va a soldar.

La calidad del Material base puede estar especificada en el diseño (Planos, especificaciones técnicas, etc.), en otros casos, como en soldaduras de mantenimiento o reparación, donde muchas veces no se conoce la calidad del Material a soldar, se debe solicitar un análisis químico para conocer la calidad del material.

En el caso mas general, que es la soldadura de aceros, el grado de soldabilidad del material está dado por el porcentaje de Carbono y elementos de aleación (Ver tema La Metalurgia y Soldabilidad del Acero - Fotocopia adjunta).

Selección del Proceso de Soldadura.

El proceso de soldadura puede ser Manual, Semiautomático (MIG / MAG), Automático (Arco Sumergido), TIG, Plasma, etc. Cada uno de ellos tiene características particulares en cuanto a equipo, protección del metal líquido durante su transferencia a la pileta líquida, variables de trabajo, etc. (Ver cuales son las características de los distintos procesos en Apunte Ing Cavallo / Apunte de CONARCO (Soldadura definición y conceptos) o Libro Técnica y practica de la soldadura de Joseph W. Giachino - William Weeks).

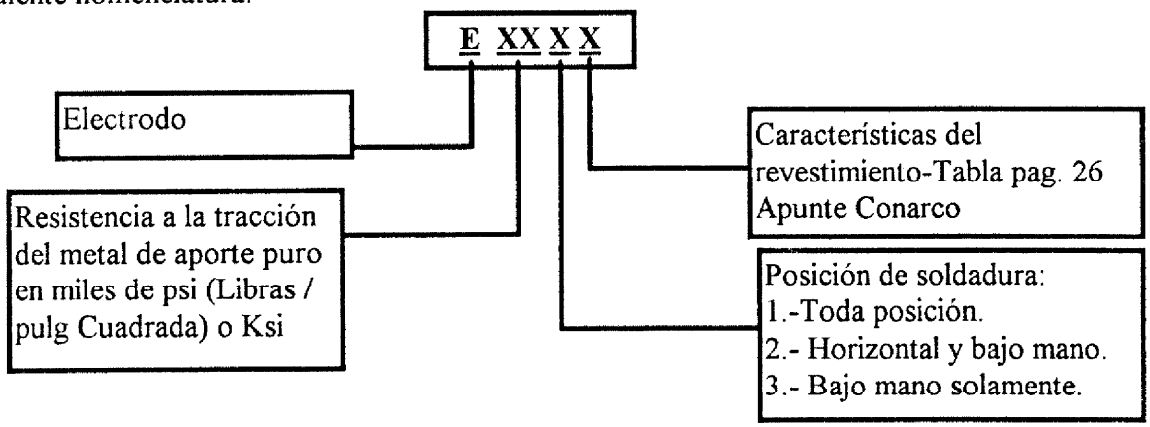
Selección del Aporte o Electrodo.

La ejecución de cualquier soldadura produce la fusión localizada de material base y del aporte. Ambos forman lo que se llama la pileta líquida que luego de solidificada se convierte en el cordón de soldadura. Este cordón de soldadura deberá por lo menos tener iguales propiedades mecánicas que el material base, para ellos debemos elegir un aporte que tenga igual o mayor resistencia a la tracción que el metal que vamos a soldar. Excepto en los casos

que la resistencia mecánica no sea importante e interese por ejemplo sellar una grieta o dar estanqueidad a una pieza como en las soldaduras de fundiciones de hierro, blocks de motor, tapas de cilindros, etc.

Los aportes o electrodos están normalizados de acuerdo a distintas normas, la mas utilizada es la Norma **AWS** (**A**merican **W**elding Society). La misma tiene para cada tipo de aporte una nomenclatura especial Normalizada. Ver Apunte de CONARCO (Soldadura definición y conceptos.

Por ejemplo, la norma AWS 5.1 ıbre los aporte para soldadura manual de acuerdo a la siguiente nomenclatura:



Es decir, un electrodo E 7018, significa que el material de aporte puro que se produce con ese electrodo tiene como minino 70.000 psi de resistencia a la tracción, que es apto para soldar en toda posición y el N° 8, indica que puede trabajar con corriente alterna o continua Polaridad positiva, tiene escoria básica, energía de arco media, penetración media y un de un 30 a 50 de polvo de hierro en el revestimiento, lo que aumenta su rendimiento. Para la selección de electrodos se utiliza el catalogo de Soldadura Conarco de pagina 15 a 51.

La nomenclatura para los aportes para procesos semiautomáticos con MAG y MIG esta definida en AWS 5.18 y 5.20 (Ver Catalogo Conarco de pagina 247 a 251). Para la selección de este tipo de aportes usar Catalogo Conarco de pagina 143 a 163.

La nomenclatura para los aportes para procesos automáticos (Arco Sumergido) esta definida en AWS 5.17 (Ver Catalogo Conarco de pagina 245 a 246). Para la selección de este tipo de aportes usar Catalogo Conarco de pagina 165 a 207.

Calculo de la temperatura de Precalentamiento.

Para determinar la temperatura de precalentamiento del material base existen varios métodos, nosotros utilizaremos el de la **B.W.R.A**.(**B**ritish **W**elding **R**esearch **A**ssociation), que permite apreciar, desde el punto de vista didáctico, las variables mas importantes a tener en cuenta para evitar la fragilización en frío en procesos de soldadura de aceros al carbono y de baja aleación. Este método tiene en cuenta los siguientes factores:

- Composición química del acero, determinando el **Carbono Equivalente y el Indice de Soldabilidad**

- Forma de empalme y espesor de las piezas, lo que define el **Número de Severidad Térmica - N.S.T.**
- Naturaleza del electrodo.

Para comprender su aplicación veremos un ejemplo, supongamos la soldadura de un material de espesor 40 mm, cuya composición química es %C= 0.20, %Mn= 0.98, %Si= 0.45, %P=0.035 y %S= 0.040. La soldadura es a filete.

1.- La determinación del Carbono Equivalente e Indice de Soldabilidad se realiza a través de la siguiente formula.

$$C.E = \%C + \frac{\%Mn}{20} + \frac{\%Ni}{15} + \frac{\%Cr + \%Mo + \%V}{10}$$

Para nuestro ejemplo **C.E.= 0.265** / Si el aporte será un electrodo manual con revestimiento celulósico determinamos el Indice de Soldabilidad con la Tabla II.

Tabla II
Indice de Soldabilidad

Carbono Equivalente C. E.		
Para electrodos rutílicos y celulósicos	Para electrodos básicos	Letra que define el Indice de Soldabilidad
Hasta C.E.=0.20	Hasta C.E.=0.25	A
De 0.21 a 0.23	De 0.26 a 0.30	B
De 0.24 a 0.27	De 0.31 a 0.35	C
De 0.28 a 0.32	De 0.36 a 0.40	D
De 0.33 a 0.38	De 0.41 a 0.45	E
De 0.39 a 0.45	De 0.46 a 0.50	F
> 0.45	> 0.50	G

El Indice de Soldabilidad en este caso es **"C"**

2.- Determinación del Número de Severidad Térmica - **NST:**

Para determinar el NST se tiene en cuenta el espesor del Material a soldar y los caminos de disipación de calor. Para su calculo se considera que un espesor de 6 mm es una unidad de **NST,** entonces se realiza una suma que tiene tantos términos como caminos de disipación, siendo cada término igual al espesor del material en cada camino de disipación dividido por 6 que es el valor unitario.

En nuestro caso $\frac{40}{6} + \frac{40}{6} + \frac{40}{6} = 19.98$

NST = 19.98

3.- Conociendo el Indice de Soldabilidad y el Número de Severidad térmica entramos en la tabla III y determinamos la temperatura de precalentamiento.

Soldadura a filete tenemos 3 caminos de disipación del calor.

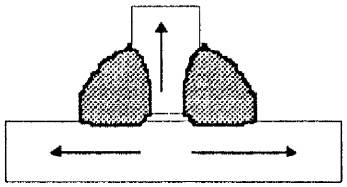


Tabla III
Temperatura de precalentamiento

Número de Severidad Térmica NST	Indice de soldabilidad IS	Temperatura de Precalentamiento (°C)
NST 2	D	No requerido
	E	50
	F	125
NST 3	C	No requerido
	D	75
	E	100
	F	150
NST 4	C	50
	D	100
	E	125
	F	175
NST 6	B	50
	C	100
	D	150
	E	175
	F	225
NST 8	A	25
	B	75
	C	125
	D	175
	E	200
	F	225
NST 12	A	75
	B	125
	C	150
	D	200
	E	225
	F	250
NST 16	A	75
	B	125
	C	175
	D	200
	E	225
	F = G	250
NST 24	A	75
	B	125
	C	175
	D	200
	E	225
	F = G	250

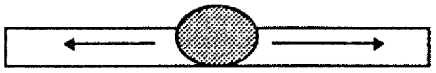
El NST calculado es 19.98, en la tabla tomo el inmediato superior, o sea NST = 24. Siendo el índice de soldabilidad en este caso "C", la **temperatura de precalentamiento es 175°C**

En este mismo ejemplo si la soldadura fuese a tope y el espesor del material a soldar de 24 mm, tendremos el mismo índice de soldabilidad pero

$$NST = \frac{28}{6} + \frac{28}{6} = 8$$

Es decir que tenemos que precalentar a 125°C.

Soldadura a tope: Dos caminos de disipación de calor

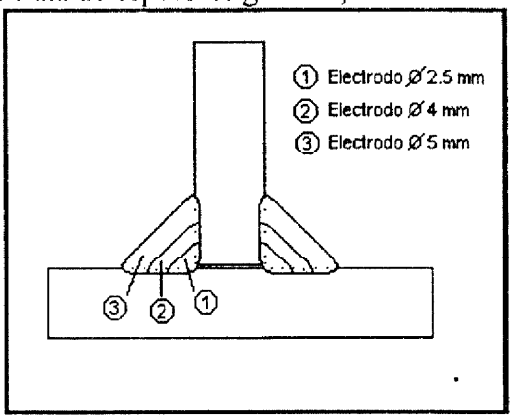


Diseño de la junta o bisel de soldadura.

En el diseño de la junta hay que tener en cuenta varios factores, entre ellos el costo de preparación, facilidad de acceso, adaptabilidad al producto que se debe fabricar, tipos de carga que debe soportar, el costo del consumo del material a aportar, etc. En el ejercicio se debe dibujar el tipo de junta e indicar sus características. Ver Diseño de uniones y Terminología - Libro Técnica y practica de la soldadura de Joseph W. Giachino - William Weeks

Secuencia de Soldadura

La secuencia de soldadura, son los distintos pasos que se realizan para completar una soldadura de varios cordones, por ejemplo en el caso de soldar una pieza de bajo espesor, el llenado del cordón necesitará solo una pasada. Pero si se trata de espesores grandes, necesitaremos dar varias pasadas para llenar todo el bisel de soldadura, por lo general en estos casos se da la pasada de raíz y la capa siguiente con electrodos de poco diámetro (2.5 mm), luego como el bisel de soldadura hace que el ancho a soldar sea mayor, es mas económico soldar con electrodos de mayor diámetro con lo que se demora menos tiempo en llenar completamente el cordón.



En otros casos puede ser que la primera pasada se realice con un proceso de soldadura y luego se continúe en la segunda con otro, como en los casos de soldaduras muy comprometidas de acero al carbono donde se da la primera secuencia o pasada de raíz con proceso TIG, por su alta calidad y luego se continua con proceso Manual.

Parámetros de la soldadura

Otros factores a tener en cuenta, son los parámetros de soldadura, ellos son la intensidad de corriente (Amperaje), la tensión (Voltaje) y la velocidad de avance. Estos tres parámetros definen el calor que aportado por la soldadura. Siendo el calor aportado:

$$CA = \frac{60 * I * V}{Va}$$

Los parámetros de soldadura pueden estar totalmente automatizados o no dependiendo del tipo de proceso (Ver cuales son las características de los distintos procesos en Apunte Ing

Cavallo / Apunte de CONARCO (Soldadura definición y conceptos) o Libro Técnica y practica de la soldadura de Joseph W. Giachino - William Weeks).

En el caso de proceso de soldadura manual con electrodo revestido el único parámetro que se puede variar desde el equipo es la Intensidad de Corriente y es función del diámetro del electrodo y se puede calcular de la siguiente manera (Formula de taller):

Amperaje mínimo = Diam. Electrodo X 30

Amperaje máximo = Diam. Electrodo X 40.

Ensayos a realizar para asegurar la calidad de la soldadura

Los ensayos que se realizan sobre las uniones soldadas son No Destructivos, dentro de los cuales tenemos dos tipos:

1.- Ensayos Volumétricos, son aquellos que permiten evaluar todo el cordón de soldadura como la radiografía o gamagrafía industrial y ultrasonido.

2.- Ensayos Superficiales, son los que permiten evaluar solo superficialmente el cordón de soldadura como las tintas penetrantes, partículas magnetizables y controles visuales.

Soldadura de Aceros Inoxidables

La soldadura de aceros inoxidables requiere una mención especial en los que a la selección del aporte se refiere. En estos aceros la selección de los aporte se realiza a través del diagrama de Schaeffler. La metodología de utilización de dicho diagrama se describe en fotocopia adjunta "Electrodos para soldadura de Aceros Inoxidables". Las características de cada electrodo se consulta en el catalogo Conarco de página 53 a 79.

Otro aspecto que merece ser destacado es que los aceros inoxidables austeníticos no deben ser precalentados pues después de soldados el aporte y la zona afectada por el calor deben pasar lo mas rápido posible entre las temperatura de precipitación de carburos (425 y 825°C) para no quedar propensos a la corrosión intergranular.

Ejercicios

Indicar los procedimiento de soldadura aplicables a los siguientes casos:

1.- Soldar a tope un material calidad ASTM A 516 Grado 60 de espesor 36 mm. Buscar datos del material en catalogo Conarco pagina 263.

2.- Soldar a filete un material calidad ASTM A 516 Grado 70 de espesores 50 mm posición horizontal y 40 mm de espesor en posición vertical. Buscar datos del material en catalogo Conarco pagina 263.

3.- Soldadura de reparación de un eje calidad SAE 4130, diámetro 12 mm. Buscar datos del material en catalogo Conarco pagina 267. T_R = 90.000 psi

4.- Soldar a filete un material ASTM A588 Grado B, espesores de 15 mm. Buscar datos del material en catalogo Conarco pagina 267.

5.- Soldar a tope un acero cromo - molibdeno 2 ¼ Cr - ½ Mo, espesor 20 mm, Calidad ASTM A 387 Grado 22. (Buscar datos del material en catalogo Conarco pagina 270).

6.- Soldar a filete un acero cromo - molibdeno 5 Cr - ½ Mo, espesores 20 mm y 10 mm. (Calidad ASTM A 387 Grado 22. Buscar datos del material en catalogo Conarco pagina 270).

7.- Sodar cañerias calidad AISI 304 de 4 pulgadas de diámetro y 12 mm de espesor. (Buscar datos del material en catalogo Conarco pagina 272).

8.- Soldar chapas a tope calidad AISI 321, espesor 20 mm. (Buscar datos del material en catalogo Conarco pagina 272).

9.- Soldar dos aceros disímiles a filete, calidades AISI 347(esp. 40 mm) y ASTM 516 Grado 60 (esp. 40 mm). (Buscar datos del material en catalogo Conarco paginas 263 y 272).

10.- Soldar dos aceros disímiles a tope, calidades AISI 304(esp. 30 mm) y ASTM 516 Grado 55 (esp. 30 mm).

11.- Aplicar por soldadura una capa inoxidable de calidad AISI 347 sobre un material base cromo - molibdeno 2 ¼ Cr - ½ Mo. Analizar la aplicación de una capa intermedia de aporte que permita una mejor transición entre ambos materiales. Estas aplicaciones se utilizan en recipientes a presión para destilerias de petrolea donde se necesita un material de alta resistencia para soportar la altas presiones y ademas exelentes propiedades anticorrosivas por los productos que se procesan.

12.- Soldar a filete un forjado de acero inoxidable martensítico calidad AISI 410 , cuyo diámetro es 50 mm, sobre una chapa de acero al carbono calidad ASTM A 537 grado 1, cuyo espesor es 20 mm.

: carburo. Puede controlarse la resistencia o la ductilidad deseadas ıdo los tiempos y temperaturas de revenido adecuados. Las tem- ıras de revenido más elevadas dan propiedades más suaves y más es. La Figura 58 ilustra las propiedades mecánicas que se obtienen endo un acero templado que contiene 12% de cromo.

tratamiento de templado y revenido se emplea con frecuencia, nejorar las propiedades de los aceros para maquinarias, ya que pro- ɔnan elevadas resistencias a la fluencia y a la tracción, elevadas re- es entre la resistencia a la fluencia y resistencia a la tracción y una tenacidad a la entalla (ensayo Charpy) en comparación con ace- ninados, recocidos o normalizados.

ıs curvas de revenido que se muestran en la Figura 58 están bien ecidas para la mayoría de los aceros al carbono y los aceros trata- e baja aleación.

odernamente se están produciendo cantidades cada vez mayores eros templados y revenidos en forma de chapas, perfiles y tubos ir de aceros de bajo carbono, y baja aleación (HY-80, T-1, etc.) a ales, después de laminados se los templa y se los reviene para pro- ɔnarles un muy elevado límite de fluencia con buena ductilidad cidad a la entalla.

5 CAMBIOS EN LA ESTRUCTURA GRANULAR

ɔn los tratamientos térmicos del acero es posible también refinar nuir) o aumentar su tamaño de grano. Esto depende de la tempe- del tratamiento así como de su composición e historia previa del).

al acero se lo calienta hasta una temperatura ligeramente superior y luego se lo enfría hasta la temperatura ambiente, se afinan sus ;. La estructura de grano fino es aconsejable y a los aceros colados nados se los normaliza para reducir el tamaño de grano y mejorar ıcidad y la ductilidad.

al acero se lo calienta a temperaturas muy altas (2000°F ó 2200°)3°C ó 1204°C) que estén muy por encima de su temperatura A_3, los granos de austenita y este tamaño grande se mantiene cuando vuelve a enfriar a la temperatura ambiente. Así, si al acero se lo alienta, el tamaño de grano crecerá y los aceros de grano grueso ın normalmente, inferiores a los de grano fino, tanto en propieda-

des mecánicas como en soldabilidad.

LA METALURGIA Y LA SOLDABILIDAD DEL ACERO

Con un conocimiento de las bases metalúrgicas de la composición química, del tratamiento térmico y de las propiedades del acero, pueden examinarse los factores que determinan la calidad metalúrgica de una junta soldada en aceros al carbono y de baja aleación. Las uniones soldadas consisten en dos zonas básicas:

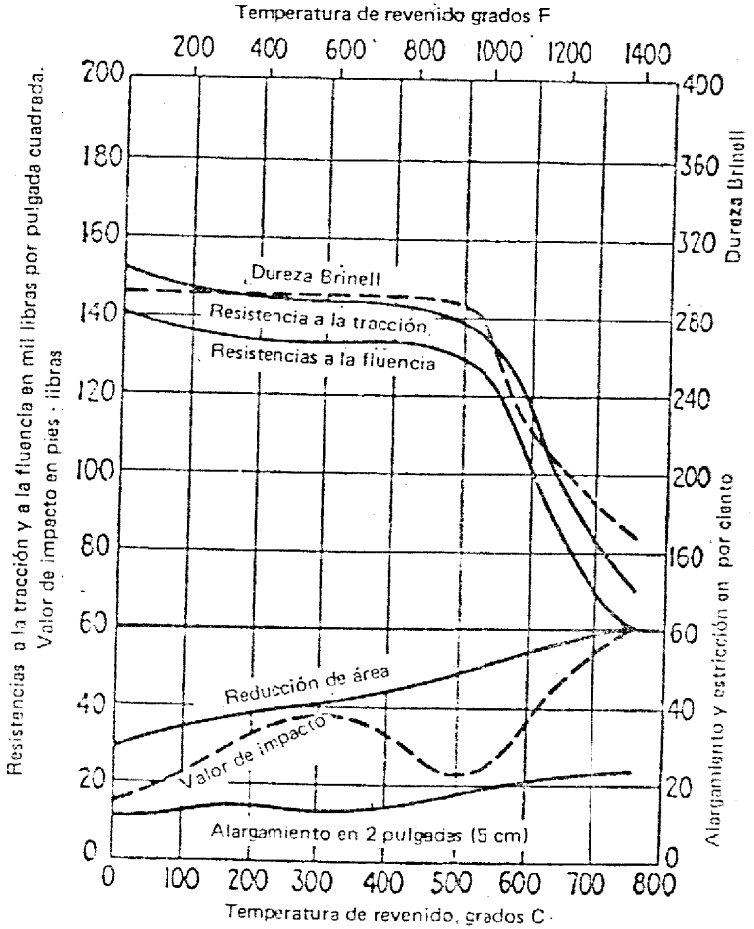


FIGURA 58.- Efecto del revenido en un acero de aleación con 12% de Cr templado desde 1850°F (1010°C)

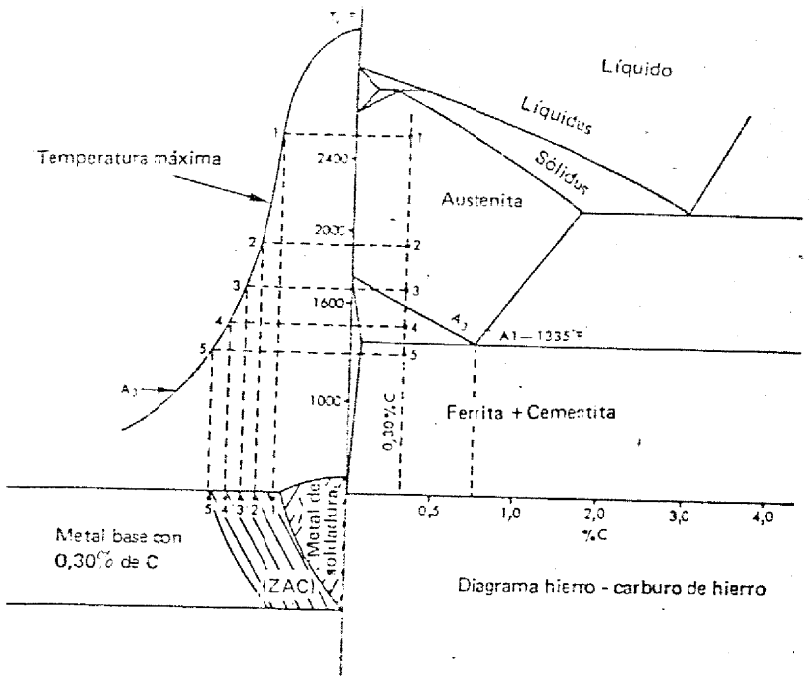


FIGURA 59. - Relación entre las temperaturas picos experimentadas por diversas regiones en un cordón soldado y como se correlacionan con el diagrama de fase hierro-carburo de hierro.

1. La zona afectada por el calor (ZAC) incluye el volumen de metal base no fundido inmediatamente adyacente a la pileta líquida formada por el metal de soldadura. Las propiedades de la zona están determinadas por la composición del metal base y de los ciclos de calentamiento y enfriamiento resultantes de la soldadura o del tratamiento térmico posterior si lo hubo.
2. Las propiedades del metal de soldadura quedan determinadas conociendo los componentes químicos, los gases disueltos y los ciclos térmicos. Se supone que el metal de soldadura es sano y que está libre de fisuras o de porosidad.

ZONA AFECTADA POR EL CALOR (ZAC)

La zona afectada por el calor es particularmente importante en la sol-

Límite de la fase líquida: Líquidus; límite de la fase sólida: Sólidus.
1000 °F = 538 °C; 1400 °F = 871 °C; 2000 °F = 1093 °C; 2400 °F = 1315 °C; 1335 °F = 724 °C.

dadura de los aceros al carbono y de baja aleación, en relación con las propiedades de la junta soldada.

Esta zona comprende metal base calentado a temperaturas que van desde alrededor de los 1200°F (649°C en la mayoría de los aceros) hasta exactamente la temperatura en la cual el metal comienza a fundir. Una gran porción de esta zona se ha calentado por encima de la temperatura A_1 y se ha transformado, parcial o completamente, en austenita. Con el enfriamiento subsiguiente después de la soldadura, las propiedades de esta zona quedarán determinadas, en gran medida, por la velocidad de enfriamiento para la descomposición de la austenita, en relación con las curvas TTT o CCT del acero. Los cambios metalúrgicos más significativos que tienen lugar en la ZAC se relacionan con:

1. El diagrama hierro-carbono
2. Los diagramas TTT o CCT del acero base

La Figura 59 indica la variación de la temperatura máxima que se alcanza en diversos planos de la ZAC de un empalme soldado de acero con 0,30% C.

Gran parte de esta zona se ha calentado a temperaturas superiores a A_1.

Punto 1... se ha calentado a más de 2400°F (1315°C). La austenita formada será de grano grueso por cuanto a esa temperatura los granos crecen.

Punto 2... se ha calentado a 1800°F (982°C) y se ha austenizado totalmente. No ha tenido lugar el crecimiento de grano y sí puede haberse afinado algo.

Punto 3... se ha calentado exactamente por encima de A_3, temperatura que no es suficientemente elevada como para homogeneizar por completo a la austenita.

Punto 4... esta zona se ha calentado a aproximadamente 1400°F (760°C) que está comprendida entre A_1 y A_3. Parte de la estructura se transforma en austenita y la mezcla de estructuras resultante, durante el enfriamiento puede degradar las propiedades de impacto de la junta.

Punto 5... a esta zona se la ha calentado a 1200°F (649°C) que es inferior a A_1 y por lo tanto no ha habido transformación en austenita. El metal base conservará su estructura de ferrita y cementita pero se habrá ablandado y a la vez globulizado los carburos de hierro.

Estas zonas parciales de la ZAC pueden presentar varias estructuras con propiedades variables entre sí. Si a estas zonas se las identifica como una serie de muestras austenizadas, debido a su comportamiento diferente durante el enfriamiento continuo, sus propiedades podrán ser extensamente controladas durante la soldadura.

Las condiciones de soldadura influyen en el enfriamiento, de acuerdo con las siguientes variables:

1. *La energía de arco* - Una mayor energía (jcules/pulgada) provoca menores velocidades de enfriamiento. El uso de electrodos de menor diámetro, una menor corriente de soldadura y una mayor velocidad de avance, son factores concurrentes para reducir la energía de arco y con ello incrementar las velocidades de enfriamiento.
2. *El espesor del metal base* - Por lo general un metal base de mayor espesor se enfría más rápidamente que otro más fino. La mayor capacidad para absorber el calor, relacionada con su mayor masa, producen mayores velocidades de enfriamiento.
3. *Temperatura del metal base - Precalentamiento* - La temperatura del metal base, al iniciar la soldadura, tiene fuerte efecto sobre las velocidades de enfriamiento en toda la zona afectada por el calor y en el cordón de soldadura; a mayor precalentamiento corresponden menores velocidades de enfriamiento.

En función de las condiciones de soldadura y del proceso pueden imponerse, basándose en el diagrama CCT del acero, las condiciones térmicas más favorables para el acero a soldar. Ello dará una primera indicación de los tipos de microestructuras que se producirán. La Figura 60 muestra una amplia variación de las condiciones de enfriamiento que pueden ocurrir en una soldadura por arco sin precalentamiento (1) y una soldadura similar con precalentamiento (2). Curvas similares pueden trazarse para otras condiciones.

Las condiciones de enfriamiento más rápidas producen zonas martensíticas en la hipotética ZAC. Un enfriamiento más lento conduce a la formación de estructuras perlíticas o bainíticas más suaves y menos frágiles. Esto revela la relación existente entre las propiedades de las diferentes zonas de la ZAC y las condiciones de soldadura, todo ello vinculado con el tipo de acero a soldar.

Si se suelda un acero de baja aleación con medio o alto tenor de carbono, en forma tal que se produzca martensita en la ZAC, el empalme soldado resultará propenso a la fisuración en frío debido a su fragilización de este modo, no resultar apto para algunas aplicaciones estructurales.

El problema puede evitarse retardando la velocidad de enfriamiento y la técnica más común es el precalentamiento; éste al provocar un enfriamiento más lento, tanto como para impedir la formación de martensita, producirá estructuras menos frágiles.

En la Figura 60, un diagrama CCT se ha dibujado superponiéndole dos curvas de enfriamiento, una sin y otra con precalentamiento; se señala:

1. La dureza máxima (y la menor ductilidad) ocurre a la distancia A que está próxima a la línea de fusión. Esto ocurre porque la austenita, en esta zona y debido a la alta temperatura alcanzada, aumenta su tamaño de grano (grano grueso) y luego queda sometida a la más elevada velocidad de enfriamiento, acusando la mayor templabilidad. La curva (2) (con precalentamiento) señala una menor dureza en este punto porque el precalentamiento ha reducido la velocidad de enfriamiento.
2. El diagrama CCT indica que sin precalentamiento, la curva de velocidad de enfriamiento en A es suficientemente rápida como para ocasionar la completa transformación en martensita. Con precalentamiento, la curva de enfriamiento en A es suficientemente lenta como para dar por resultado una estructura de ferrita + perlita + bainita que es menos frágil, más blanda y más dúctil.
3. Con precalentamiento la ZAC es más amplia (A-C) en comparación con la (A-B) que corresponde a la soldadura sin precalentar.

La dureza más baja se encuentra en B para la soldadura sin precalentamiento y en C con precalentamiento. A estas zonas se las ha calentado exactamente por debajo de la temperatura A_1 durante la soldadura.

Los datos y la información necesaria para analizar una soldadura en cualquier material, no siempre son de fácil obtención pero los principios que la rigen son lógicos y la comprensión de ellos ayudará a elegir el procedimiento a seguir para evitar los serios problemas que pueden presentarse.

Existen fórmulas y tablas para seleccionar el precalentamiento mínimo a emplear en la soldadura de un dado material.

Soldabilidad y templabilidad

Las características de templabilidad de un acero son muy importantes cuando se considera su soldabilidad*. El aumento de templabilidad producido por un mayor contenido de carbono y de aleación reduce la soldabilidad al desplazar el diagrama TTT hacia la derecha y con ello la posibilidad de alcanzar directamente la transformación martensítica o por lo menos

*En el libro Weldability of Steel (Soldabilidad del acero) de Steut y Doty publicado por el Consejo de Investigación de Soldadura se aportan recomendaciones específicas de precalentamiento de muchos aceros.

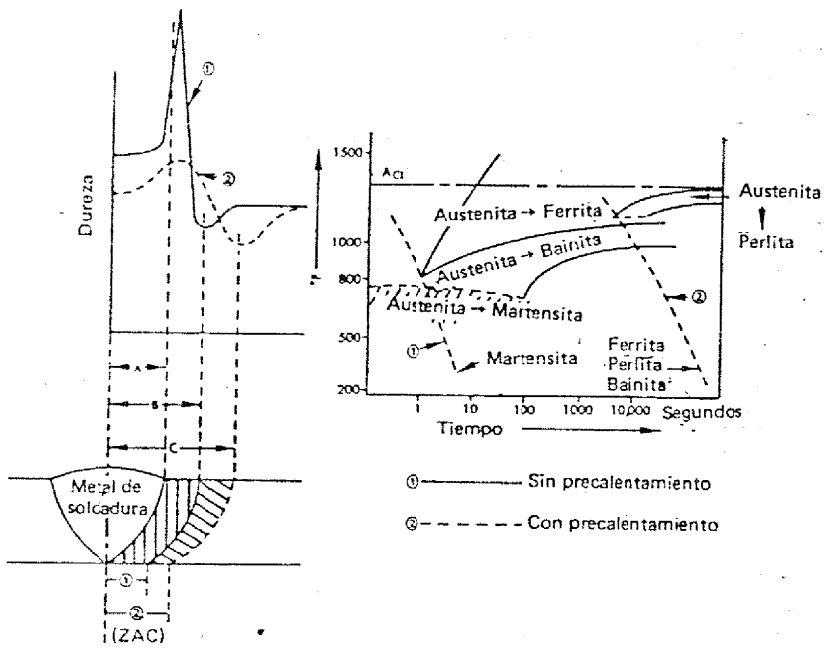


FIGURA 60.- Variación de las condiciones de enfriamiento en una soldadura en función del precalentamiento: el diagrama incluye algunos de los cambios de propiedades que producen estas condiciones de enfriamiento. También se muestra un diagrama CCT de un acero, con el objeto de ilustrar por qué las condiciones de enfriamiento provocan los cambios de propiedades

aumentar su contenido en la ZAC.

EL TRATAMIENTO TERMICO POSTERIOR

A la martensita y a la bainita se las puede ablandar por revenido. De igual manera, una dura ZAC de una junta soldada, también es posible ablandarla calentando el empalme hasta temperaturas que, de ordinario, están comprendidas entre 900 y 1200°F (482 a 649°C): este tratamiento restaura la ductilidad de la zona pero no elimina fisuras que pudieran haberse producido en la ZAC por las tensiones de contracción en una región excesivamente frágil.

200° F = 93° C; 500° F = 260° C; 800° F = 427° C; 1000° F = 538° C; 1500° F = 816° C.

El tratamiento de "alivio de tensiones" que se emplea en las juntas soldadas de los aceros, desempeña una doble función: la reducción de las tensiones residuales y el revenido de la martensita que pudiera haber precipitado en la ZAC.

La Figura 61 ilustra el efecto de precalentamiento y del tratamiento posterior (alivio de tensiones) en la dureza máxima que se observa en la ZAC de un acero con 0,25% C y de 1 pulgada de espesor (25,4 mm).

EL METAL DE APORTE EN LA SOLDADURA DE LOS ACEROS AL CARBONO Y DE ALEACION

En una junta soldada es particularmente importante conocer los factores metalúrgicos que rigen las propiedades físicas del metal base, así también como los factores metalúrgicos asociados con el metal de aporte.

El metal de aporte fundido en una junta está sujeto a factores químicos y metalúrgicos similares a los del metal base. El metal de aporte lo constituye acero fundido obtenido a partir del electrodo empleado y del metal base o, mejor dicho, de ambos.

A las características metalúrgicas del metal de soldadura la rigen, principalmente:

1. La composición química del alambre de aporte o del electrodo.
2. La composición química del metal base.
3. Las reacciones químicas cuando se funde el metal de aporte.
4. El ciclo de enfriamiento del metal de soldadura ya solidificado.

La mayoría de los procesos de soldadura requiere el agregado de metal de aporte proveniente de un electrodo consumible o bien de la fusión de un alambre que se alimenta en forma separada. Tanto los alambres como los electrodos se fabrican siempre con bajos contenidos de carbono (salvo los empleados para revestimientos duros que tienen cantidades significativas de carbono). El bajo contenido de carbono es muy significativo pues no puede formarse martensita extremadamente frágil en el metal de soldadura y por lo tanto, no se creará en él ninguno de los problemas comentados para la ZAC.

Algunos procesos, tales como la soldadura por resistencia o los procesos de arco por electrodo de tungsteno protegido por gases especiales, forman el metal de soldadura solamente por la fusión del metal base.

Se debe controlar la composición química del metal de soldadura y debe proporcionársele una adecuada protección cuando está fundido

CONARCO

APITULO 1:

LDADURA: Definición y concepto

oldadura es la unión de dos o más piezas metálicas por aplicación de calor, pre-
ión o presión y calor conjuntamente, con o sin metal de aporte, para producir una
nión localizada por fusión o recristalización en la interfase.-
urante mucho tiempo la unión soldada ejecutada por soldeo por forja, aplicando
onjuntamente calor y presión, representó el único tipo de unión soldada de las pie
s.- El empleo del oxígeno en combinación con gases combustibles dió, por primera
ez, una llama suficientemente caliente para que fuera posible fundir y con ello
ograr el soldeo del hierro sin utilizar presión.- A pesar de que este procedimien-
fue el más importante durante muchos años, su utilización es limitada, puesto
e el aporte de calor, por unidad de tiempo, no puede aumentarse por encima de un
ierto valor.- Para piezas cuyo espesor es superior a 30 mm, la disipación de ca-
or sobrepasa a la cantidad que se puede aportar.-
ebido a la ventajas que presenta la soldadura y a las limitaciones que tienen al-
unos procesos, para ciertos trabajos se han desarrollado gran cantidad de métodos.

oldabilidad:

s la mayor o menor facilidad con que un metal permite que se obtengan soldaduras
omogéneas que responden a las necesidades para las que fueron concebidas, inclu-
endo los requisitos de fabricación.-
'guras de las características a tener en cuenta y que deben ser analizadas en ca-
a caso son:

Los cambios metalúrgicos que se producen durante la presión y solidificación.-
Transformaciones microestructurales en la zona afectada por el calor.-
Cambios en las propiedades mecánicas debidas a los ciclos térmicos.-
Disminución de la resistencia a la corrosión y oxidación debida a las tensiones
residuales de la soldadura.-
Forma, distribución y tamaño de los defectos presentes.-

ROCESOS DE SOLDADURA:

os procesos de soldadura se pueden dividir en dos grandes grupos:

/2.=

.- Por fusión: Es con activación térmica, que permite la fusión del material base del material aportado.-

.- En fase sólida o sin fusión: Puede ser en frío o con activación térmica.- No ay aporte de material.-

- ar fusión
  - Resistencia
  - Oxi-gas
  - Electroescoria
  - Haz electrónico
  - Laser
  - Arco
    - Electrodo revestido
    - Arco sumergido
    - MIG-MAG
    - TIG
- in fusión
  - En frío
    - ultrasonido
    - colaminación
  - En caliente
    - colaminación
    - fricción
    - flash

n el esquema se mencionan los procesos más importantes y dentro de ellos, en es- e curso se detallarán los procesos por arco.-

OLDADURA POR ARCO:

ásicamente, el proceso consiste en establecer un arco entre el electrodo metálico la pieza a soldar.-

n arco es una corriente eléctrica que fluye entre dos electrodos a través de una olumna de gas ionizado (plasma).- Cambiando el gas de protección puede cambiarse a cantidad de calor desarrollada entre electrodos.-

/3.=

l arco de soldadura se caracteriza por una alta intensidad de corriente y baja ensión, que requiere una elevada concentración de electrones para el transporte de a corriente eléctrica.- La cantidad de energía disipada por el arco eléctrico es elativamente baja, si se la compara con otras fuentes de calor utilizadas en soladura.-

a ventaja del arco eléctrico es la gran concentración de calor y el alto rendiiento de la energía disipada, que se consume n la fusión del electrodo y los ordes de la pieza a soldar, formando una pileta líquida.-

n estos procesos hay tres variables a tener en cuenta:

Velocidad de avance del electrodo
Intensidad de corriente
Voltaje del arco

otas dan orígen a distintos procesos según sean controladas automáticamente o no:

Manual (con electrodo revestido): Las tres variables son controladas manualmente or el soldador.-
emiautomática (MIG-MAG-TIG): El soldador sólo controla manualmente la velocidad e avance del electrodo.- Las demás variables son preseleccionadas.-
Automática (arco sumergido): Las tres variables son preseleccionadas.-

OLDADURA MANUAL: (Ver figura 1)

demás de establecer el arco y suministrar el material de aporte, los electrodos re estidos introducen materiales en el arco y alrededor del mismo.-

l rango usual de intensidad de corriente para este proceso es de 15 a 350 amperes. l voltaje comunmente usado varía entre 20 y 40 volts.-

a energía obtenible con el arco produce la vaporización de un pequeño porcentaje e todo el metal que pasa a través del mismo.- Parte de este metal vaporizado se ondensa en la pileta líquida, que está a menor temperatura que el extremo del lectrodo.- El resto del metal vaporizado escapa y es oxidado por el aire, apareiendo como humo.-

/4.=

recubrimiento de los electrodos, compuesto por una mezcla de materias primas
polvo, aglutinadas con silicatos alcalinos, tiene las siguientes funciones:

- Facilitar el encendido del arco y su estabilidad.-
- Mejorar las condiciones de viscosidad y tensión superficial del metal en esta- líquido , de manera de asegurar una buena transferencia del metal de aporte y zcla con el metal base.-
- Aumentar la velocidad de fusión.-
- Proveer de una atmósfera gaseosa protectora.-
- Aportar los elementos que equilibran los procesos físico-químicos del arco.-
- Constituir una aislación eléctrica del alambre de tal manera de poder dirigir arco.-
- Aportar los elementos constituyentes de la escoria de manera de hacerla lo más ctiva posible respecto al afino y protección del baño de fusión.-
- Eventualmente, aportar elementos de aleación al baño de fusión.-

as funciones 4 y 7 evitan la absorción de oxígeno y nitrógeno del aire, por el me- al fundido en el arco y en el baño de fusión, y por el metal muy caliente en la oldadura; así se elimina la posibilidad de formación de óxidos y nitruros que po- rían fragilizar la soldadura.- Todas las funciones son necesarias para asegurar a resistencia y calidad de la soldadura.- Bien realizadas, las soldaduras con lectrodos revestidos, tienen igual o mayor resistencia que el metal base.-

os electrodos se fabrican por extrusión del revestimiento sobre un alambre desnu- o.- La composición del revestimiento varía con los diferentes tipos de electrodos. l proceso puede operar utilizando corriente continua o alterna, de acuerdo a las aracterísticas del electrodo.-

OLDADURA TIG: (Ver figura 2)

l calor necesario para la fusión es producido por un intenso arco eléctrico, de- arrollado entre un electrodo de tungsteno virtualmente no consumible y el metal ser soldado.- El electrodo, la zona fundida, el arco y las zonas vecinas calenta- as se protegen de la contaminación ambiental con gas inerte.-

/5.=

Este proceso se caracteriza porque el electrodo no es consumible y por lo tanto no funde.-

En caso de ser necesario material de aporte, éste es aplicado con una varilla, la que sostenida manualmente por un extremo, se hace fundir dentro de la pileta líquida en la zona del arco, de igual forma que en la soldadura oxiacetilénica.-

La necesidad de metal de aporte depende del espesor del material, consideraciones metalúrgicas y propiedades requeridas por la soldadura.- Los materiales delgados usualmente son soldados sin metal de aporte.-

Como gas protector puede usarse argón o helio.- En este proceso no es necesario el uso de fundente, ésto lo hace aplicable a una gran variedad de juntas.- Los problemas derivados del fundente atrapado se eliminan, y la limpieza post-soldadura se elimina.-

FUNDAMENTOS DEL PROCESO:

La fuente eléctrica de poder puede ser de corriente alterna o continua.-
En corriente continua el circuito puede ser conectado para trabajar con polo positivo o negativo.-

La conección polo negativo es aquella en que el electrodo es negativo y el metal base positivo.-

Para conección polo positivo, la conección es la inversa, es decir, electrodo positivo metal base negativo.-

En el primer caso, conección polo negativo, los electrones golpean las placas a alta velocidad ejerciendo un considerable efecto de calentamiento en éstas.-

En el caso conección polo positivo ocurre lo contrario, es el electrodo el que se calienta por el mismo efecto, por lo que su extremo tenderá a fundir.- Es por esto que con este tipo de corriente se requiere un mayor diámetro de electrodo y una menor corriente de trabajo.-

/6.-

l uear una u otra forma de conección varía además la forma de la soldadura obte-
lda.-

a soldadura producida con polo negativo será angosta y profunda.- Por el contra-
io la soldadura con polo positivo, debido al mayor diámetro del electrodo y la me-
or corriente utilizada, es ancha y poco profunda.-

or lo general, la polaridad utilizada en los diferentes materiales es la siguien-
e:

- Polaridad
  - Negativa
    - Aceros al carbono y baja aleación
    - Aceros inoxidables
    - Aleaciones de Ni, Cu y Ti
  - Positiva
    - Aleaciones de Al
    - Aleaciones de Mg

rincipios de operación:

El equipo utilizado es relativamente sencillo.- Consiste en un soporte para elec-
rodo (pistola), equipado con conductos para el pasaje de gas y una tobera para
dirigir el gas protector alrededor del arco, los electrodos (de tungsteno, no con-
sumibles), una alimentación de gas, un regulador reductor de presión, un medidor
de caudal y una unidad de poder.-

También es necesaria una alimentación de agua fría, si la pistola es refrigerada

El argón es el gas comunmente usado en la mayoría de las aplicaciones, de este pro-
ceso.-

Es un gas pesado, inerte, monoatómico con peso atómico 40.- Se obtiene de la at-
mósfera por la licuefacción del aire, se refina y se transforma en líquido a -185º
C.-

/7.=

Mientras el gas protege la parte superior del metal base, no da protección a la parte inferior o penetración.- Especialmente en espacios delgados, la parte inferior se calienta lo suficiente para oxidarse y producir un cordón de penetración rugosa.- En trabajos en los que se requiere una penetración regular del cordón y un metal base no contaminado, se usa una protección del lado inferior.- Esta protección puede consistir en un gas inerte que se proyecta sobre la cara inferior, o en un metal que se fija sobre dicha cara, con o sin purga de gas inerte.- Si no se usa protección, probablemente produzca una fisura.-

Existe, para este proceso, además del método manual, el proceso TIG automático.- Este requiere más inversión y un equipo más complicado.- También requiere mayor control en la tolerancia de las juntas.- El objetivo de la automatización es producir juntas de mayor calidad y reducir costos.- (Ver figura 3).-

SOLDADURA MIG: (Ver figura 3)

El calor es producido por el arco eléctrico generado entre un electrodo consumible y la pieza a ser soldada.- Electrodo, zona fundida, arco y zonas vecinas calentadas se protegen de la contaminación ambiental con gas inerte.-

En este proceso se utiliza como electrodo, un alambre continuo, que es a la vez el metal de aporte, enrollado en forma de bobina, y es mecánicamente conducido a la zona de soldadura.-

Es necesaria una alta densidad de corriente para la transferencia de metal del electrodo al metal base.- Para baja densidad de corriente, la transferencia es irregular y de poca penetración.-

Para altas intensidades de corriente, la transferencia es uniforme y gran penetración.-

La polaridad, tiene un importante efecto en la forma en que actúa el arco, en la velocidad con que el electrodo funde y sobre las gotas transferidas.-

/8.=

Con electrodo polo negativo y protección de argón, por ejemplo, la velocidad con la que el electrodo funde es el doble que con inversa polaridad.-

Este proceso evita la restricción que presenta el uso del electrodo por la longitud limitada y permite soldar en varias posiciones.-

La ventaja principal frente a la soldadura con electrodo revestido, es la mayor velocidad de trabajo, esto se debe a:

a) Alimentación continua del metal de aporte, por lo que el operario no debe detener el proceso para cambiar el electrodo.-

b) Ausencia de escoria que debe ser removida después de cada pasada, como ocurre con electrodos recubiertos.-

c) Uso de un menor diámetro de alambre que con electrodo revestido para una dada intensidad de corriente.- Por lo tanto la densidad es mayor y el metal se deposita más rápidamente.-

El uso de este método permite una soldadura con menor contenido de hidrógeno.- Se adapta mejor a la soldadura de espesores pequeños.- Se pueden obtener soldaduras de mayor calidad que con electrodo revestido, debido a que no contiene escoria y por lo tanto no existen zonas oscuras en la pileta líquida, que puede quitarle visión al operario.-

Este tipo también tiene limitaciones respecto a la soldadura con electrodo revestido, éstas son:

1) El equipo para soldadura con protección gaseosa es más complejo y consecuentemente más costoso y menos portable.-

2) La pistola debe estar muy próxima a la pieza a soldar por lo que es menos adaptable que el proceso con electrodo revestido para soldar zonas de difícil accesibilidad.-

3) Los aceros templables pueden ser más suceptibles de producir fisuras en la zona soldada, debido a que no hay escoria que reduzca la velocidad de enfriamiento.-

En este proceso se requiere una buena protección de fuertes corrientes de aire las que pueden soplar la protección de gas.- Es por esto que es menos indicado para soldar en lugares abiertos.-

Este proceso es generalmente considerado como el más versátil de todos los procesos por arco en cuanto a las posiciones en que puede usarse.-

Principios de operación:

Los principios operativos de la soldadura por arco con protección gaseosa difiere fundamentalmente de los procesos con electrodos revestido.- El revestimiento de los electrodos revestidos contiene elementos que protegen el arco y el metal fundido, desoxidantes y a menudo elementos de aleación.- Además producen escoria que protege la pileta líquida.- El recubrimiento también controla las características del arco produciendo una ionización gaseosa que asegura la estabilización del arco y puede afectar la transferencia de metal en varias posiciones de soldadura.

En soldadura por arco con protección gaseosa, los objetivos son similares, pero son alcanzados de diferentes formas.- Primero, las características deseadas del arco, se consiguen por un control adecuado de la relación voltaje-amperaje y de de protección.- Segundo, se agregan elementos metálicos que tienen mayor afinidad con el oxígeno que el hierro para que actúen como desoxidantes y para producir una soldadura sana y con las propiedades físicas y mecánicas deseadas.- Finalment el oxigeno del aire es desplazado por el fluir del gas de la tobera que es coaxial con el lugar por donde emerge el alambre (boquilla).-

SOLDADURA BAJO CO2 (MAG):

El principio de funcionamiento y equipo son semejantes al proceso MIG.- Al igual que en este, en el proceso MAG la transferencia de material se realiza desde el arco al baño mediante un alambre alimentado en forma continua.- La diferencia está en la atmósfera protectora que en este caso es CO2.-

Para este fin, dicho gas debe cumplir ciertos requisitos.- La pureza debe ser por

/20.-

CONVENCI

lo menos del 99.7 % y el contenido de H2 y N2 menor de 0,15 %, además no debe contener humedad.-

A causa de la elevada temperatura del arco, el CO2, se descompone en monóxido de carbono y oxígeno según la siguiente ecuación:

$$2\ CO_2 \rightleftharpoons 2\ CO + O_2$$

Es una reacción oxidante, por un lado produce pérdidas por combustión del Si y Mn y por otro lado impide la formación de poros, mientras que el Si y el Mn restantes pasan a formar parte del metal de soldadura.- Por ello es que en este proceso se utilizan alambres especiales, llamados "alambres para soldadura CO2", con algo Si y Mn.-

En cuanto a la corriente a utilizar, se elije de acuerdo al espesor del material a soldar y según la posición de soldadura.- La magnitud de la corriente define el régimen de fusión y la penetración.- A su vez es proporcional a la velocidad de alimentación de alambre al arco, su ajuste se realiza a través de la regulación de dicha velocidad, alta velocidad del alambre significa alta corriente y viceversa.

La elección del diámetro del alambre se elige en primer lugar, según la corriente de soldadura, pero también por el rendimiento deseado y por criterios económicos

La tensión de arco, junto con la corriente, es uno de los parámetros más importantes para la producción de una buena soldadura.-

Una tensión elevada, da un cordón más ancho y más plano, con menor penetración, mayores salpicaduras, mejor aspecto del cordón y más pobres características mecánicas.- En general debe mantenerse a la tensión lo más baja posible, pero teniendo en cuenta que a tensiones muy bajas el cordón se estrecha y se hace más profundo desmejorando su aspecto.-

Para igual corriente, a medida que decrece el diámetro del alambre, se debe aumentar la tensión.-

/11..

EXTENSIVE

En el proceso MAG, en contraposición con el MIG, se produce una leve escoria sobre el metal de soldadura, que es una mezcla de óxidos de Mn, Si y Fe.- Ella se forma durante el proceso, como ya se ha mencionado, a consecuencia de la atmósfera reductora producida por el CO2.-

La transferencia de metal en la zona del arco se produce en igual forma que en MIG.- Las diferencias entre los procesos MIG y MAG son:

1) En el proceso MIG la penetración es menor que con CO2 y la sección del cordón adquiere una forma desfavorable.-

2) El alambre aportado no utiliza mucho Mn ni Si como en la soldadura MAG.-

3) El proceso MIG es antieconómico, ya que el argón es mucho más caro que el CO2.-

Para solucionar las desventajas de los procesos MIG y MAG se utilizan mezclas de gases de protección y presentan la composición: 80 % Argón
15 % CO2
5 % Oxígeno

SOLDADURA POR ARCO SUMERGIDO: (Ver figura 4)

El calor para la fusión es aportado por un arco producido entre un electrodo consumible y la pieza a soldar.- El arco es protegido por una capa de fundente fusible granular, que cubre la zona de fusión y el metal base vecino a la junta, protegiéndola de la contaminación ambiental.- La figura muestra un esquema del proceso.- El calor del arco funde el electrodo, el fundente y el metal base, formando una pileta líquida.-

En todos los tipos de equipos el alambre, que actúa como electrodo, es alimentado continuamente a través de rodillos mecánicos, luego pasa por una boquilla, que actúa como tubo de contacto y atraviesa la capa de fundente, hacia la pileta líquida.

El fundente granular se deposita por delante del arco y después que el metal solidifica, el fundente que aún permanece granular es absorbido por un sistema que lo

/12.=

-10-

recircula para volver a usarlo.-

Las funciones del fundente son:

-Aportar elementos que permitan una enérgica desoxidación.-
-Proveer de una atmósfera protectora, que impida la acción del H_2, N_2 y CO.-
-Proveer de un blindaje térmico, el cual es responsable de la alta eficiencia del proceso al disminuir la disipación del calor.-

En algunas aplicaciones de soldadura por arco sumergido son alimentados en la junta dos o más electrodos.- Estos pueden estar ubicados en la misma pileta fundida o produciendo cordones paralelos.-

Este proceso ofrece las siguientes ventajas sobre otros procesos de soldadura:

1: La junta puede ser preparada con una canaleta en V de poca profundidad porque debe aportarse menos material.-

2: No es necesario la protección de la vista, ya que el arco permanece cubierto por la escoria.-

3: El proceso permite alta velocidad de deposición y de soldadura para soldar partes cilíndricas o planas de cualquier tamaño o espesor, y puede ser usado para depositar recubrimientos duros.-

4: Este proceso puede ser usado en áreas expuestas a grandes vientos, ya que el fundente granular provee una muy buena protección.-

Este proceso presenta las siguientes limitaciones:

1.- Requiere un equipo poco manuable.-
2.- El fundente está sometido a contaminación que puede causar porosidad en la soldadura.-
3.- Para obtener soldaduras de buena calidad el metal base debe ser homogéneo y estar esencialmente libre de óxido, aceite y otros contaminantes.-

CENIDIT

-13-

4.- Usualmente el proceso no es aplicable sobre metales de espesor menor que 3/4 de pulgadas, debido a que puede producirse perforación.-

PROTECCION DEL MATERIAL DE APORTE.- RESUMEN:

Como se ha mencionado a lo largo de la clase, la protección del material de aporte es de fundamental importancia para obtener una soldadura sana y homogénea.- el siguiente esquema se sintetiza el tipo de protección en cada proceso y las funciones que influyen sobre las características del metal depositado.-

Proceso	Electrodo Revestido	MIG/TIG	MAG	Arco Sumergido
Tipo de protección	Revestimiento	Gas inerte	Gas CO2	Fundente
FUNCION	1.Proveer atmósfera protectora. 2.Desoxidar. 3.Escorificar. 4.Reducir la velocidad de enfriamiento. 5.Aumentar la velocidad de fusión 6.Fluidificar el material. 7.Eventualmente aportar elementos de aleación.	1.Proveer atmósfera protectora 8.Evitar la presencia de H2 atmosférico.	1.Proveer atmósfera protectora. 9.Consume Si y Mn del material fundido por oxidación.	1.Proveer atmósfera protectora 2.Desoxidar. 3.Escorificar. 4.Reducir la velocidad de enfriamiento. 5.Aumentar la velocidad de fusión 6.Fluidificar el material. 7.Eventualmente aportar elementos de aleación 10.Blindaje Térmic

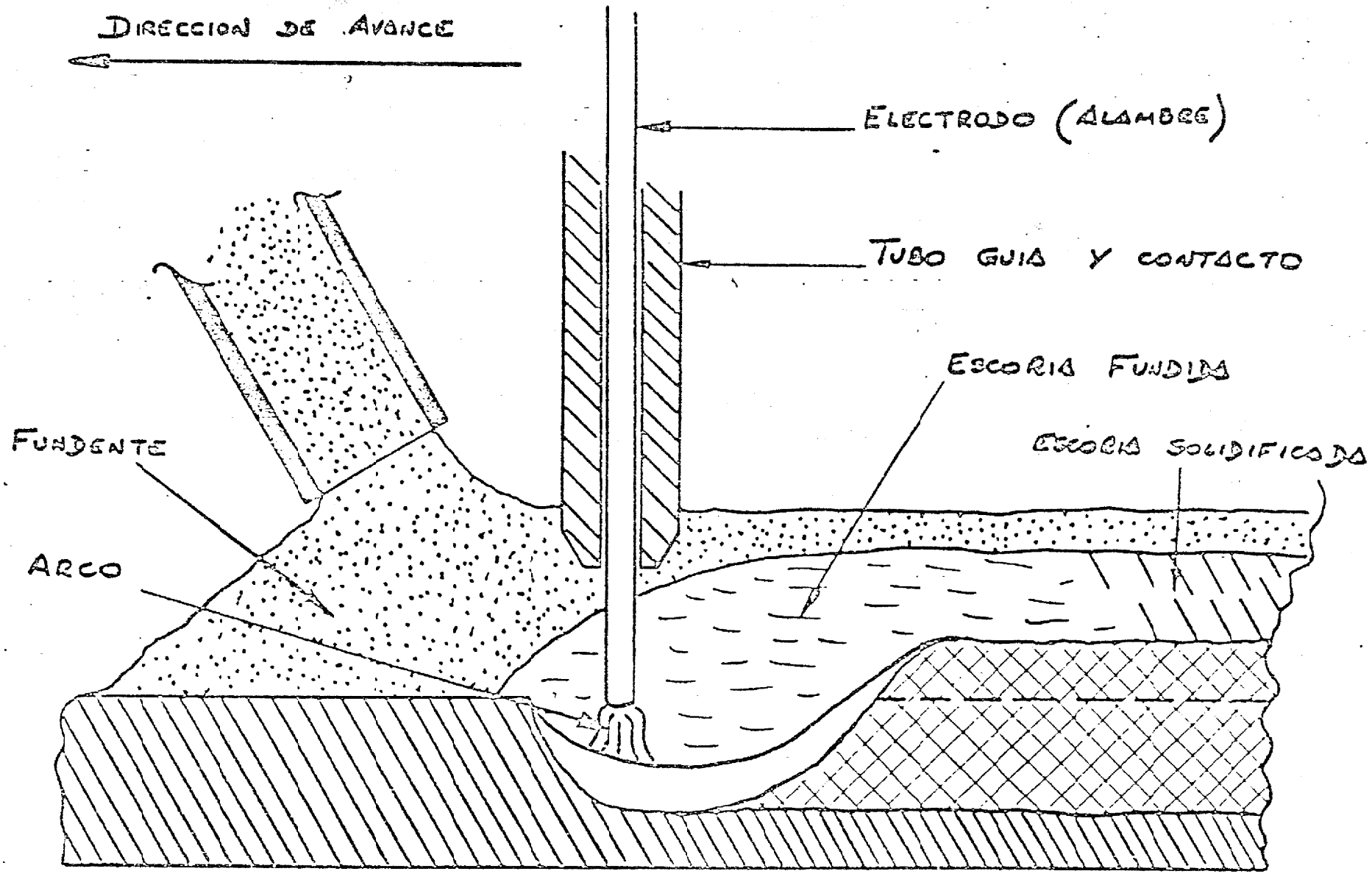


Fig. 4 Soldadura por arco sumergido.

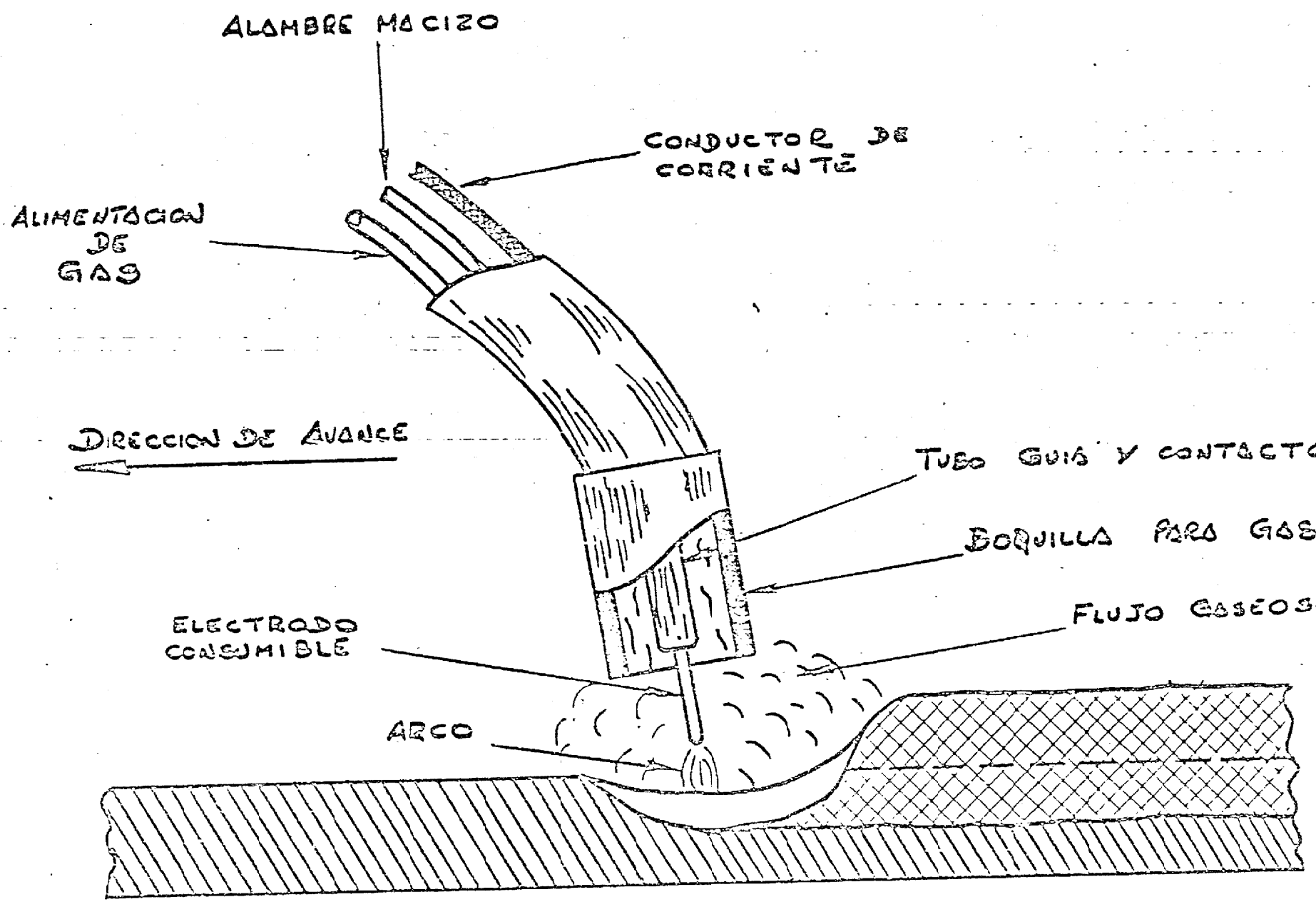


Fig. 3. Soldadura MIG ó MAG. con alambre macizo.

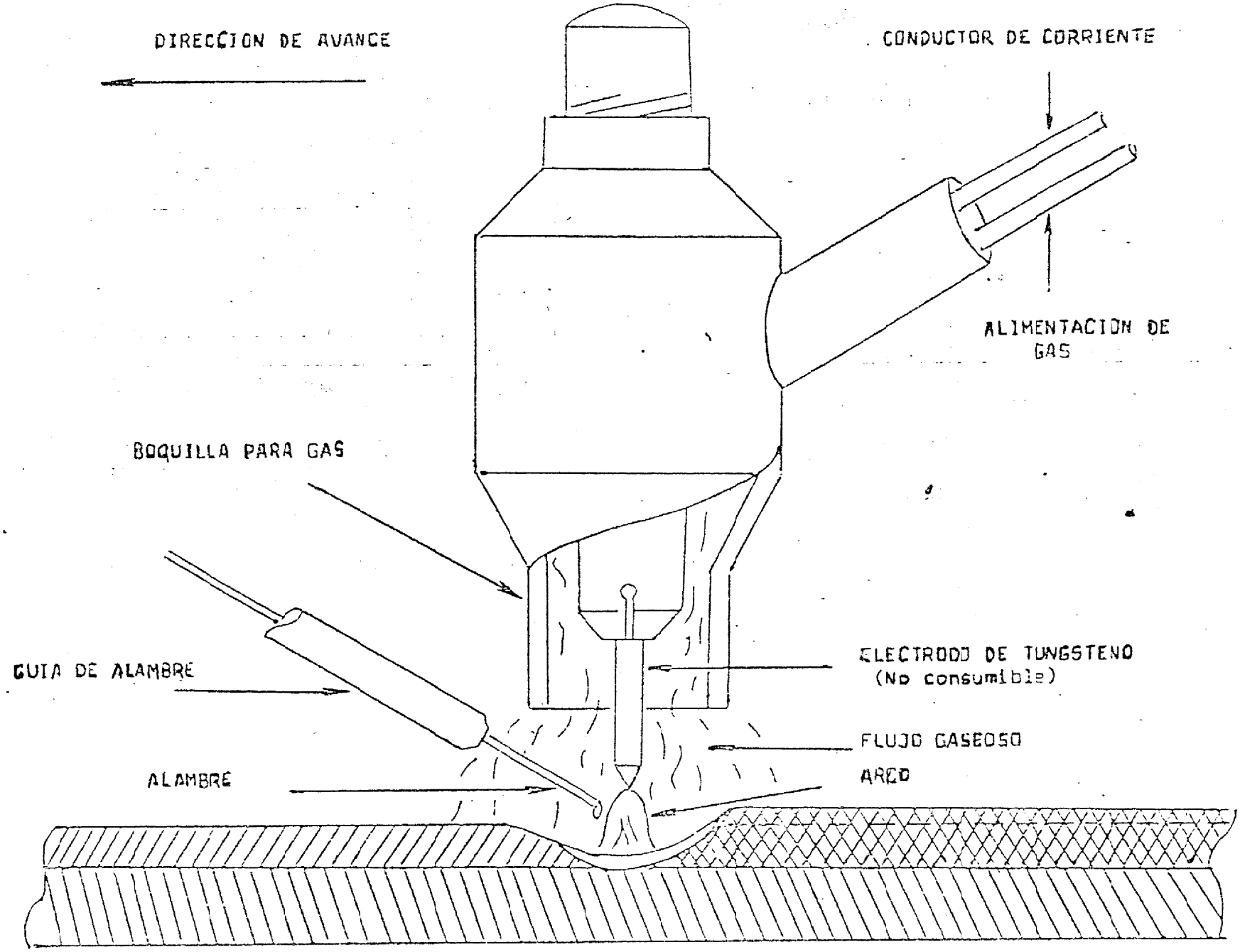


FIG. 2 - SOLDADURA TIG

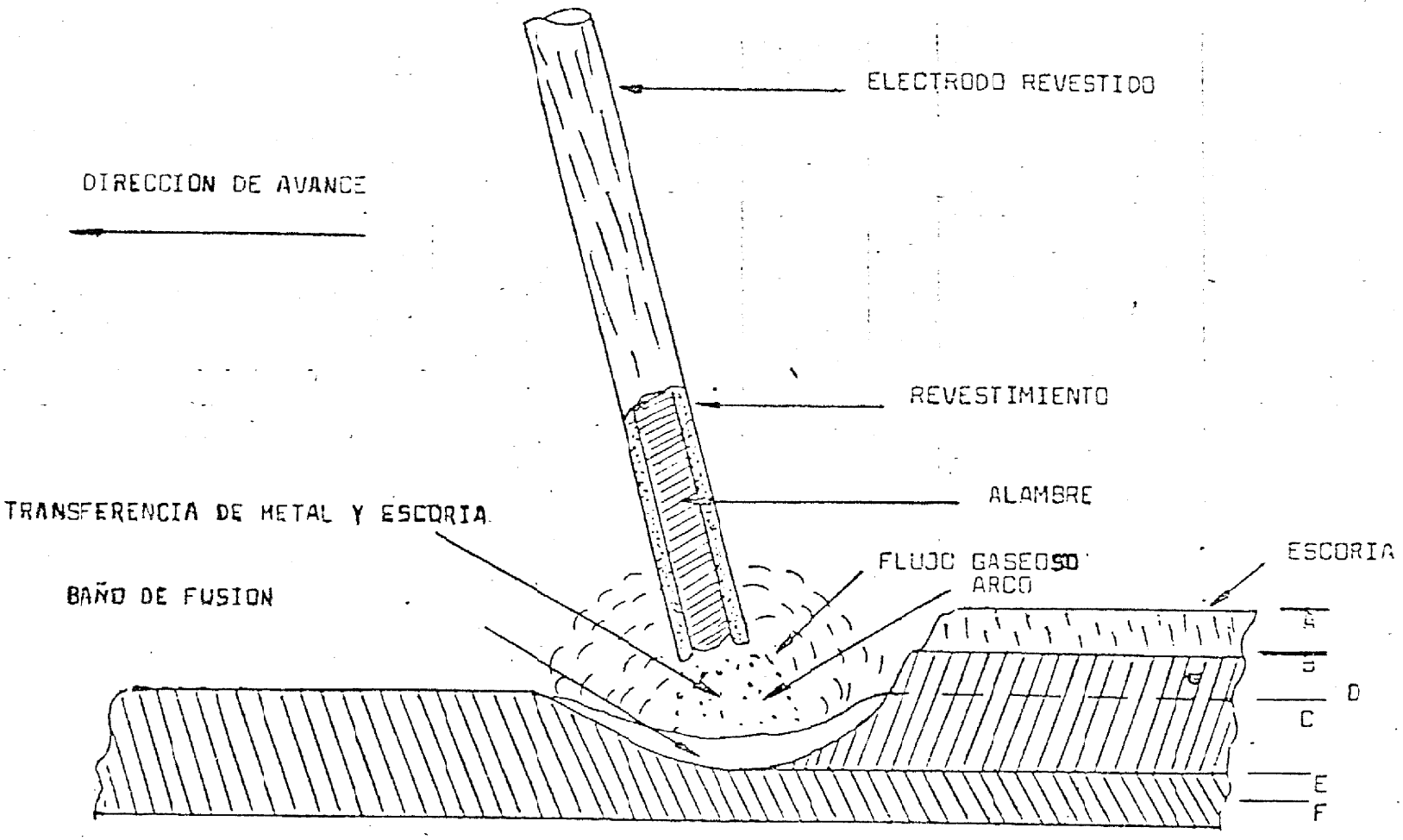


FIG. 1 - SOLDADURA CON ELECTRODOS REVESTIDOS

A - CAPA DE ESCORIA
B - SOBREMONTA DE SOLDADURA
C - PENETRACION
D - DEPOSITO DE SOLDADURA
E - ZONA AFECTADA POR EL CALOR (ZAC)
F - METAL BASE NO AFECTADO

[illegible]
-16-

CAPITULO 3

ELECTRODOS REVESTIDOS.- Descripción.

En el año 1912 el sueco O. Kjellberg patenta su invento: el electrodo revestido Fue el primero en concebir un revestimiento por medio del cual podía estabiliza el arco y crear una atmósfera protectora del oxígeno y nitrógeno del aire.- De su nombre surgen las iniciales O.K. de la línea de electrodos ESAB, empresa fundada por él.-

En la actualidad se fabrican los electrodos revestidos por extrusión del revestimiento sobre el alambre.-

Se denomina factor de revestimiento (FR) a la relación entre el diámetro del revestimiento (D) y el diámetro del alambre (d).-

Cuando hablamos de diámetro de un electrodo nos estamos refiriendo al diámetro del alambre.- Los más usuales son: 2,00-2,50-3,25-4,00,5,00 y 6,00 mm.- Un detalle de fabricación importante consiste en lograr concentridad entre el centro del revestimiento y el del alambre, caso contrario el arco se desvía, haciéndose difícil la operación de soldeo, que requiere un arco bien dirigido.-

Los electrodos se identifican por el diámetro del alambre con que están fabricados.-

La selección del tipo y diámetro se basa en el conocimiento de:

1.- Posición de soldadura
2.- Tipo y espesor del material a utilizar (metal base).

/15.-

3.- Preparación y presentación de la junta.-

4.- Tipo de corriente disponible.-

5.- Exigencias de la junta (penetración, resistencia, radiografía, etc.).-

EL REVESTIMIENTO DE LOS ELECTRODOS:

Para cumplir con las funciones mencionadas anteriormente el revestimiento contiene en distintas proporciones, las siguientes materias primas:

MATERIAS PRIMAS	FUNCION PRINCIPAL	FUNCION SECUNDARIA
MINERALES		
1.- Oxidos de Fe (Fe 3 O4; Fe2 O3)	Agente oxidantes; fluidifican y dan basicidad a la escoria.-	Estabilizan el arco.-
2.- Rutilo (Ti O2)	Forma escoria. Estabiliza el arco.-	
3.- Cuarzo (Si O2)	Forma escoria.-	
FUNDENTES		
4.- Fluorita (F2 Ca)	Fluidifica la escoria; da basicidad.-	
5.- Caolín (A14 (OH) 8 Si 4 O 10)	Forma escoria.-	Estabiliza el arco.- Resistencia al recubrimiento
6.- Talco (Mo (OH)2 Si 4 O 10)	Forma escoria.-	Estabiliza el arco.-
7.- Feldepasto (K Al Si O2)	Forma escoria.-	Estabiliza el arco.-
8.- Amianto.	Forma escoria.- Da resistencia al recubrimiento.-	Estabiliza el arco.-
9.- Silicatos de K	Estabiliza el arco.- Forma escoria. Aglomerante.-	
10- Silicatos de Na	Forma escoria.Aglomerante	Estabiliza el arco.-
11- Calcita (CO 3Ca)	Da protección gaseosa.Estabiliza el arco.-	Da basicidad a la escoria Agente oxidante.-
12- Magnesita(CO3 Mg)	Da protección gaseosa.Estabiliza el arco.-	Da basicidad a la escoria
13- Dolomita (CO 3) 2 Ca Mg		

/16..-

(continuación)

MATERIAS PRIMAS	FUNCION PRINCIPAL	FUNCION SECUNDARIA
MATERIAS ORGANICAS		
14.- Celulosa	Protección gaseosa	Reductor. Da resistencia al recubrimiento.-
METALES		
15.- Ferro-manganeso	Forma escoria. Reductor.-	Repone el Mn en el cordón
16.- Polvo de hierro	Aumenta el rendimiento.-	
17.- Ferro aleaciones y No-ferrosos	Aportan elementos aleantes.-	

Se puede clasificar la función del revestimiento en 3 roles:

a) Metalúrgico
b) Eléctrico
c) Físico-Mecánico

a) FUNCION METALURGICA DEL REVESTIMIENTO:

El electrodo se utiliza para realizar una junta soldada en el metal base, por lo tanto debe obtenerse un metal fundido que responde a características bien determinadas.-

El revestimiento colabora a obtener este resultado metalúrgico protegiendo el baño de fusión contra la acción exterior y aportando los elementos necesarios para compensar las pérdidas por oxidación y para mejorar ciertas propiedades del metal fundido.-

Protección gaseosa:

Hay materiales en los revestimientos que por combustión y/o descomposición en el arco eléctrico proveen de una atmósfera gaseosa protectora que no permiten contacto de los elementos del aire con el acero fundido.- En los electrodos celulósicos éste

es la celulosa, la que al descomponerse libera gas hidrógeno, fuertemente **reductor** que actúa:

- sobre el óxido de hierro $FeO + H_2 \rightleftharpoons Fe + H_2O$
- sobre el nitruro de hierro $2Fe_4N + 3H_2 \rightleftharpoons 8Fe + 2NH_3$

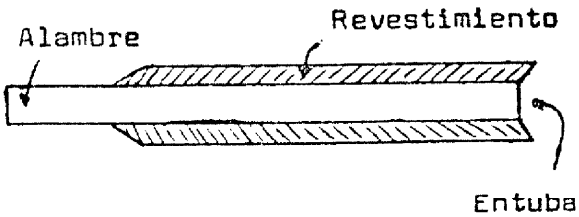
La mejora que se obtiene de las propiedades mecánicas corresponde a la disminución de óxidos en el metal depositado, y puede verse con un electrodo experimental.-

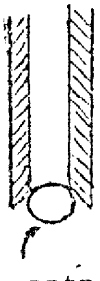
	Electrodo Experimental		Electrodo Experimental sin celulosa	
RT (Kg/mm^2)		48		50
Al (%)		12		17
CH (+20º C) (Kgm/cm^2)		4		15

En el caso de los electrodos básicos, que no poseen celulosa, la descomposición de los carbonatos brinda una atmósfera protectora de CO y CO_2.-

Protección mecánica:

Se produce en aquellos casos en que la velocidad de fusión del revestimiento es menor que la del alambre, provocándose un entubado del alambre, dentro del revestimiento, el que actúa como protector mecánico de la gota en estado líquido.-





Protección por la escoria:

En las operaciones metalúrgicas el papel fundamental de las escorias es absorber ciertas impurezas del metal.- En soldadura esta función se ve equilibrada con la de proteger el metal mientras está en estado líquido y luego actuar como aislante demorando el enfriamiento del mismo, además de proveer elementos de aleación.

La composición química de la escoria determina el grado de acidez o basicidad de la misma, los que pueden variar en todo el espectro.- No existe el problema de limitación de composición de las escorias metalúrgicas para evitar el ataque de fractario de los hornos.- Son constituyentes ácidos de la escoria Si O2-TiO2-AlO_2 y básicos el OCa, OMg, Mn2 O3, etc.- Un modo de medir la basicidad de la escoria de electrodos básicos es, después de un análisis químico, realizar el cociente de componentes básicos a ácidos; cuanto mayor es este cociente, mayor es la basicidad de la escoria y por lo tanto, el carácter básico del electrodo.-

Las reacciones metal-escoria, que pueden interesar desde el punto de vista de la soldadura del acero, son:

$$C + 2\,Fe\,O \rightleftharpoons 2\,Fe + CO_2 \qquad \text{(reducción y protección)}$$

$$C + Fe\,O \rightleftharpoons Fe + CO \qquad \text{(reducción y protección)}$$

$$Si + 2\,Fe\,O \rightleftharpoons 2\,Fe + Si\,O_2 \qquad \text{(reducción)}$$

$$2P + 3\,Fe\,O \rightleftharpoons 5\,Fe + P_2O_5 \qquad \text{(desfosforización)}$$

$$S + Mn \rightleftharpoons S\,Mn \qquad \text{(desulfurización)}$$

Aporte de elementos de aleación:

A pesar del corto tiempo de contacto entre el metal depositado y el revestimiento o la escoria, el aporte de elementos de aleación por medio del revestimiento, es apreciable.-

Una experiencia simple consiste en introducir pirita (Sfe) en el revestimiento: soldar cordones en ángulo aparecen fisuras en caliente.- Si ahora agregamos además ferromanganeso a ese mismo revestimiento, no aparecerán las fisuras en la soldadura de filete.- Esto muestra la transferencia de azufre al metal depositado y su eliminación por la acción del manganeso.-

El revestimiento puede tener una gran influencia sobre la composición química del metal depositado.- Así es posible fabricar un electrodo con alma de acero dulce cuyo depósito es un inoxidable del tipo 18/8; el cromo y niquel necesario se encuentran en el revestimiento y la aleación se produce en el proceso de formación de la gota metálica en la punta del electrodo.-

b) FUNCION ELECTRICA DEL REVESTIMIENTO:

El encendido y la estabilidad del arco de soldadura dependen de la ionización de su atmósfera y esa ionización puede estar favorecida por la introducción en el revestimiento de sustancias de bajo potencial de ionización.- El potasio y el sodio tienen potenciales de ionización de 4,1 y 5,1 eV respectivamente, mientras que el fluor tiene 18 eV.- Por lo tanto en aquellos casos en que sea necesario un contenido elevado de fluoruro de calcio, por su positivo efecto metalúrgico, debe compensarse con suficientes sales de potasio y/o sodio con el fin de obtener un arco estable.-

La composición del revestimiento determina, por su acción eléctrica, la naturaleza de corriente apta para el soldeo (CC ó CA) y la polaridad en corriente continua.-

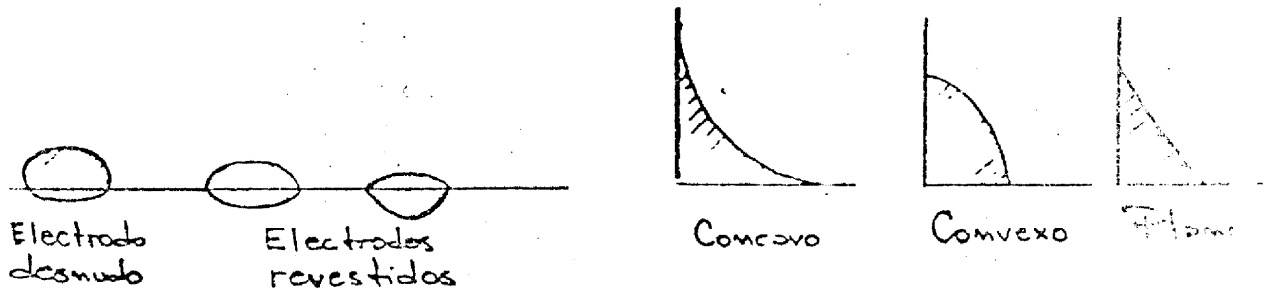
c) FUNCION FISICA Y MECANICA:

El revestimiento influye sobre la facilidad en la operación de soldadura,- Mediante la composición del revestimiento se puede:

1.- Influir sobre la forma del depósito del electrodo.
2.- Influir la penetración.
3.- Hacer posible la soldadura en toda posición.
4.- Evitar un arco errático.
5.- Ayudar a la transmisión del calor al metal.

1.- Formas del depósito:

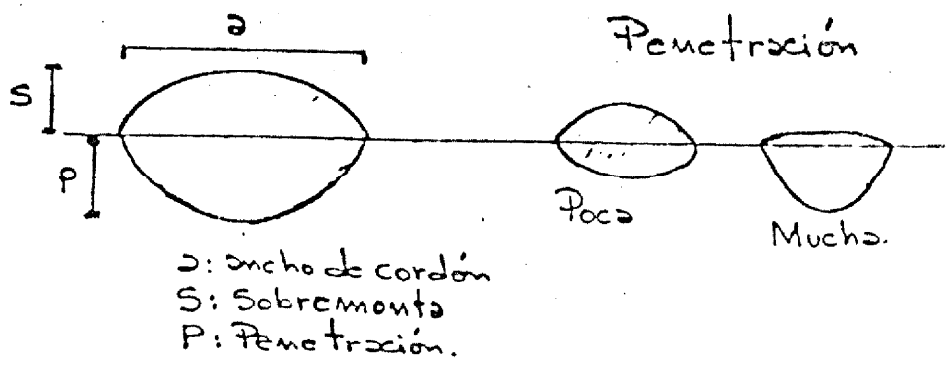
Los electrodos desnudos forman un depósito de gran sobremonta.- El revestimiento reduce la sobremonta y el tipo de revestimiento influye sobre las dimensiones del cordón.-



En la soldadura en ángulo pueden obtenerse cordones cóncavos o convexos, y esto es función del revestimiento que actúa variando la tensión superficial del metal en estado líquido.-

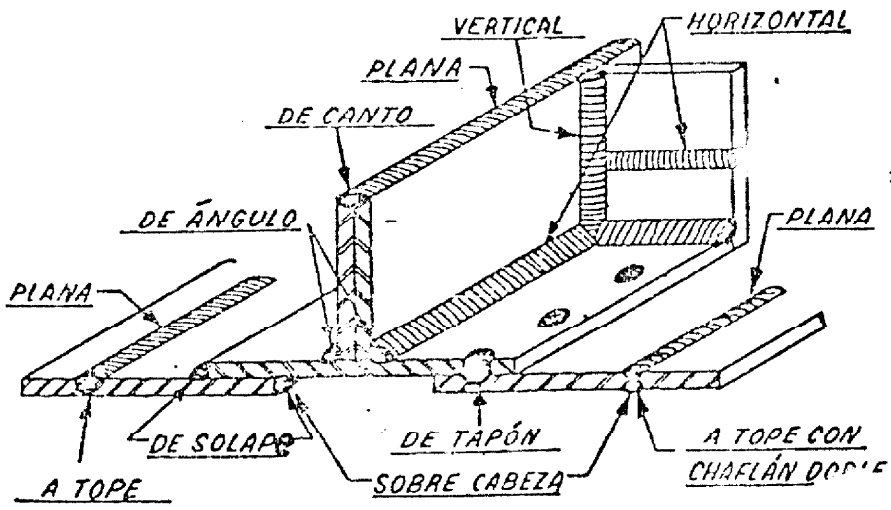
2.- Penetración:

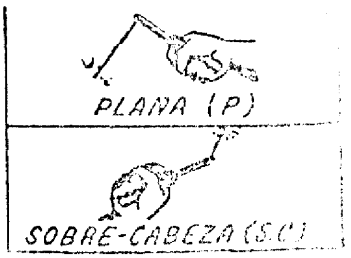
La formación del cráter de soldadura está íntimamente ligada a la temperatura de fusión del revestimiento.- Los electrodos de gran penetración poseen un revestimiento capaz de generar flujo gaseoso intenso y de fusión más lenta que el alambre.- Al producirse el entubamiento en la punta del electrodo, el flujo gaseoso se concentra como en una tobera y se dirige concentrado al metal base.- De esta manera, la concentración de calor, produce la gran penetración.-

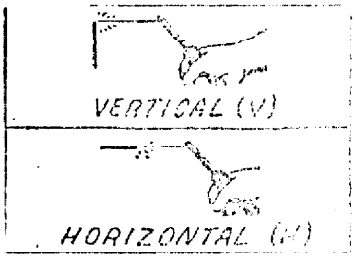


3.- Soldadura en toda posición:

Cada posición de soldadura exige un tipo de revestimiento especial, que provoque un modo de transferencia del metal fundido que lo haga apto para la soldadura en esa posición.-

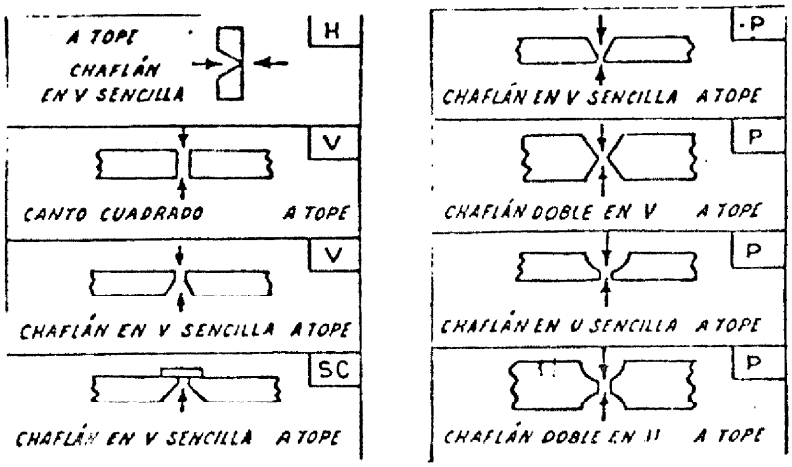






4.- Arco errático:

Con un electrodo desnudo el arco tiene tendencia a seguir el camino de menor resistencia eléctrica y el punto de impacto sobre la pieza a soldar sufre desviaciones continuas; esto es un arco errático.- Es así que al soldar una junta con chaflán en V el arco puede oscilar entre las dos paredes laterales.- La función del revestimiento es de hacer de guía mecánica para el arco eléctrico.-



CONARCO
-22-

5.- Transmisión del calor:

El gas formado por la descomposición de materias primas del revestimiento contribuye a la transmisión del calor al metal base.- En el arco, los gases como H_2, O_2 N_2, etc., se disocian al estado atómico, absorbiendo una gran cantidad de energía

Estos átomos ionizados se recombinan en la superficie metálica, en gran parte, en estado molecular, cediendo al metal su calor de disociación.- De esta manera, facilitan el calentamiento del metal.- La escoria formada sobre el depósito de solda dura, lo protege contra la atmósfera cuando aún está liquido, y retarda el enfriamiento cuando yá solidificó, de manera de permitir la formación de una estructura cristalina favorable.-

Tipos de electrodos:

En función de la composición del revestimiento se pueden clasificar los electr en tres grupos:

1.- Celulósicos
2.- Rutílicos
3.- Básicos

1.- ELECTRODOS CELULOSICOS:

Base del recubrimiento: celulosa (30%).- Puede contener hasta un 50% de silicato de Na.- Da muy buena protección gaseosa, con 40 a 50%, de CO, 6% de CO_2, 40% H_2 1 a 2% de H_2O.- Resultan así muy buenas propiedades del metal depositado.-

El plasma que se forma es muy fuerte lo que da como resultado una penetración profunda.-

La escoria resultante es fina y fácil de remover.- Da mucha salpicadura.- Puede ser usado en toda posición y sólo con corriente continua.-

2.- ELECTRODOS RUTILICOS:

Base del revestimiento: Rutilo (Ti O2): hasta 50%.- Puede contener hasta 10% de

CONARCO

amianto, 30% de silicato de Na, 10% de silicato de Al.-

De escoria densa y viscosa, su funcionamiento es suave y parejo y la penetración media.- El rutilo le da buena estabilidad al arco y bajo voltaje de operación, pudiendo ser utilizado ya sea con corriente continua o con alterna.-

Las propiedades mecánicas del material depositado no son tan buenas como en los celulósicos.-

3.- Electrodos Básicos:

Su revestimiento es complejo, pudiendo contener 40% de CO3 Ca, 15% F2 Ca, 10% de amianto, 25% silicato de Na.-

Conocidos como electrodos de bajo hidrógeno, ya que la ausencia de éste en la protección gaseosa asegura su escasa incorporación en la pileta líquida, que es causa de importantes inconvenientes.-

Las propiedades mecánicas del metal depositado son superiores a los dos anteriores utilizándose éste electrodo para aceros de alta resistencia.-

La presencia de sales de potasio en algunos de estos electrodos, por su ionización en la atmósfera del arco, permite su utilización con corriente alterna.-

Estos electrodos presentan una velocidad media de deposición, penetración moderada y una buena apariencia del cordón.-

En el cuadro siguiente se comparan las propiedades y características de los tres tipos de electrodos.- El número 1 indica el mejor resultado y el 3 el peor

/24.=

	CELULOSICO	RUTILICO	BASICO
Ductilidad	2	3	1
Penetración	1	3	2
Ausencia de socavado	3	1	2
Ausencia de salpicaduras	3	2	1
Eficiencia de deposición	3	1	2
Velocidad de deposición	3	2	1
Facilidad de manipuleo	3	1	2
Facilidad de re-encendido	2	1	3
Resistencia a la fisuración	3	2	1

NORMAS AWS

Estas normas adoptan una clasificación numérica que permite identificarlos de manera simple.-

1.- NORMA A 5.1

Normaliza los electrodos de acero dulce.- Quedan identificados por un prefijo que significa electrodo y 4 dígitos: E x x x x.- Los dos primeros dígitos indican en miles de libras por pulgada cuadrada, el valor mínimo exigido de resistencia a la tracción para una probeta de aporte puro, sin tratamientos térmicos posteriores

El tercer dígito establece las posiciones de soldadura en las cuales el electrodo debe soldar correctamente.- El último indica las características operativas, tipo de corriente, tipo de escoria, penetración, arco y polvo de hierro en el revestimiento.-

Si el valor mínimo exigido de resistencia a la tracción es de 100.000 psi o más el número de dígitos se eleva a cinco.- (1000 psi=0,7 kg/mm2).-

E x x x x

- resistencia a la tracción
- tipo de fuente, de escoria, penetración y tenido de polvo de hierro.-
- posición de soldadura:
  - 1): toda posición
  - 2): horizontal y plana
  - 3): plana solamente

INTERPRETACION DEL ULTIMO DIGITO

Último dígito	0	1	2	3	4	5	6	7	8
Corriente y polaridad	CC (+) (a)	C A CC (+)	C A CC (-)	C A CC (+)	C A CC (+)	CC (+)	C A CC (+)	C A C C	C A CC (+)
Escoria	Orgánica (b)	Orgánica	Rutílica	Rutílica	Rutílica	Básica	Básica	Mineral	Básica
Arco	Enérgico	Enérgico	Medio	Suave	Suave	Medio	Medio	Suave	Medio
Penetración	Profunda (c)	Profunda	Mediana	Poca	Poca	Mediana	Mediana	Mediana	Mediana
Polvo de hierro en revestim.	0-10%	--	0-10%	0-10%	30-50%	--	--	50%	30-50%

a: E 6020: CC $\pm$

b: E 6020: Mineral (0 Fe)

c: E 6020: Peretración media

CONARCO

ELECTRODOS TIPICOS:

E 6010: Electrodos de revestimiento celulósico aglutinado con silicato de sodio. El sodio se ioniza menos que el potasio por lo que el electrodo funciona sólo en CC; se usa polo positivo.- Tienen buenas características operativas en toda posición.- Se caracterizan por un arco enérgico de gran penetración, escoria muy delgada y de no fácil limpieza.- Se obtiene calidad radiográfica.- Se pueden usar sobre chapa oxidada.- Poseen un potente flujo gaseoso de protección, debido a la descomposición de la celulosa en el arco.-
Suelen tener un revestimiento fino, con factor $\frac{D}{d}$ = 1,3-1,4. Se aplican sobre aceros dulces en la construcción naval, puentes, tanques de almacenamiento, tuberías, etc.- En muchas aplicaciones va siendo reemplazado por electrodos básicos.-

E 6011: Es un electrodo celulósico, similar al E 6010, pero aglutinado con silicato de potasio, para obtener una mayor ionización en el arco y de esta manera poder soldar también con corriente alterna.- Las aplicaciones son similares a los E 6010, pero su uso es menor.- Aporta un metal con fluencia y resistencia algo mayor al E 6010.-

E 6012: Electrodo de revestimiento rutílico de factor 1,4-1,6. Se caracteriza por penetración mediana, arco suave, poco chisporroteo y escoria densa que cubre todo el depósito y es autodesprendible.- Apto para soldar en toda posición incluso vertical descendente hasta diámetro de 4,0 mm, debido a un contenido del 10-15% de celulosa en su revestimiento.- Opera con CA o CCPN.- Deposita filetes convexos, uniformes, de buena penetración.- Se usa cuando la preparación de la chapa no es muy buena.- Es un electrodo muy versátil y tiene sus principales aplicaciones en estructuras metálicas, industria automotor, maquinarias, tanques, etc.-

E 6013: Electrodo de revestimiento rutílico, similar al E 6012, de factor 1,5-1
No funciona tan bien en posición vertical descendente, debido al menor contenido en celulosa (3-6%).- Es el electrodo que deposita el cordón de me-

/28.=

jor aspecto, con escoria densa autodesprendible.- Funciona correctamente en CA aún en equipos de baja tensión en vacío (50 volts).-
En CC se utiliza polo negativo.- La penetración es menor que la del E6012 por lo que se usa mucho sobre chapa fina.- El arco es muy suave y casi sin chisporroteo.- Los filetes son cóncavos, de muy buena presentación.- Se utiliza en carrocerías, carpintería metálica, construcción de vagones, vehículos, etc.-

E 7014: Electrodo de revestimiento rutílico con agregado de polvo de hierro.- Mejor rendimiento que el E 6013, y el mismo rango de aplicaciones.- Funciona en CA y CCPN.- Poca penetración, opera correctamente en toda posición Su uso no está muy difundido en nuestro país.-

E 7015: Electrodo de revestimiento básico y aporte de bajo hidrógeno.- Desarrollado para soldar aceros de alta resistencia o alto carbono, donde los electrodos rutílicos o celulósicos producen grietas debajo del cordón.- Apto para soldar aceros de alto azufre.- El arco es de penetración media, escoria pesada y vítrea, de fácil quitado.- Apariencia de cordón buena, poco o levemente convexo.- Operan con CCPP.- Muy buenas propiedades mecánicas buen impacto a bajas temperaturas.- Bajo nivel de impurezas en el metal positado.- Calidad radiográfica.- Aptos para soldar grandes espesores. Funciona en toda posición, excepto vertical descendente.- Se utiliza en cañerías y tuberías, calderería, construcciones navales, tanques y recipientes a presión, etc.- Deben usarse solamente electrodos perfectamente secos

E 7016: Electrodo básico de bajo hidrógeno similar al E 7015, pero apto para ser utilizado en CA y CCPP.-

E 7018: Electrodo básico de bajo hidrógeno similar al E 7015, pero con agregado de polvo de hierro (30%), lo que aumenta su rendimiento, facilita su manejo y mejora el aspecto del cordón depositado.- Escoria más fácil de eliminar.- Todos los electrodos básicos deben utilizarse con arco corto.-

E 7024: Electrodo rutílico con agregado de polvo de hierro (50%) en el revestimiento.- Gran rendimiento de deposición.- Se puede utilizar como electrodo de contacto apoyándolo y arrastrándolo sobre la junta.- Funciona con CA y CC PN; apto para soldar en posición plana y filete horizontal.- Excelentes

-29-

pecto del cordón y escoria autodesprendible.- Factor de revestimiento ... -2,2. Requieren mayores intensidades de corriente que el E 6012 y E 6013

E 7028: Electrodo básico con agregado de polvo de hierro (50%) en el revestimiento Electrodo de gran rendimiento, es la versión básica del E 7024.-

CONTROL DE CONSUMIBLES:

Como los electrodos son clasificados en base a las propiedades mecánicas del metal de aporte puro, del tipo de recubrimiento, posición de soldadura y tipo de corriente la norma dicta la forma de controlar que un electrodo cumpla con los requerimientos, estableciendo los ensayos que se deben cumplir:

Químicos
Radiografía
Tracción
Resiliencia (impacto)

COMPOSICION QUIMICA:

La AWS A 5.1 establece la siguiente composición química de los electrodos:

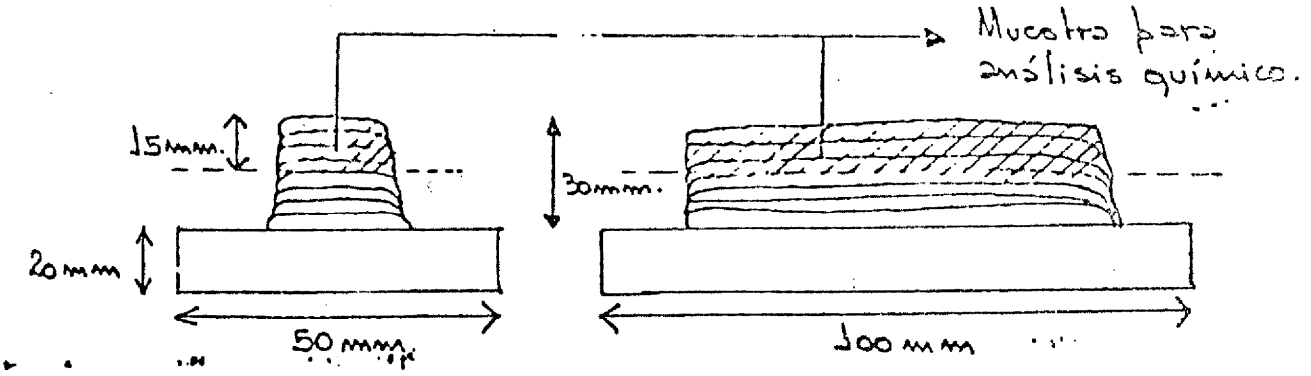
	Mn	Si	Ni	Cr	Mo	V
E 7014/7015 7016/7018 7024/7028	1.25	0,90	0,30	0,20	0,30	0,80
E 6010/6011 6012/6013	No especifica requerimiento.					

Los valores especifican siempre el máximo permisible para ese elemento.-

Para determinar la composición química del metal de aporte, se realiza una probeta sobre una planchuela de acero al carbono tipo SAE 1010 de 100 x 50 x 20 mm, depositando cordones superpuestos hasta una altura de 30 mm.- Después de cada cordón se elimina la escoria.- Entre cordón y cordón puede enfriarse la probeta en un recipiente con agua.- La muestra para análisis químico se retira por maquinado a

/30.

los últimos 15 mm. de aporte.-



Los procedimientos para realizar los análisis se establecen de común acuerdo entre consumidor y proveedor.

REQUISITOS RADIOGRAFICOS:

Establece patrones aceptables de porosidad, definiendo dos grados y dentro de de ellos cuatro standards distintos según su tamaño.-

Se toman 6 pulgadas (15cm) de soldadura, para el grado 1, y 51/2 pulgadas para el grado 2 y se comparan con los patrones, no debiendo ser superados ni el número ni el tamaño por ellos establecidos.-

Los electrodos, establece la norma, deben cumplir con lo siguiente:

E 7015
E 7016
E 7018
E 7020
E 7028

} GRADO 1

CONARCO

E 6010 E 6011 E 6013 E 7014 E 7024 E 6027	GRADO 2
E 6012	No especifica

TRACCION:

La probeta de tracción debe ser de metal de aporte puro, obtenida de una muestra extraída del centro de la zona de metal aportado.-
En la figura 5 se observa como se extrae la probeta y sus dimensiones están normalizadas.- También normaliza la forma de hacer el depósito, la temperatura entre pasadas, número de pasadas y tamaño de las chapas sobre las que se hace el depósito.- De este ensayo se obtienen: resistencia a la tracción, tensión de fluencia alargamiento.- Para todos ellos la norma da valores mínimos.-

IMPACTO: Ensayo Charpy V.

Del mismo depósito hecho para obtener la probeta de tracción y la de radiografía se maquinan cinco probetas, de dimensiones normalizadas, extraídas según indica figura 5.-

De los cinco valores obtenidos, se desprecian el más alto y el más bajo y se promedian los otros tres.-

Los valores mínimos que establece la norma son:

E 6010/6011
6027/7015
7016/7018 } a - 29º C: 3,5 Kgm/cm^2

/31.-

CONACER

E 7028 a - 18º C: 3,5 Kgsm/cm^2

E 6012/6013
6024/7014 No especifica
7024

Si los electrodos funcionan con corriente continua y alterna, la norma establece que se deben hacer depósitos con ambas.- Establece además que el electrodo debe ser depositado en posición plana (bajo mano) y que las probetas deben ser extraídas del metal tal cual queda al ser depositado, es decir, sin ningún tipo de tratamiento térmico.-

AWS A 5.5:

Esta especificación describe los electrodos revestidos que aportan un metal de soldadura de baja aleación.- Se utiliza el mismo sistema de clasificación que en la norma AWS A5.1 - 69, para aceros dulces, pero agregando un sufijo que indica el agregado de uno o más elementos que mejoran las propiedades del metal de aporte

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, 0,35 % Mo, 0,15 % Cr
D1 : 0,25-0,45 Mo, 1,75 Mn
D2 :
G : 0,5 mín. Ni ó 0,3 % mín. Cr ó 0,2 % mín. Mo ó [illegible] % mín. Mn.-
Se requiere uno sólo de los elementos como mínimo

M : Corresponde a electrodos que cumplen con requisitos de composición fijados por organismos militares para soldar aceros de uso bélico.-

Generalmente, estos electrodos se utilizan para soldar aceros de composición similar a la del metal depositado y su desarrollo ha sido posterior al de los aceros En las normas AWS, cuando se indica un valor para un elemento, sin ningún tipo de aclaración, se entiende como valor máximo.-

CONARCO

Si bien existen electrodos celulósicos y rutílicos dentro de los de baja aleación son los básicos, por su bajo aporte de hidrógeno, los que tienen mayor difusión.

Los electrodos A1 y Bx son de muy buenas propiedades a altas temperaturas, usándose en distintas partes de equipos generadores de vapor de alta y muy alta presión para la industria de combustibles líquidos, energía, plásticos, etc.-

Los electrodos Cx, por su contenido de Ni, son ideales por su resistencia al impacto a bajas temperaturas, siendo utilizados en la construcción de recipientes para combustibles licuados a presión, para climas con temperaturas bajo cero.-

Los valores de impacto exigidos por norma a estos electrodos son:

E 8016 - C3	3.5 kgm/cm^2, a - 40º C.
E 8018 - C3	
E 8016 - C1	3.5 Kgm/cm^2, a - 60º C.
E 8018 - C1	
E 8016 - C2	3.5 Kgm/cm^2, a - 73º C.
E 8018 - C2	

Estos valores, en la práctica, son ampliamente superados.-

Los electrodos D1 y D2 contienen Mn y Mo en proporciones que les permiten alcanzar 65 y 70 Kg/mm2 de resistencia a la tracción.-

Todos estos electrodos exigen, por las tensiones puestas en juego, un precalentamiento de la junta a soldar y la mayoría de ellos también exige tratamiento térmico posterior a la soldadura.-

CONTROL DE CONSUMIBLES:

Los ensayos normalizados para electrodos son similares a los establecidos por la norma A 5.1.- La diferencia fundamental estriba en que , antes de cortar las probetas para efectuar los ensayos se debe realizar un alivio de tensiones a temperaturas específicadas por la norma. Los electrodos E 8016 - C3, E 8018 - C3 y Exx18-C3

/33..

son eximidos de esta exigencia.-

AWS A 5.4:

Normaliza los electrodos de acero inoxidable. Utiliza la misma clasificación de AISI, precedida por la letra E.-

Se dividen en tres series:

E 3 x x : Austeníticos
E 4 x x : Ferrítico - martensíticos
E 5 x x : Se agrupan dentro de los inoxidables por su contenido de Cr, aún cuando no lo son.-

La norma, además, les agrega dos dígitos que tienen el mismo significado que en normas antes mencionadas.- Así, por ejemplo, un E 308 - 15 es un electrodo austenítico de características básicas (5), suelda en toda posición (1), con corriente continua polo positivo (5).-

Algunos de estos electrodos llevan una letra L en su nomenclatura: E 308 L.- Esto significa que el contenido de carbono es extremadamente bajo, 0.04 % máximo, lo que reduce la necesidad de estabilizar el electrodo para evitar la corrosión intergranular.-

Estos electrodos se usan para soldar desde aceros de composición similar hasta aceros al carbono.-

Para soldar aceros al carbono, juntas de materiales disímiles, o cualquier acero cuya composición se desconozca, existen tres electrodos de la serie E 3 xx:
E (307) 16: No está normalizado pero es de uso extenso, no por su resistencia a la corrosión, sino por su capacidad de lograr juntas de alta resistencia, sin agrietamiento, en aceros templables de gran espesor y en condiciones extremas de rigidez.- Se usa también para soldadura entre diversos aceros inoxidables.- Su composición responde a una AISI 304 (18 Cr - 8 Ni) con un agregado de 6% de Mn

E 309-15/16: Su composición nominal es 25% Cr - 12% Ni.- Son de excelente comp

miento en condiciones de corrosión severa.- Además de soldar aceros de composición similar, se utiliza para aceros disímiles, como por ejemplo 18-8 con acero al C. Es utilizado también para plaqueado.-

E 312 - 15/16: Su composición nominal es 29% Cr. - 9 %Ni.- Originalmente d llado para soldar aleaciones fundidas de características similares, se exte su uso a la soldadura de disímiles, uno de los cuales es de alto níquel.- E. excelente ductilidad, su alto porcentaje de ferrita (30%) impide la fisurac frío y en caliente.- Es también utilizado como base para aportes duros.-

Otros electrodos de esta serie de gran consumo son: E 308 - 15/16, E 310 - 1 E 316 L - 15/16, E 318 - 15/16, E 347 - 15/16.-

E 308 - 15/16:

Es una excepción de la normalización AISI, su composición responde a un AISI (19-9).- Es uno de los electrodos inoxidables de mayor utilización, empleándo para soldar aceros de composición similar y otros inoxidables al Cr - Ni.- Su principal aptitud consiste en superar la resistencia a la corrosión de estos ros en su gran variedad de aplicaciones, sin dejar de lado las demás propied de la soldadura.-

E 310 - 15/16:

La composición nominal de este electrodo es 25% Cr- 20% Ni.- Fueron desarroll para soldar aceros de composición similar.- Tiene propiedades a alta temperat Soporta de manera excelente la corrosión por picaduras.-

E 316 - 15/16:

Su composición nominal es 18% Cr, 12% Ni, 2% Mo.- La presencia de Mo aumenta sistencia al ataque de muchos agentes químicos y en servicio a alta temperatu contribuye a aumentar la resistencia a la fluencia lenta.- Se utiliza para so aceros AISI 316 y similares.-

E 318 - 15/16:

Su composición nominal es igual a la del E 316 pero tiene agregado Cb como est[abi]lizador contra la corrosión intergranular, debida a la precipitación de carb[uros]. Se usa para soldar aceros de composición similar.-

E 347 - 15/16:

Su composición nominal es igual a la del E 308 pero con agregado de Cb por la razón que el E 318.- Tiene mejor resistencia mecánica a alta temperatura que el 308.- Se utiliza para soldar aceros similares.-

Ocurre a veces que estando el acero estabilizado aparece fisuración en cali[ente] ambos lados del cordón de soldadura, llamada fisuración en hoja de cuchillo. La razón de ésta no se conoce muy bien pero se cree que está asociada a una pre[cipita]ción preferencial de carburos de cromo a determinadas temperaturas.-

Por esta razón se han difundido los electrodos E 308 L y E 316 L, que por su contenido de carbono disminuye la precipitación de carburos de cromo y por lo to la corrosión.-

De la serie 4 x x los electrodos normalizados son:

E 410 - 15/16: Su composición nominal es de 12 % Cr: Es un acero templable al [aire] y por lo tanto requiere precalentamiento y tratamiento térmico posterior, para tener una ductilidad adecuada, en la mayoría de los casos.- Se utiliza para [soldar] aceros de composición similar y para recubrir aceros al carbono, dándole una [buena] resistencia a la corrosión, a la abrasión o a la erosión, como en los asien[tos] de válvula.-

E 430 - 15/16: Composición nominal: 15 - 18 % Cr.- Al igual que el 410 requiere precalentamiento y tratamiento posterior.- Se utiliza en los casos similares al 410.- Sobre un acero al carbono permite obtener, en primera pasada, un depósito

/36.

con 11% Cr. (AISI 410).-

Dentro de la serie 5 x x hay dos electrodos:

E 502 - 15/16: Contiene un 5% Cr y 0,5 % Mo y es usado para soldar aceros de composición química similar, especialmente en forma de cañerías.- Es autotemplable y debe ser precalentado.-

E 505 - 15/16: Contiene un 7% de Cr y 1% de Mo.- Se usa para soldar aceros de composición similar en forma de cañerías.- Es un material templable al aire y debe ser precalentado y tratado térmicamente luego de soldar.-

CONTROL DE CONSUMIBLES:

Esta norma, al igual que la A 5.1, normaliza el ensayo de tracción, para varios de los valores de resistencia a la tracción, la fluencia y el alargamiento y el análisis químico.- No establece sin embargo, un ensayo de impacto ni requerimientos radiográficos.-

AWS A 5.15:

Normaliza los electrodos para soldar fundición.- Indica con una E cuando se trata de un electrodo, una R indica un alambre y B cuando se trata de metal de aporte para brazing (o sol brazado).-

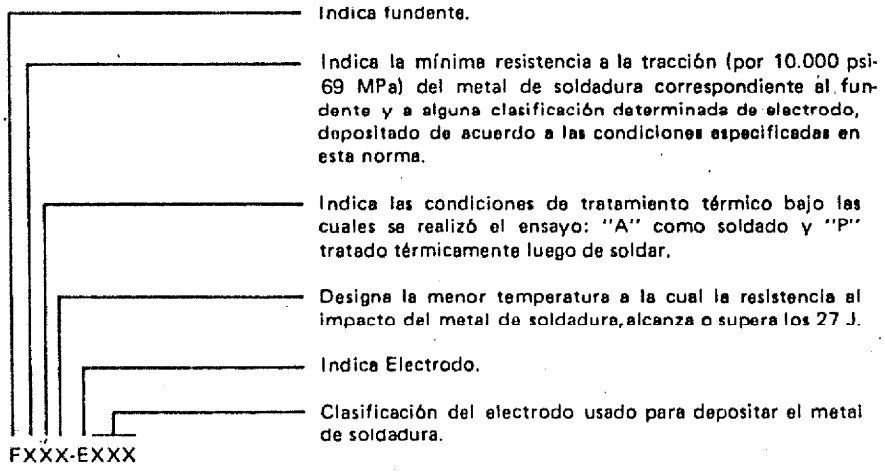
Estas letras están seguidas de los símbolos químicos de los principales elementos que componen el electrodo.- Donde se incluye más de una clasificación dentro de un grupo , la clasificación individual dentro del mismo se identifica con una letra A, B, C, ...- Una subdivisión mayor se realiza usando dígitos: 1, 2, etc.- Por ejemplo: E Cu A1-A2.-

Cuando aparece el sufijo CI significa que el material se usa para fundición.

AWS A5.17-80
Extracto de Norma

Alambres y fundentes para soldadura por arco sumergido de aceros al carbono

Sistema de clasificación



Ejemplo: Una designación completa es F7A6-EM12K. Se refiere a un fundente que cuando se deposita con un electrodo EM12K, dará como resultado un metal de soldadura, el cual, sin tratamiento térmico posterior, tendrá una resistencia a la tracción no inferior a 70.000 psi (480 MPa) y una resistencia al impacto no menor de 27 J a −51 °C.

Requerimientos de composición química para los alambres

TABLA 1

Clasificación del alambre	Porcentajes máximos de composición química (en peso)[a, b]					
	C	Mn	Si	S	P	Cu[c]
Alambres de bajo manganeso						
EL8	0,10	0,25-0,60	0,07	0,035	0,035	0,35
EL8K	0,10	0,25-0,60	0,10-0,25	0,035	0,035	0,35
EL12	0,05-0,15	0,25-0,60	0,07	0,035	0,035	0,35
Alambres de mediano manganeso						
EM12	0,06-0,15	0,80-1,25	0,10	0,035	0,035	0,35
EM12K	0,05-0,15	0,80-1,25	0,10-0,35	0,035	0,035	0,35
EM13K	0,07-0,19	0,90-1,40	0,35-0,75	0,035	0,035	0,35
EM15K	0,10-0,20	0,80-1,25	0,10-0,35	0,035	0,035	0,35
Alambres de alto manganeso						
EH14	0,10-0,20	1,70-2,20	0,10	0,035	0,035	0,35

(Continúa)

Tabla 1 (Continuación)

a) • Los valores únicos son máximos.

b) • Los alambres se analizarán para los elementos indicados. Se deberá informar todo otro elemento agregado intencionalmente (excepto el hierro). El total de estos últimos elementos, así como cualquier otro que no haya sido agregado intencionalmente, no deberá superar el 0,50%.

c) • El límite del cobre incluye toda capa de cobre que pudo haber sido aplicada al alambre.

Requerimientos de tracción para el metal de aporte puro

TABLA 2

Clasificación del fundente[a]	Resistencia a la tracción		Tensión mínima de fluencia[b]		Alargamiento mínimo 2",[b] %
	psi	MPa	psi	MPa	
F6XX-EXXX	60 000-80 000	415-550	48 000	330	22
F7XX-EXXX	70 000-95 000	480-650	58 000	400	22

a) • La letra "X" usada en los distintos lugares establece, respectivamente: tratamiento térmico, tenacidad del metal de soldadura y la clasificación del alambre (ver sistema de clasificación).

b) • Tensión de fluencia en el límite 0,2 y alargamiento en 2" (51 mm).

Requerimientos de impacto[a]

TABLA 3

Dígito	Temperatura de ensayo °C	Nivel mínimo de energía
Z	—	Sin requerimiento
0	−18	27 Joules
2	−29	
4	−40	
5	−46	
6	−51	
8	−62	

a) • Basándose en los resultados de los ensayos de impacto del metal de soldadura, el fabricante incluirá en la clasificación (tabla 2) el dígito correspondiente según esta tabla, como se indica en el sistema de clasificación.
El metal de soldadura de una combinación específica fundente-alambre que alcanza los requerimientos de impacto a una dada temperatura, también los alcanza a mayores temperaturas que las indicadas por esta tabla. (Por ejemplo, un metal depositado que alcanza los requisitos del dígito 5, también lo hace para los dígitos 4, 2, 0 y Z.)

AWS A5.18-79
Extracto de Norma

Metales de aporte para soldadura por arco bajo gas de aceros al carbono

Requerimientos de composición química para los alambres

TABLA 1

Clasificación AWS[a]	Porcentajes máximos de composición química (en peso)												
	C	Mn	Si	P	S	Ni	Cr	Mo	V	Cu[b]	Ti	Zr	Al
ER70S-2	0,07	0,90 a 1,40	0,40 a 0,70	0,025	0,035	c	c	c	c	0,50	0,05 a 0,15	0,02 a 0,12	0,05 a 0,15
ER70S-3	0,06 a 0,15	0,90 a 1,40	0,45 a 0,70								—	—	—
ER70S-4	0,07 a 0,15	1,00 a 1,50	0,65 a 0,85								—	—	—
ER70S-5	0,07 a 0,19	0,90 a 1,40	0,30 a 0,60								—	—	0,50 a 0,90
ER70S-6	0,07 a 0,15	1,40 a 1,85	0,80 a 1,15								—	—	—
ER70S-7	0,07 a 0,15	1,50 a 2,00[d]	0,50 a 0,80								—	—	—
ER70S-G	Sin requerimientos químicos[e]												

Nota: Los valores únicos son máximos.

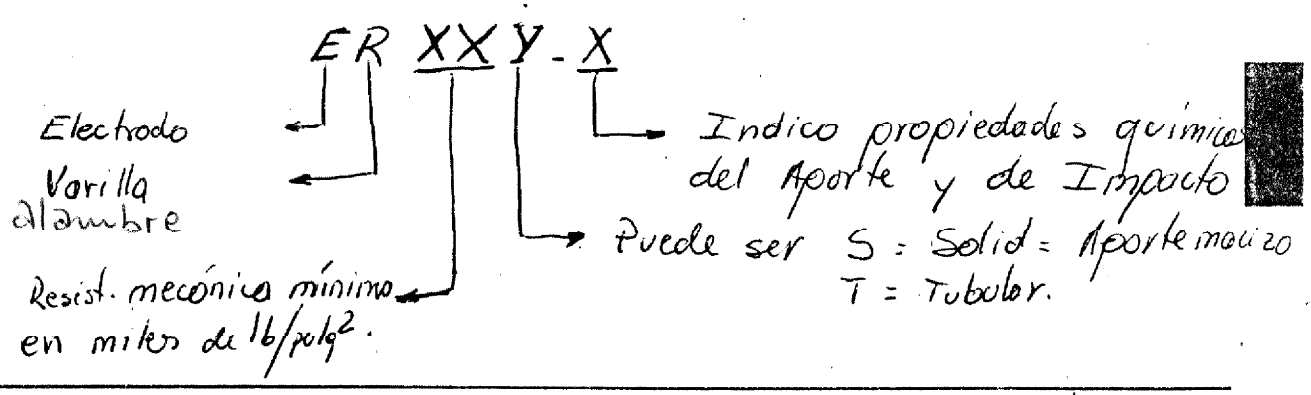
a) • El electrodo clasificado como E70S-1B en la edición anterior de esta norma, ahora se encuentra clasificado como ER80S-D2 en la norma AWS A5-28: Metales de aporte para soldadura por arco bajo gas de aceros de baja aleación.

b) • El porcentaje en peso máximo para el cobre del electrodo, ya sea del recubrimiento como del contenido de cobre residual en el acero, deberá ser 0,50.

c) • Estos elementos pueden estar presentes pero no se los agrega intencionalmente.

d) • En esta clasificación, el Mn máx puede exceder el 2,0%. Si eso sucede, el C máx debe reducirse en 0,01% por cada 0,05% de incremento en el Mn.

e) • Para esta clasificación no hay requerimientos químicos, con la sola excepción de que no se adicionarán en forma intencional Ni, Cr, Mo o V.



querimientos de tracción para el metal de aporte puro[a]

TABLA 2

ficación	Gas de protección[b]	Resistencia mínima a la tracción[c, d]		Tensión mínima de fluencia en el límite 0,2[c, d]		Alargamiento mínimo en 2" (50 mm) %
		ksi	MPa*	ksi	MPa*	
0S-2 0S-3 0S-4 0S-5 0S-6 0S-7	CO_2	72	500	60	420	22
0S-G	Se acuerda entre cliente y proveedor	72	500	60	420	22

a) • Propiedades mecánicas "como soldado", electrodo al polo positivo.

b) • CO_2 = protección gaseosa de dióxido de carbono. El uso de CO_2 para la calificación no debe interpretarse como una restricción al uso de mezclas de gases protectores como Argón-CO_2 y Argón-O_2. Un metal de aporte clasificado con CO_2 puede obtener los requerimientos de esta norma cuando se suelda con mezcla de gases Ar-CO_2 y Ar-O_2.

c) • Propiedades mecánicas determinadas en una probeta de metal de soldadura.

d) • Para cada incremento de un punto porcentual por arriba del mínimo de alargamiento, la tensión de fluencia o la resistencia a la tracción, o ambas, pueden disminuirse en 69 MPa hasta un mínimo de 480 MPa. Para la resistencia a la tracción y 400 MPa para la tensión de fluencia.

querimientos de impacto

TABLA 3

Clasificación AWS	Propiedades mínimas de impacto[a]
ER70S-2	27 J a −29 °C
ER70S-3	27 J a −18 °C
ER70S-4	Sin requerimiento
ER70S-5	Sin requerimiento
ER70S-6	27 J a −29 °C
ER70S-7	27 J a −29 °C
ER70S-G	Se acuerda entre cliente y proveedor

a) • Se deberán descartar los valores máximo y mínimo obtenidos. Dos de los tres valores restantes deberán ser mayores de 27 J. El restante podrá ser menor, pero no inferior a 20 J. El promedio de las tres determinaciones deberá ser mayor o igual a 27 J.

la 1 (Continuación)

d) • Se informará la cantidad de estos elementos si se agregaron intencionalmente.

e) • Solamente para alambres autoprotegidos.

f) • Se deberá determinar la cantidad de este elemento.

g) • No son significativos los análisis del metal de soldadura no diluido, dado que estas clasificaciones son para soldaduras de una sola pasada con alta dilución.

Requerimientos mecánicos para el metal de soldadura[a]

TABLA 2

Clasificación AWS[b]	Resistencia a la tracción[c]		Tensión de fluencia[c]		Alargamiento en 2" (50 mm)[c]	Impacto con entalla en V
	ksi	MPa	ksi	MPa		
E6XT-1	62	428	50	345	22	27 J a −18 °C
E6XT-4	62	428	50	345	22	Sin requerimiento
E6XT-5	62	428	50	345	22	27 J a −29 °C
E6XT 6	62	428	50	345	22	27 J a −29 °C
E6XT-7	62	428	50	345	22	Sin requerimiento
E6XT-8	62	428	50	345	22	27 J a −29 °C
E6XT-11	62	428	50	345	22	Sin requerimiento
E6XT-G	62	428	50	345	22	Sin requerimiento
E6XT-GS	62	428		Sin requerimiento		Sin requerimiento
E7XT-1	72	497	60	414	22	27 J a −18 °C
E7XT-2	72	497		Sin requerimiento		Sin requerimiento
E7XT-3	72	497		Sin requerimiento		Sin requerimiento
E7XT-4	72	497	60	414	22	Sin requerimiento
E7XT-5	72	497	60	414	22	27 J a −29 °C
E7XT-6	72	497	60	414	22	27 J a −29 °C
E7XT-7	72	497	60	414	22	Sin requerimiento
E7XT-8	72	497	60	414	22	27 J a −29 °C
E7XT-10	72	497		Sin requerimiento		Sin requerimiento
E7XT-11	72	497	60	414	22	Sin requerimiento
E7XT-G	72	497	60	414	22	Sin requerimiento
E7XT-GS	72	497		Sin requerimiento		Sin requerimiento

Nota: Los valores corresponden a la condición "como soldado".

a) • Los valores simples son mínimos.

b) • Las clasificaciones E6XT-GS, E7XT-2, E7XT-3, E7XT-10 y E7XT-GS son para soldaduras de una sola pasada. Sólo se requieren ensayos de tracción transversal y plegado longitudinal guiado.

c) • Para cada aumento de un punto porcentual sobre el mínimo de alargamiento, la tensión de fluencia o la resistencia a la tracción requeridas, o ambas, pueden disminuirse en 6,9 MPa, hasta un máximo de reducción de 13,8 MPa.

Protección y polaridad

TABLA 3

Clasificación AWS[a]		Medio de protección externo	Corriente y polaridad
EXXT-1	(multipasadas)	CO_2	CC (+)
EXXT-2	(una sola pasada)	CO_2	CC (+)
EXXT-3	(una sola pasada)	Ninguno	CC (+)
EXXT-4	(multipasadas)	Ninguno	CC (+)
EXXT-5	(multipasadas)	CO_2[b]	CC (+)
EXXT-6	(multipasadas)	Ninguno	CC (+)
EXXT-7	(multipasadas)	Ninguno	CC (−)
EXXT-8	(multipasadas)	Ninguno	CC (−)
EXXT-10	(una sola pasada)	Ninguno	CC (−)
EXXT-11	(multipasadas)	Ninguno	CC (−)
EXXT-G	(multipasadas)	b	b
EXXT-GS	(una sola pasada)	b	b

a) • Se omitió la designación EXXT-9.

b) • Se acuerda entre cliente y proveedor.

apítulo 4

iseño de uniones y terminología

ara el diseño de la junta hay que tener en cuenta ierosos factores, entre los que podemos destacar siguientes: costo de preparación, facilidad de acce- adaptabilidad al producto que se trata de fabricar po de cargas que debe soportar la soldadura.
os cinco tipos básicos de uniones utilizadas en ladura son la unión a tope, uniones a solape, uniones en ángulo interior (rincón), uniones en ángulo exterior (esquina) y uniones sobre cantos, (ver fig. 4-1). Cada una tiene ventajas y limitaciones, y el soldador debe conocer unas y otras, puesto que, en muchos casos, la efectividad de la soldadura depende tanto del tipo de unión como de la habilidad para depositar un cordón de calidad.

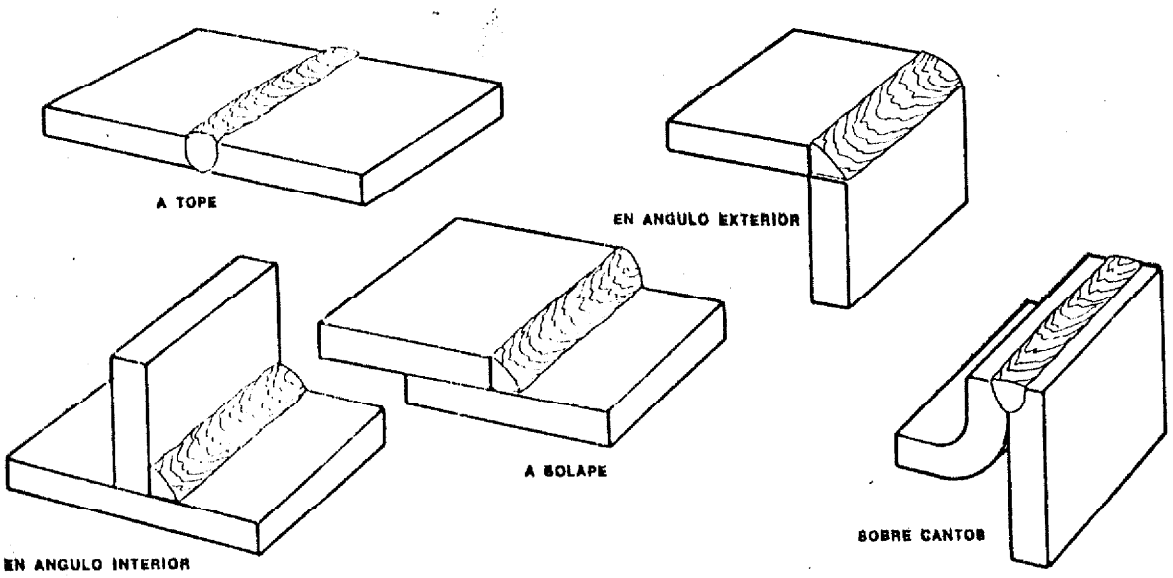


Fig. 4-1. Tipos básicos de uniones.

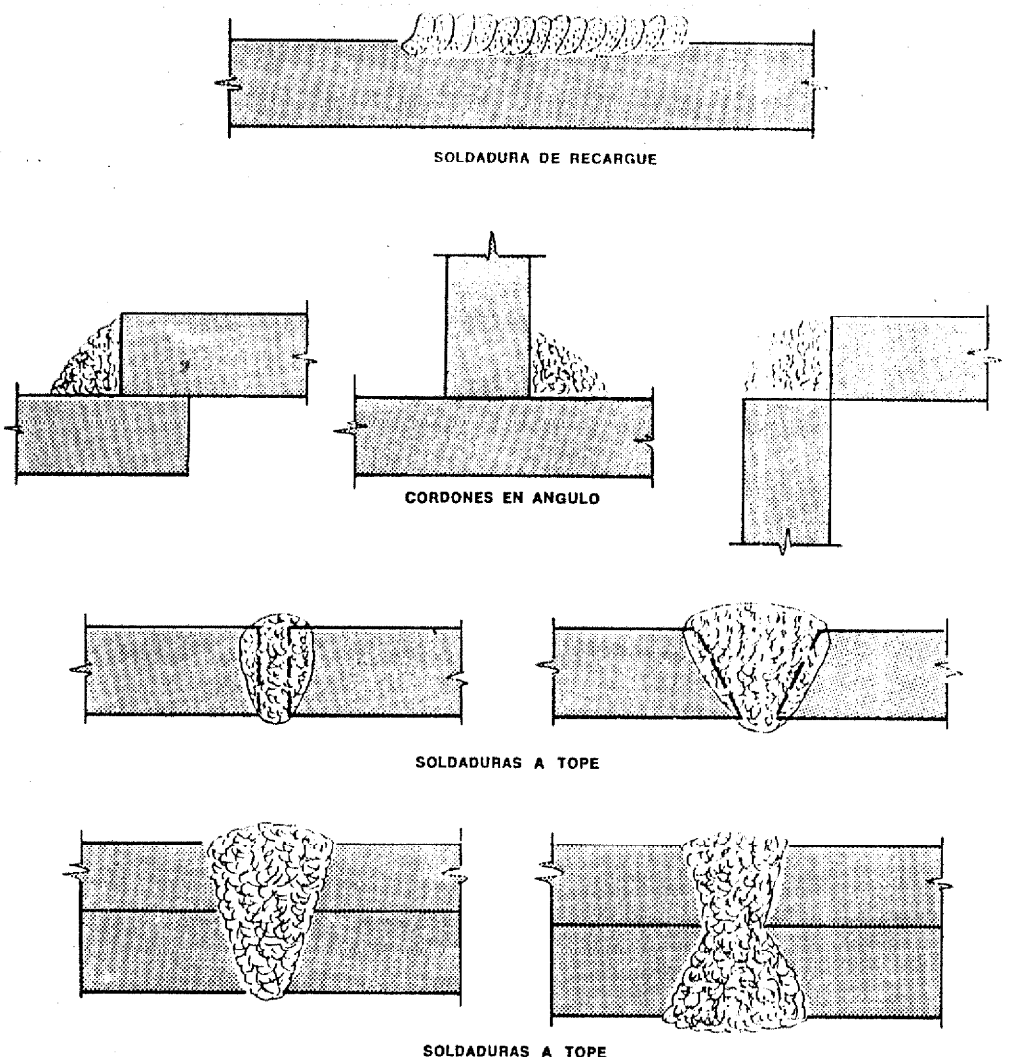


Fig. 4·2. Tipos de soldadura.

Tipos de soldaduras

Sobre las distintas uniones se pueden realizar los siguientes tipos de soldaduras: soldadura de *recargue*, soldadura mediante *cordones en ángulo*, soldadura a *tope*, soldaduras en *entalla* y soldaduras de *tapón* (ver fig. 4-2).

La soldadura de recargue consiste en depositar una o más capas de material de aportación, mediante cordones o pasadas, sobre una superficie continua, con vistas a conseguir unas dimensiones o características superficiales determinadas.

La soldadura mediante cordones en ángulo es la que se emplea para conseguir uniones a solape, en án-

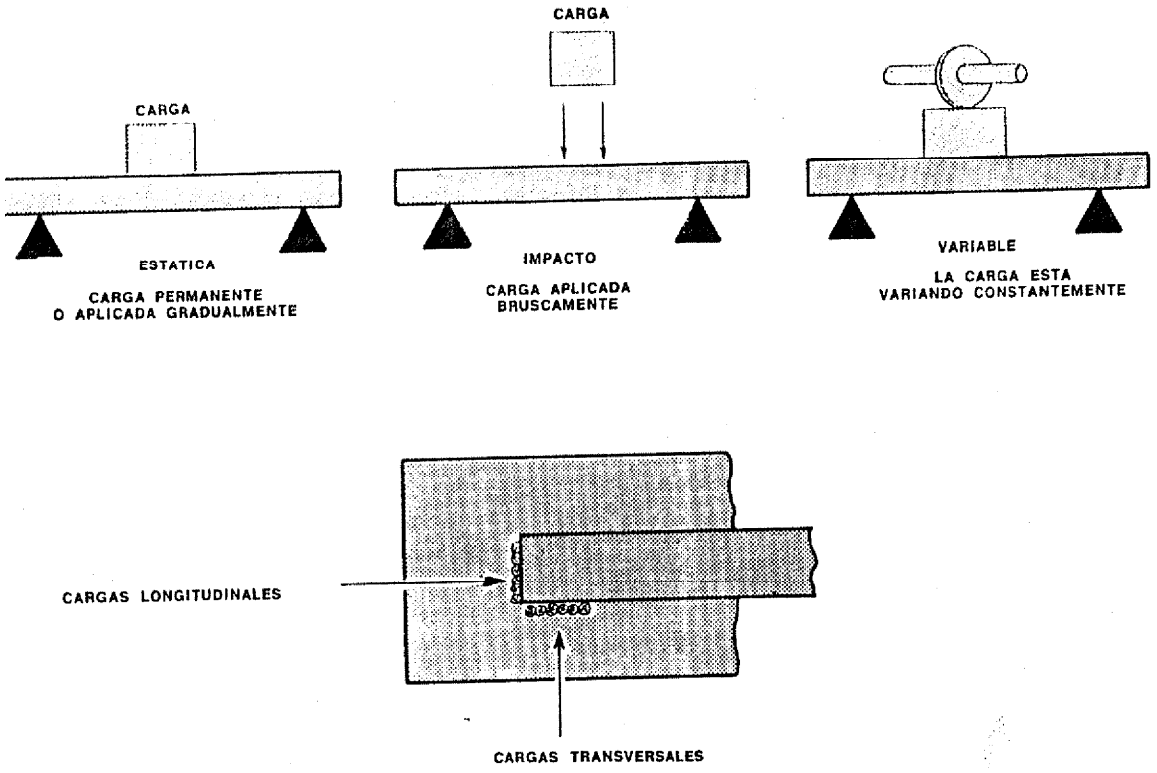


Fig. 4-3. Naturaleza de las cargas aplicadas a la junta.

nterior y en ángulo exterior. El cordón presenta ección aproximadamente triangular y se deposita dos superficies formando ángulo recto.

soldadura a tope es la que se deposita en el io que queda entre las piezas a soldar, que es- spuestas una en prolongación de la otra. Según paración de los bordes se pueden distinguir las ntes soldaduras a tope: con bordes rectos, con s en V, bordes en X, en U, en doble U, en J, ble J, etc.

soldaduras de entalla o *de tapón* se emplean enlazar piezas solapadas mediante el depósito de nes en el interior de ranuras o agujeros realiza- obre una de las piezas. Tanto por su disposición por su comportamiento, son muy parecidas a emaches.

Selección del tipo de junta

En la elección del tipo de junta más adecuada para cada trabajo, hay que tener en cuenta numerosos factores. Aunque el responsable directo en la determinación de la unión a realizar es el proyectista o el ingeniero, si el soldador conoce algo acerca del diseño de uniones siempre producirá soldaduras que responderán mejor a las especificaciones establecidas para cada trabajo. En general, se pueden citar cinco consideraciones básicas para la selección de cualquier junta soldada:

1. Tener en cuenta si el esfuerzo es de tracción, compresión, flexión, fatiga o de choque.
2. Considerar si la carga es estática, de impacto o variable (ver fig. 4-3).

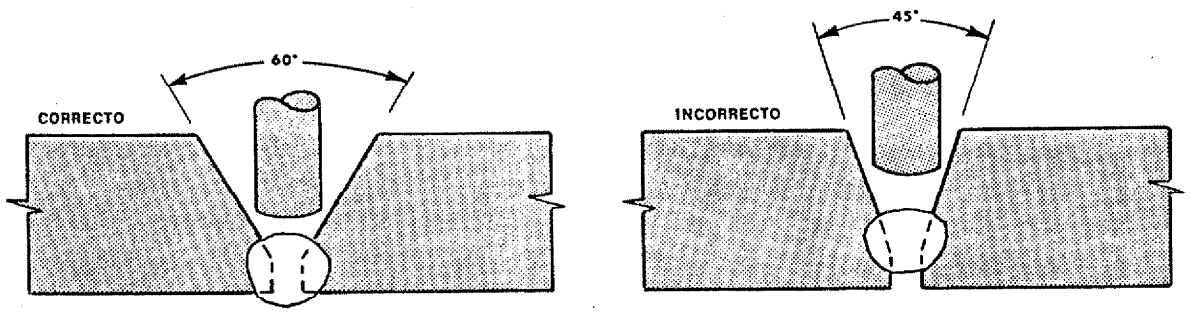


Fig. 4-4. Para obtener una buena soldadura debe utilizarse la abertura adecuada.

3. Dirección de la carga con relación a la junta.
4. Espesor de las piezas.
5. Costo de preparación de la junta.

Geometría de la junta [1]

La geometría adecuada de la junta se basa en los siguientes principios:

1. *La preparación debe ser uniforme a lo largo de toda la junta.* En las uniones a solape y en la mayor parte de uniones en ángulo, las piezas deben acoplarse firmemente, sin separación, en toda su longitud. En las uniones a tope, debe vigilarse la uniformidad de chaflanes y separaciones. Cualquier falta de uniformidad en la preparación obligará al soldador a disminuir la velocidad de soldeo y a modificar la técnica operatoria para adaptarse a la distinta preparación.

2. *Para conseguir un cordón de forma correcta y con la penetración adecuada es fundamental trabajar con un ángulo de chaflán suficiente* (ver fig. 4-4). Un ángulo insuficiente dificulta la entrada del electrodo hasta el fondo de la junta. Una junta profunda y estrecha puede quedar con falta de penetración, siendo además muy sensible a la fisuración.

3. *Una abertura excesiva desperdicia material de aportación* (ver fig. 4-5). Dado que el material de aportación, tanto en forma de electrodos como de alambres, es relativamente caro, cualquier aumento del ángulo de los bordes con relación a los valores recomendables supone un aumento del coste de fabricación por dos conceptos: un mayor consumo de material de aportación y mayor tiempo para depositarlo.

4. *Para conseguir una penetración completa es necesario dejar una separación suficiente* (ver fig. 4-6). Una junta soldada sin una penetración adecuada no será capaz de soportar las cargas que se le apliquen. Aunque la penetración correcta depende en gran medida de la habilidad del soldador, es siempre fundamental el preparar los bordes con una separación adecuada.

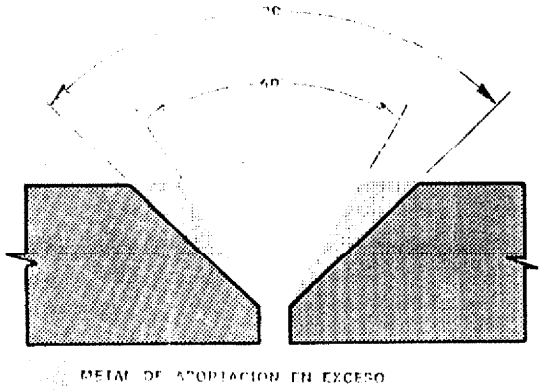
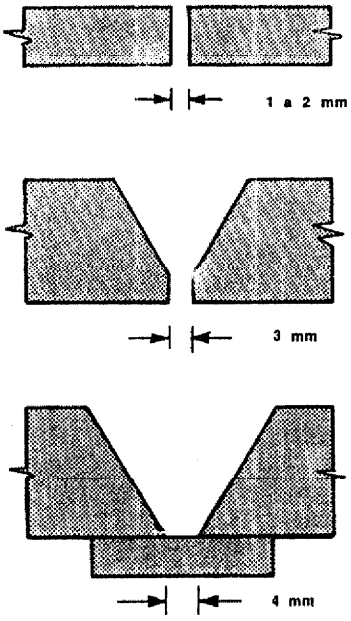


Fig. 4-5. Los chaflanes demasiado abiertos encarecen la soldadura.

1. The Lincoln Electric Co.



ig. 4-6. Para obtener una soldadura sana es muy importante tilizar la separación correcta.

. *Para conseguir una unión de calidad con una bue- velocidad de soldeo, deben prepararse los bordes un talón de unos 3 mm o, en caso contrario, utili- un soporte por el reverso* (ver fig. 4-7 y fig. 4-17). preparativos sin talón hacen más lenta y costosa ejecución del cordón de penetración. Sin embargo, las uniones a tope con bordes en X, se puede litar la preparación prescindiendo del talón y com- sándolo con una separación de bordes algo menor vez de 3 mm, dejar unos 2).

ones a tope

n las uniones a tope la soldadura se realiza entre

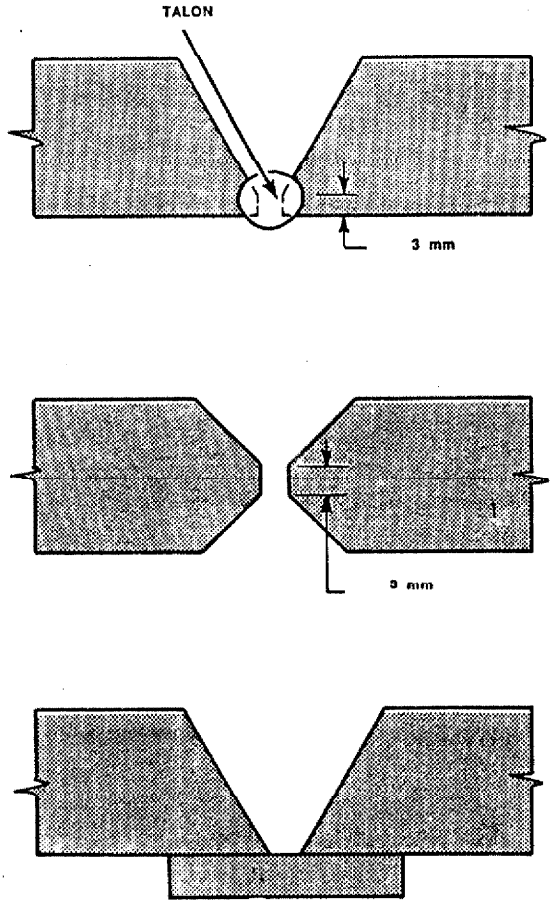


Fig. 4-7. Para facilitar la operación debe dejarse un talón adecuado.

los bordes de las piezas a enlazar. Como muestra la fig. 4-8, la preparación de los bordes se hará de acuerdo con el espesor de las piezas a soldar.

Unión a tope con bordes rectos. Este tipo de preparación se emplea para espesores hasta 4 mm. Para conseguir una resistencia óptima es necesario fundir los bordes completamente, para lo cual debe dejarse una separación adecuada. Por el procedimiento

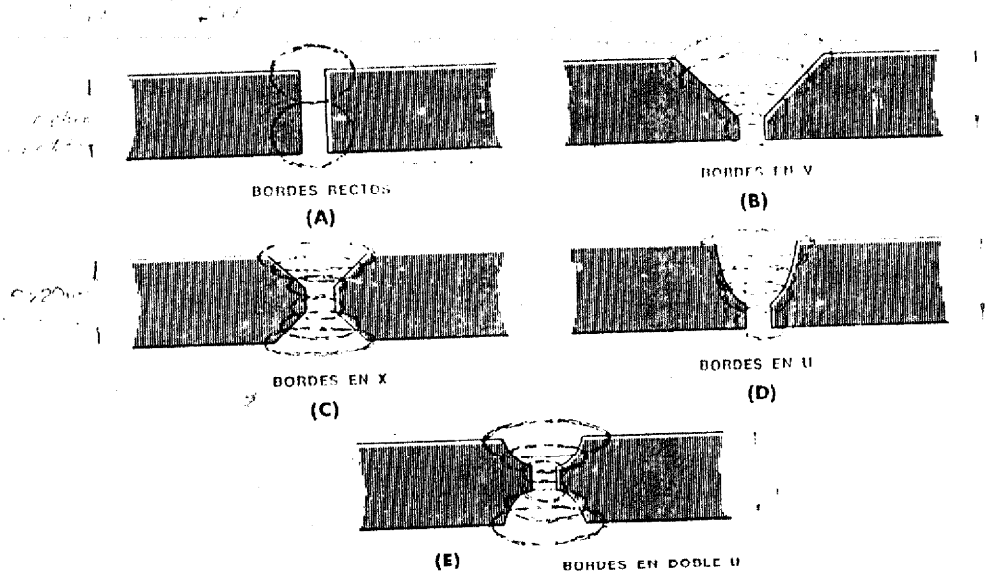


Fig. 4-8. Tipos de preparaciones para uniones a tope.

de arco sumergido, se pueden soldar con esta preparación espesores hasta unos 10 mm, con una separación de unos 3 mm. Este tipo de junta es razonablemente resistente a esfuerzos estáticos, pero no es recomendable para casos sometidos a fatiga o a cargas de impacto, especialmente a bajas temperaturas. La preparación de la junta es relativamente fácil, pues sólo requiere igualar los bordes de las piezas. Consecuentemente, el costo de preparación es bajo (ver fig. 4-8 A).

Unión a tope con bordes en V. Esta preparación se emplea para espesores superiores a unos 8 mm. Sin embargo, no es recomendable para espesores superiores a 20 mm. Es más costosa que la preparación con bordes rectos debido a que exige el achaflanado de las piezas y además, precisa una mayor cantidad de material de aportación. Presenta buena resistencia a cargas estáticas, pero no es particularmente adecuada para soportar esfuerzos de flexión que produzcan tracciones en el cordón de raíz (ver fig. 4-8 B).

Unión a tope con bordes en X. Es la que presenta el mejor comportamiento ante todo tipo de cargas. Se suele recomendar para espesores superiores a unos 18 o 20 mm. Para conseguir una buena resistencia la penetración debe ser completa desde ambos lados. El costo de preparación es mayor que en las uniones en V, pero esto se puede compensar por el ahorro que presenta en material de aportación. Para mantener la simetría de la junta y reducir al mínimo la deformación, los cordones deben depositarse alternativamente, a un lado y otro de la junta (ver fig. 4-8 C).

Unión a tope con bordes en U. Este tipo de juntas responden correctamente a todas las condiciones ordinarias de carga, por lo que se suelen utilizar para trabajos que requieran una gran calidad. Su campo de aplicación más adecuado se encuentra entre 13 y 20 mm de espesor (ver fig. 4-8 D). Aunque exige una preparación más costosa que las anteriores, requiere menos material de aportación y origina menos deformaciones.

Unión a tope con bordes en doble U. Es recomendable para espesores superiores a 20 mm y siempre que la soldadura pueda realizarse fácilmente desde ambos lados de la pieza. Es la preparación que presenta un mejor comportamiento ante cualquier condición de carga. Por el contrario, es la que exige unos costos de preparación más elevados (ver fig. 4-8 E).

FACULTAD REGIONAL 49 BIBLIOTECA 272

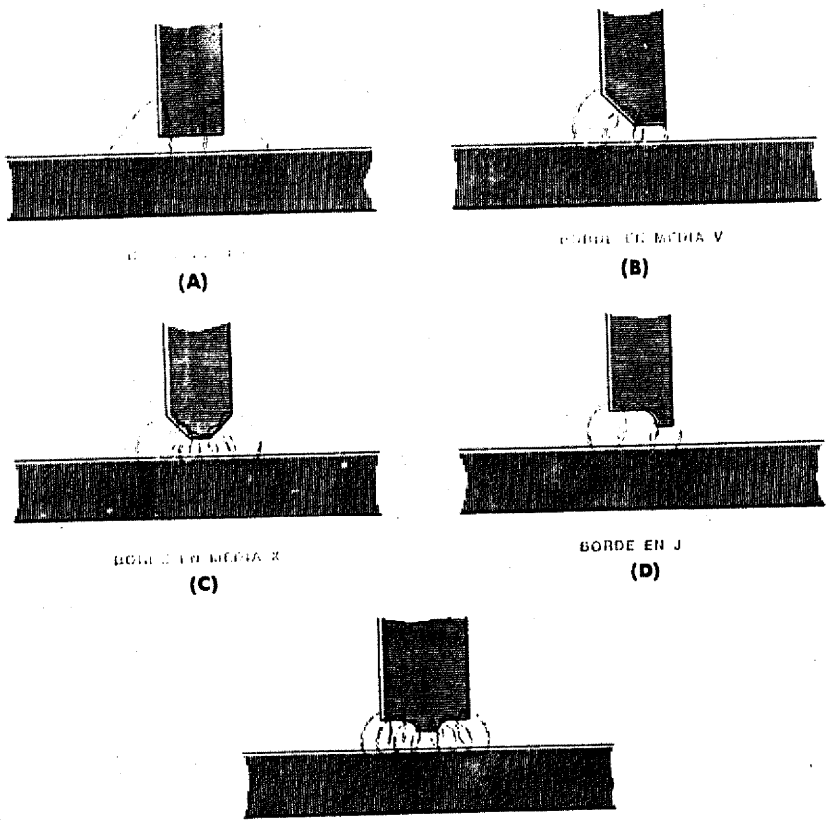


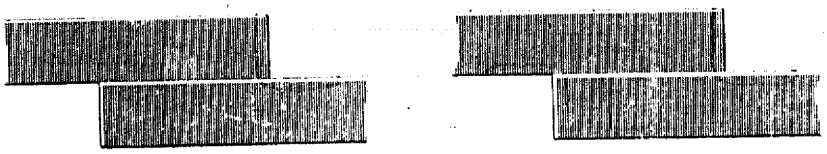
Fig. 4-9. Tipos de preparaciones para uniones en T.

niones en ángulo interior (en T)

En este tipo de uniones las piezas se disponen for- ıando un ángulo de aproximadamente 90° y de forma ue el borde de una de las piezas descanse sobre la uperficie de la otra (ver fig. 4-9). Es aplicable a cual- uier espesor y según sea éste y según el grado de enetración que se quiera conseguir, se suelen adoptar ɔs siguientes tipos de preparaciones: borde recto. imple chaflán, doble chaflán, simple J y doble J.

Unión en T. Borde recto. La unión se realiza nediante cordones en ángulo que se pueden depositar lesde uno o ambos lados de la junta. Se pueden uti- lizar sobre espesores ligeros o razonablemente fuertes, siempre que las cargas sometan la soldadura única- mente a cortadura longitudinal. Puesto que la distribu- ción de tensiones sobre la junta puede no ser uniforme, este factor debe considerarse en las zonas sujetas a fuertes impactos o donde actúen elevadas cargas transversales. Para conseguir una buena resistencia se requiere gran cantidad de material de aportación (ver fig. 4-9 A).

Unión en T con simple chaflán. Este tipo de unión procura una mejor distribución de tensiones, por lo que puede soportar mayores cargas que la ante- rior. La soldadura se realiza desde un solo lado y se



(A) (B)

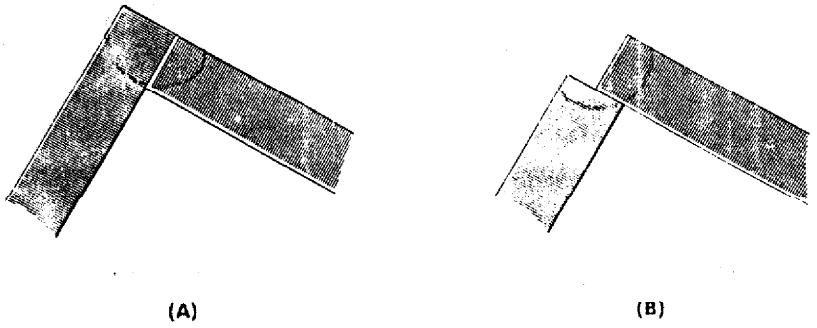
Fig. 4-10. Uniones a solape.

suele limitar a espesores iguales o menores a 12 mm (ver fig. 4-9 B).

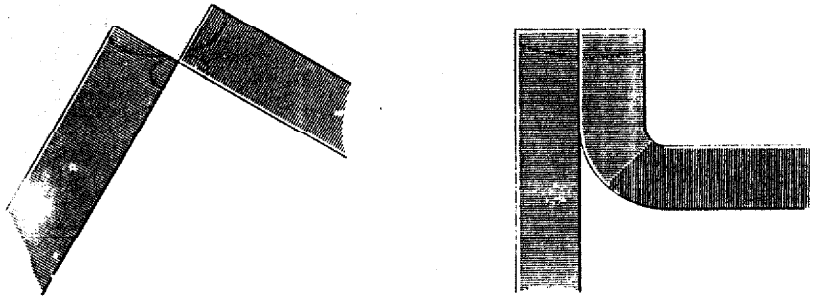
Unión en T con doble chaflán. Tiene una mayor capacidad resistente y puede soportar tanto cortadura longitudinal como transversal. Sólo es aplicable cuando la soldadura se puede realizar desde ambas caras (ver fig. 4-9 C).

Unión en T. Simple J. Aplicable a espesores de 25 mm o más y siempre que la soldadura sólo sea accesible desde una cara. Especialmente adecuada para soportar grandes cargas.

Unión en T. Doble J. Particularmente adecuada para grandes espesores (del orden de 40 mm o más) y siempre que las cargas a soportar sean muy importantes. Sólo es aplicable cuando la junta es accesible desde ambas caras (ver fig. 4-9 E).



(A) (B)



(C) (D)

Fig. 4-11. Uniones en esquina.

es a solape

ıo su nombre indica, las piezas se disponen de que una solape parcialmente a la otra. Para ıuir una buena resistencia, la longitud del solape ser mayor del triple del espesor de la pieza más a unión se puede conseguir mediante la apli- de uno o dos cordones de soldadura (ver 10).

ión a solape con un solo cordón. Es de muy realización. El metal de aportación se deposita mente a lo largo de uno de los rincones que las piezas al disponer una sobre la otra. La re- cia de la soldadura depende del espesor del n en ángulo depositado. La soldadura mediante lo cordón es aplicable hasta unos 12 mm de es- , siempre que la carga a soportar no sea muy a (ver fig. 4-10 A).

Unión a solape mediante dos cordones. Tiene capacidad de carga mucho mayor que la anterior. Es un tipo de unión muy utilizado en soldadura. Como regla general, si la soldadura se realiza correctamente su resistencia es comparable a la del metal base (ver fig. 4-10 B).

Uniones en ángulo exterior

Son ampliamente utilizadas en la unión de secciones que no estén sometidas a grandes esfuerzos. Según la disposición de los bordes, las podemos clasificar en uniones en ángulo exterior cerradas, semiabiertas y abiertas.

Uniones en esquina, cerradas. Se emplea principalmente para espesores finos, debido a que no permite conseguir una buena penetración. Poco recomen-

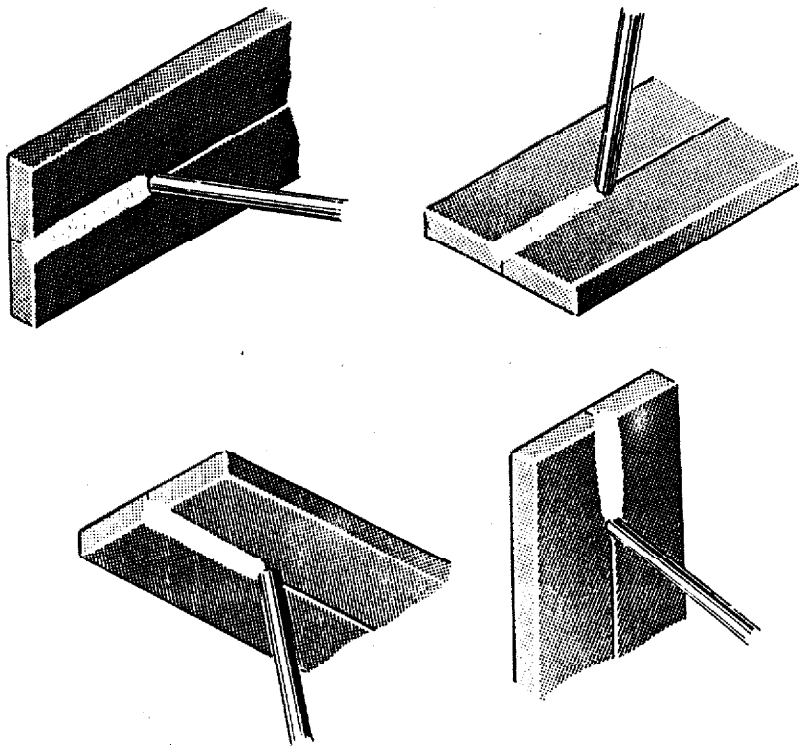


Fig. 4-12. Principales posiciones de soldadura.

dable por su pequeña capacidad de carga (ver figura 4-11 A).

Uniones en esquina, semiabiertas. Recomendables para espesores más fuertes y donde la soldadura sólo pueda realizarse desde un lado. Capaces de soportar cargas en las que el impacto o la fatiga no sean muy severos. La disposición de los bordes, de forma que las esquinas interiores quedan protegidas, disminuye el peligro de formación de agujeros en la raíz de la junta (ver fig. 4-11 B).

Uniones en esquina, abiertas. Esta disposición de las piezas permite la soldadura desde ambos lados, por lo que se pueden conseguir juntas muy resistentes, capaces de soportar grandes cargas. Es aplicable a cualquier espesor. Debido a la buena distribución de tensiones, es recomendable para soportar esfuerzos de fatiga o cargas de impacto (ver fig. 4-11 C).

Unión sobre cantos

Aplicable para espesores finos (unos 6 mm o menos) y con muy pequeña capacidad resistente (ver figura 4-11 D).

Terminología básica en soldadura

Antes de introducirnos en el estudio de las distintas operaciones y procedimientos de soldeo, es importante entender y adquirir la siguiente terminología:

Posiciones de soldadura. Las cuatro posiciones fundamentales en las que se puede realizar una soldadura son la horizontal, vertical, cornisa y techo (ver fig. 4-12). La posición horizontal es la más ampliamente utilizada, puesto que permite una soldadura rápida y fácil de realizar. La soldadura en techo es

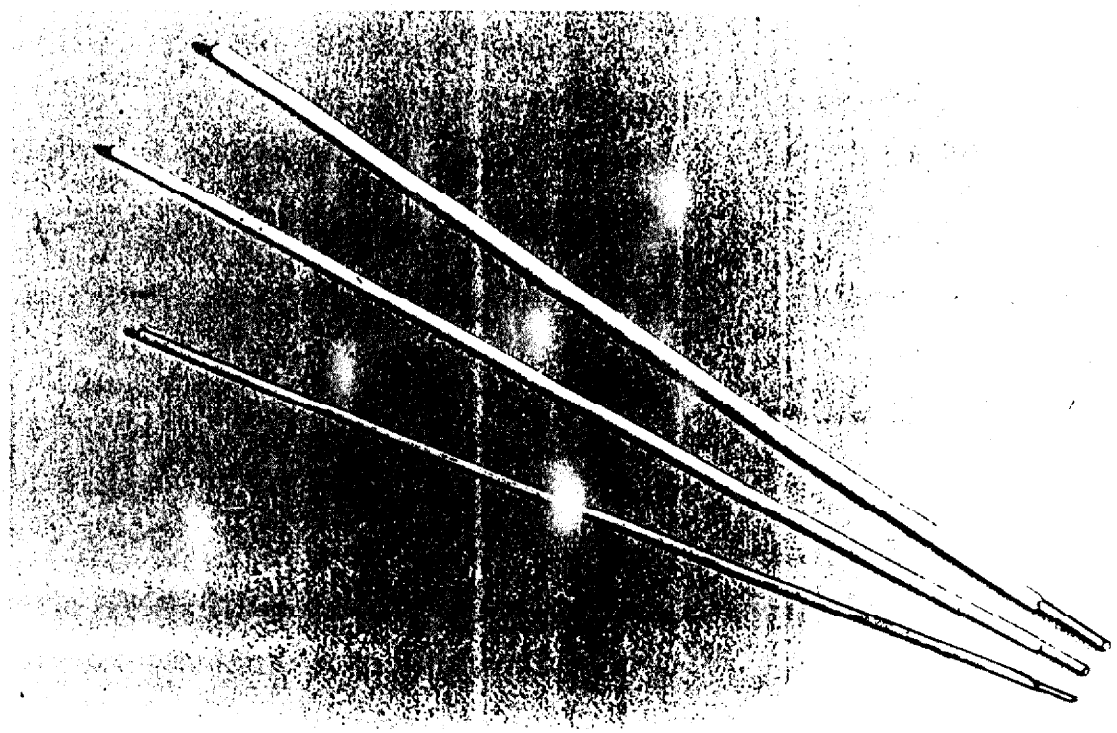


Fig. 4-13. Estos tres electrodos están revestidos; salvo una pequeña parte en el extremo inferior de la derecha, destinada a sujetarlos en la pinza.

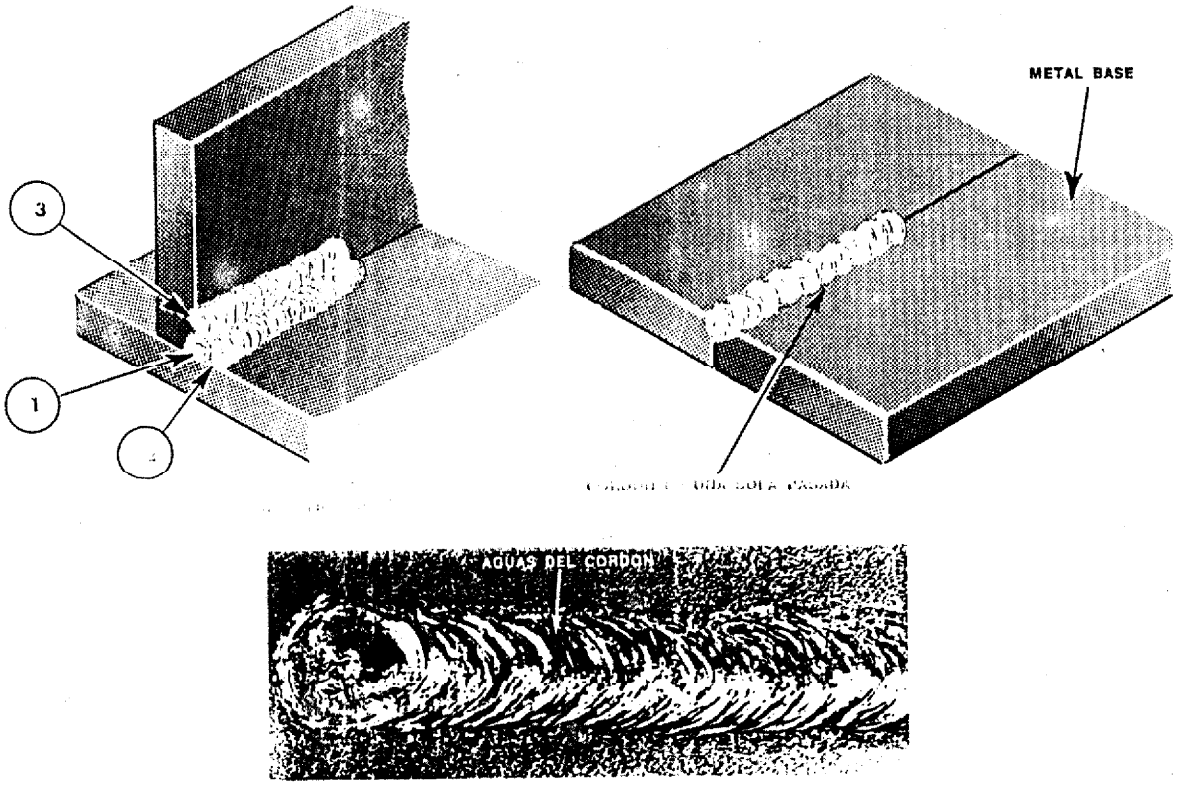


Fig. 4-14. En las figuras se muestran algunos de los términos definidos en el texto.

inte más difícil debido a que el baño de fusión tendencia a caerse. Requiere una habilidad conable para asegurar un cordón uniforme y con tración correcta. La soldadura en vertical puede zarse desde abajo hacia arriba (soldadura en ver- ascendente) o de arriba hacia abajo (vertical endente). Para espesores muy finos es más recodable la soldadura en descendente. La soldadura cornisa también es difícil pues, como en el caso echo, el baño de fusión también tiene tendencia scolgarse.

ectrodo. Varilla metálica, recubierta con una sus ia especial, utilizada como aportación para re- ir la junta a soldar (fig. 4-13).

etal base. Está constituido por las piezas a soldar 4-14).

ordón de soldadura. Capa, o capas, de metal depositado sobre el metal base, al fundir el electrodo (véase fig. 4-14).

Aguas del cordón. Aspecto superficial del cordón de soldadura como consecuencia del movimiento del electrodo (véase fig. 4-14).

Pasada estrecha. Metal depositado sin balanceo lateral del electrodo.

Pasada ancha. Metal depositado con balanceo lateral del electrodo.

Pasada. Cada uno de los depósitos de material que se realiza sobre la junta. Puede ser ancha o estrecha (fig. 4-14).

Cráter. Depresión producida en el metal base por la acción del arco (ver fig. 4-15).

Penetración. Profundidad que alcanza la fusión en el metal base (fig. 4-16).

Sobreespesor. Material del cordón que sobresale



Fig. 4-15. Aspecto del cráter en el metal base. (The Lincoln Electric Co.)

con relación a la superficie de las piezas a soldar (fig. 4-17). Es particularmente aplicable a las uniones a tope.

Remates. Puntos de enlace entre el material base y el de aportación (ver fig. 4-17).

«Cara» del cordón. Superficie exterior de los cordones en ángulo. Puede ser plana, cóncava o convexa (fig. 4-17).

Raíz. Punto del cordón opuesto a la superficie exterior del mismo (fig. 4-17).

Talón. Parte recta en la zona inferior de los bordes achaflanados (fig. 4-17).

Garganta o cuello. Distancia desde la superficie exterior hasta la raíz del cordón (véase fig. 4-17).

Anchura del cordón. Distancia entre remates, medida sobre la superficie exterior del cordón (véase fig. 4-17).

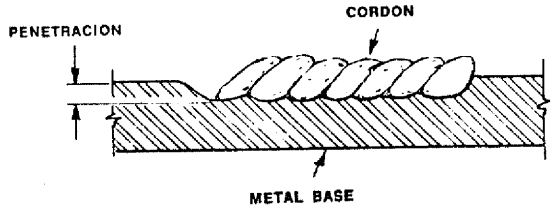


Fig. 4-16. La distancia desde la superficie del metal base hasta la parte interior del cordón recibe el nombre de penetración.

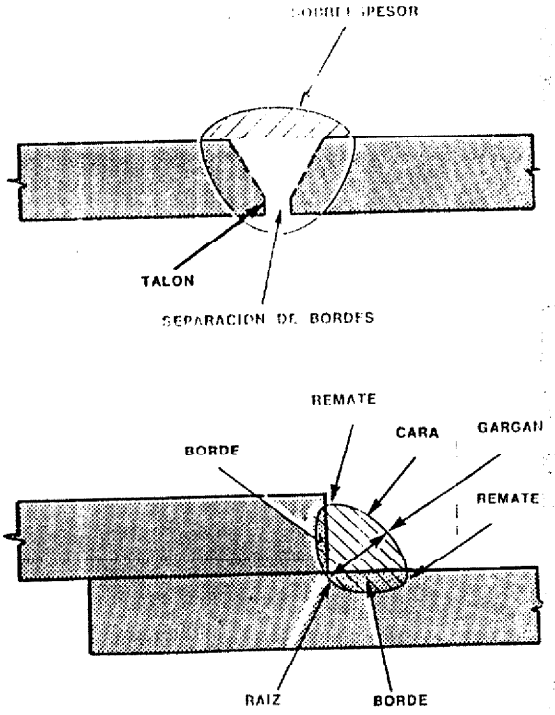


Fig. 4-17. Terminología de distintas partes de un cordón.

Requerimientos de tracción para el metal de aporte puro[a]

TABLA 2

Clasificación AWS	Gas de protección[b]	Resistencia mínima a la tracción[c, d]		Tensión mínima de fluencia en el límite 0,2[c, d]		Alargamiento mínimo en 2" (50 mm) %
		ksi	MPa*	ksi	MPa*	
ER70S-2 ER70S-3 ER70S-4 ER70S-5 ER70S-6 ER70S-7	CO_2	72	500	60	420	22
ER70S-G	Se acuerda entre cliente y proveedor	72	500	60	420	22

a) • Propiedades mecánicas "como soldado", electrodo al polo positivo.

b) • CO_2 = protección gaseosa de dióxido de carbono. El uso de CO_2 para la calificación no debe interpretarse como una restricción al uso de mezclas de gases protectores como Argón-CO_2 y Argón-O_2. Un metal de aporte clasificado con CO_2 puede obtener los requerimientos de esta norma cuando se suelda con mezcla de gases Ar-CO_2 y Ar-O_2.

c) • Propiedades mecánicas determinadas en una probeta de metal de soldadura.

d) • Para cada incremento de un punto porcentual por arriba del mínimo de alargamiento, la tensión de fluencia o la resistencia a la tracción, o ambas, pueden disminuirse en 69 MPa hasta un mínimo de 480 MPa. Para la resistencia a la tracción y 400 MPa para la tensión de fluencia.

Requerimientos de impacto

TABLA 3

Clasificación AWS	Propiedades mínimas de impacto[a]
ER70S-2	27 J a −29 °C
ER70S-3	27 J a −18 °C
ER70S-4	Sin requerimiento
ER70S-5	Sin requerimiento
ER70S-6	27 J a −29 °C
ER70S-7	27 J a −29 °C
ER70S-G	Se acuerda entre cliente y proveedor

a) • Se deberán descartar los valores máximo y mínimo obtenidos. Dos de los tres valores restantes deberán ser mayores de 27 J. El restante podrá ser menor, pero no inferior a 20 J. El promedio de las tres determinaciones deberá ser mayor o igual a 27 J.

Tabla 1 (Continuación)

d) • Se informará la cantidad de estos elementos si se agregaron intencionalmente.

e) • Solamente para alambres autoprotegidos.

f) • Se deberá determinar la cantidad de este elemento.

g) • No son significativos los análisis del metal de soldadura no diluido, dado que estas clasificaciones son para soldaduras de una sola pasada con alta dilución.

Requerimientos mecánicos para el metal de soldadura[a]

TABLA 2

Clasificación AWS[b]	Resistencia a la tracción[c] ksi	Resistencia a la tracción[c] MPa	Tensión de fluencia[c] ksi	Tensión de fluencia[c] MPa	Alargamiento en 2" (50 mm)[c]	Impacto con entalla en V
E6XT-1	62	428	50	345	22	27 J a −18 °C
E6XT-4	62	428	50	345	22	Sin requerimiento
E6XT-5	62	428	50	345	22	27 J a −29 °C
E6XT 6	62	428	50	345	22	27 J a −29 °C
E6XT-7	62	428	50	345	22	Sin requerimiento
E6XT-8	62	428	50	345	22	27 J a −29 °C
E6XT-11	62	428	50	345	22	Sin requerimiento
E6XT-G	62	428	50	345	22	Sin requerimiento
E6XT-GS	62	428		Sin requerimiento		Sin requerimiento
E7XT-1	72	497	60	414	22	27 J a −18 °C
E7XT-2	72	497		Sin requerimiento		Sin requerimiento
E7XT-3	72	497		Sin requerimiento		Sin requerimiento
E7XT-4	72	497	60	414	22	Sin requerimiento
E7XT-5	72	497	60	414	22	27 J a −29 °C
E7XT-6	72	497	60	414	22	27 J a −29 °C
E7XT-7	72	497	60	414	22	Sin requerimiento
E7XT-8	72	497	60	414	22	27 J a −29 °C
E7XT-10	72	497		Sin requerimiento		Sin requerimiento
E7XT-11	72	497	60	414	22	Sin requerimiento
E7XT-G	72	497	60	414	22	Sin requerimiento
E7XT-GS	72	497		Sin requerimiento		Sin requerimiento

Nota: Los valores corresponden a la condición "como soldado".

a) • Los valores simples son mínimos.

b) • Las clasificaciones E6XT-GS, E7XT-2, E7XT-3, E7XT-10 y E7XT-GS son para soldaduras de una sola pasada. Sólo se requieren ensayos de tracción transversal y plegado longitudinal guiado.

c) • Para cada aumento de un punto porcentual sobre el mínimo de alargamiento, la tensión de fluencia o la resistencia a la tracción requeridas, o ambas, pueden disminuirse en 6,9 MPa, hasta un máximo de reducción de 13,8 MPa.

Protección y polaridad

TABLA 3

Clasificación AWS[a]		Medio de protección externo	Corriente y polaridad
EXXT-1	(multipasadas)	CO_2	CC (+)
EXXT-2	(una sola pasada)	CO_2	CC (+)
EXXT-3	(una sola pasada)	Ninguno	CC (+)
EXXT-4	(multipasadas)	Ninguno	CC (+)
EXXT-5	(multipasadas)	CO_2[b]	CC (+)
EXXT-6	(multipasadas)	Ninguno	CC (+)
EXXT-7	(multipasadas)	Ninguno	CC (−)
EXXT-8	(multipasadas)	Ninguno	CC (−)
EXXT-10	(una sola pasada)	Ninguno	CC (−)
EXXT-11	(multipasadas)	Ninguno	CC (−)
EXXT-G	(multipasadas)	b	b
EXXT-GS	(una sola pasada)	b	b

a) • Se omitió la designación EXXT-9.

b) • Se acuerda entre cliente y proveedor.

Capítulo 4

Diseño de uniones y terminología

Para el diseño de la junta hay que tener en cuenta numerosos factores, entre los que podemos destacar los siguientes: costo de preparación, facilidad de acceso, adaptabilidad al producto que se trata de fabricar tipo de cargas que debe soportar la soldadura.

Los cinco tipos básicos de uniones utilizadas en ldadura son la unión a tope, uniones a solape, uniones en ángulo interior (rincón), uniones en ángulo exterior (esquina) y uniones sobre cantos, (ver fig. 4-1). Cada una tiene ventajas y limitaciones, y el soldador debe conocer unas y otras, puesto que, en muchos casos, la efectividad de la soldadura depende tanto del tipo de unión como de la habilidad para depositar un cordón de calidad.

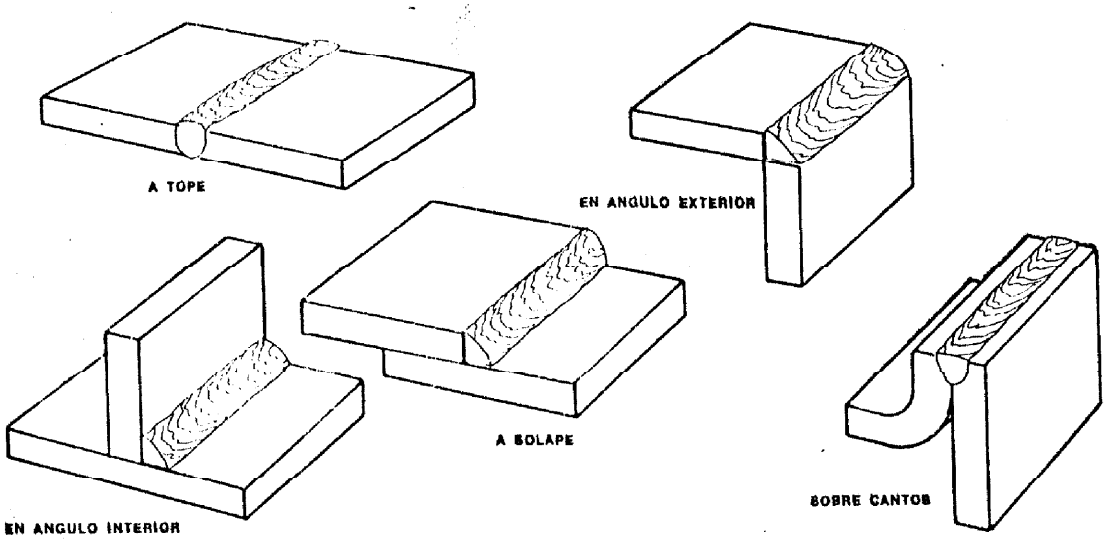


Fig. 4-1. Tipos básicos de uniones.

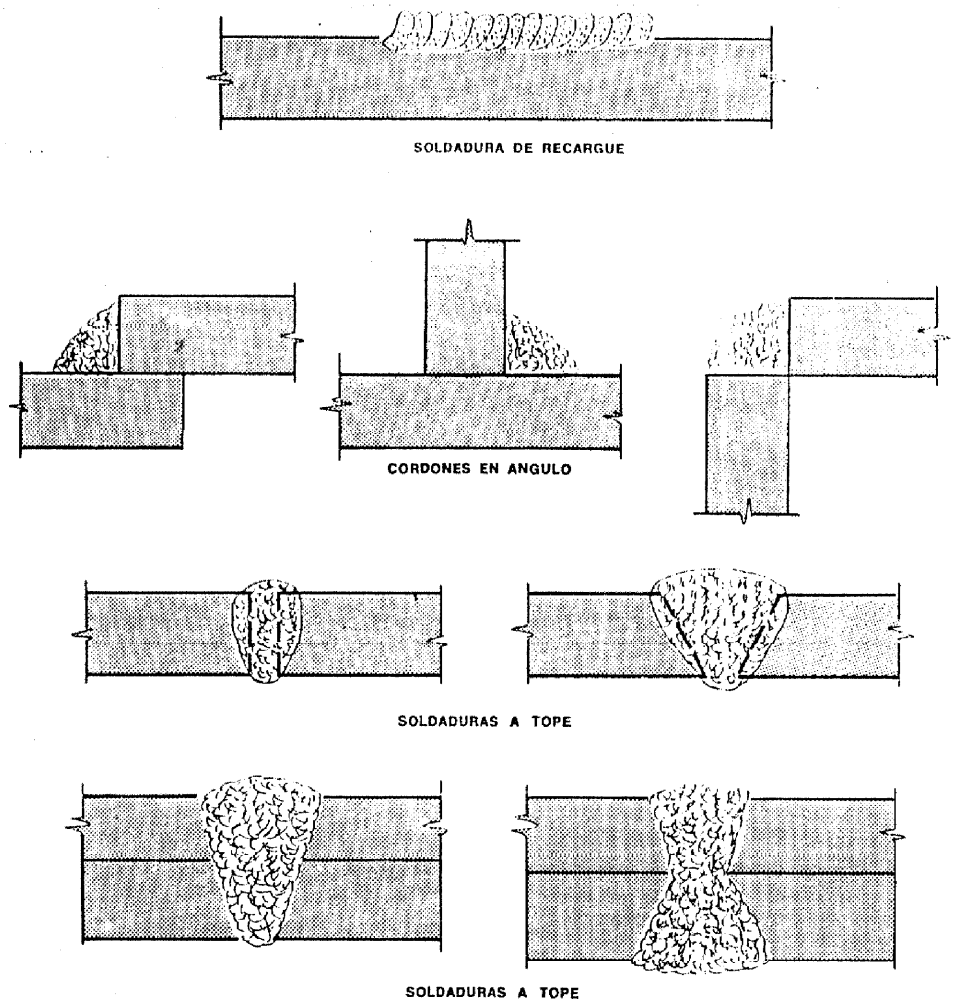


Fig. 4-2. Tipos de soldadura.

Tipos de soldaduras

Sobre las distintas uniones se pueden realizar los siguientes tipos de soldaduras: soldadura de *recargue*, soldadura mediante *cordones en ángulo*, soldadura a *tope*, soldaduras en *entalla* y soldaduras de *tapón* (ver fig. 4-2).

La soldadura de recargue consiste en depositar una o más capas de material de aportación, mediante cordones o pasadas, sobre una superficie continua, con vistas a conseguir unas dimensiones o características superficiales determinadas.

La soldadura mediante cordones en ángulo es la que se emplea para conseguir uniones a solape, en án-

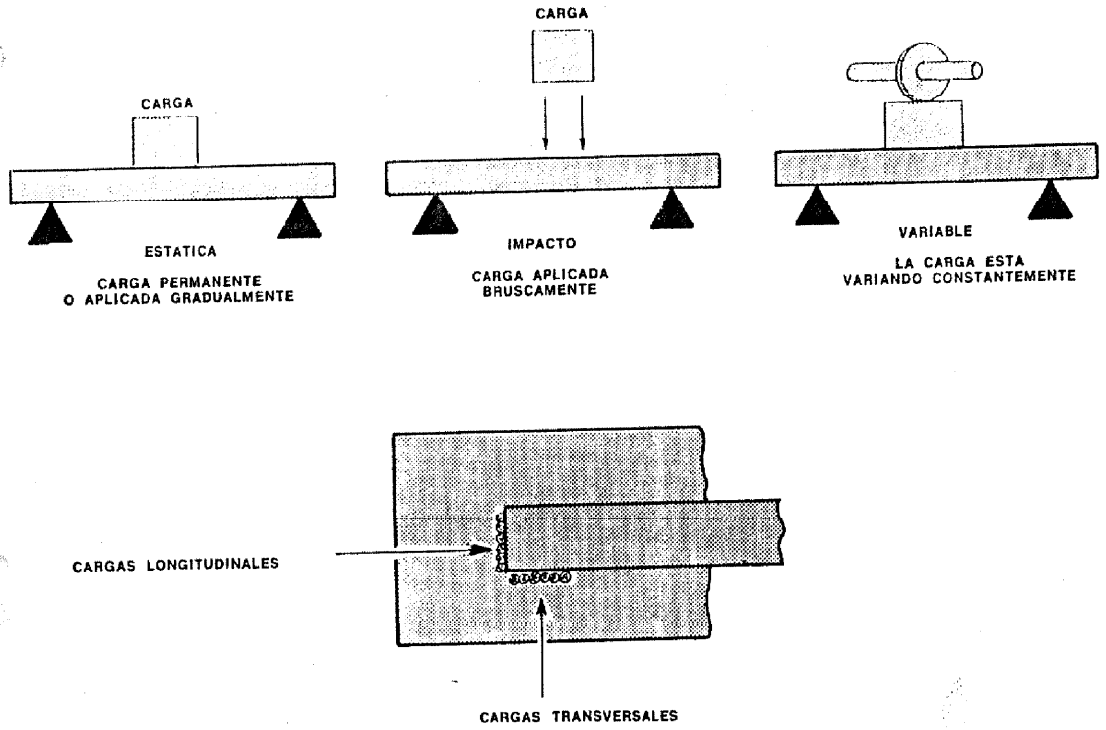


Fig. 4-3. Naturaleza de las cargas aplicadas a la junta.

gulo interior y en ángulo exterior. El cordón presenta una sección aproximadamente triangular y se deposita entre dos superficies formando ángulo recto.

La soldadura a tope es la que se deposita en el espacio que queda entre las piezas a soldar, que están dispuestas una en prolongación de la otra. Según la preparación de los bordes se pueden distinguir las siguientes soldaduras a tope: con bordes rectos, con bordes en V, bordes en X, en U, en doble U, en J, en doble J, etc.

Las soldaduras de entalla o de tapón se emplean para enlazar piezas solapadas mediante el depósito de cordones en el interior de ranuras o agujeros realizados sobre una de las piezas. Tanto por su disposición como por su comportamiento, son muy parecidas a los remaches.

Selección del tipo de junta

En la elección del tipo de junta más adecuada para cada trabajo, hay que tener en cuenta numerosos factores. Aunque el responsable directo en la determinación de la unión a realizar es el proyectista o el ingeniero, si el soldador conoce algo acerca del diseño de uniones siempre producirá soldaduras que responderán mejor a las especificaciones establecidas para cada trabajo. En general, se pueden citar cinco consideraciones básicas para la selección de cualquier junta soldada:

1. Tener en cuenta si el esfuerzo es de tracción, compresión, flexión, fatiga o de choque.
2. Considerar si la carga es estática, de impacto o variable (ver fig. 4-3).

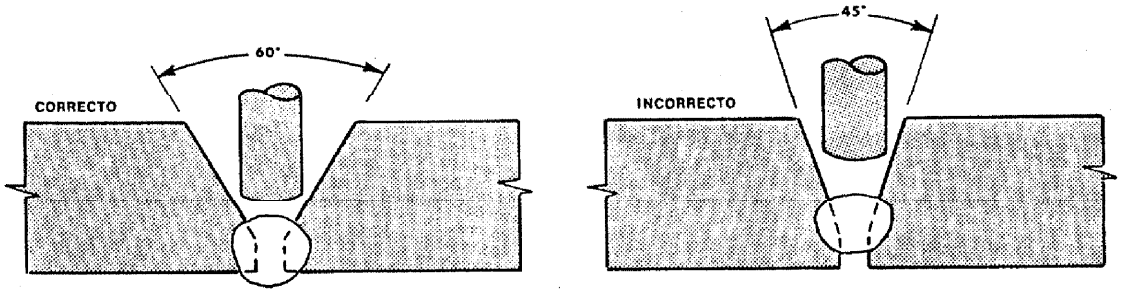


Fig. 4-4. Para obtener una buena soldadura debe utilizarse la abertura adecuada.

3. Dirección de la carga con relación a la junta.
4. Espesor de las piezas.
5. Costo de preparación de la junta.

Geometría de la junta [1]

La geometría adecuada de la junta se basa en los siguientes principios:

1. *La preparación debe ser uniforme a lo largo de toda la junta.* En las uniones a solape y en la mayor parte de uniones en ángulo, las piezas deben acoplarse firmemente, sin separación, en toda su longitud. En las uniones a tope, debe vigilarse la uniformidad de chaflanes y separaciones. Cualquier falta de uniformidad en la preparación obligará al soldador a disminuir la velocidad de soldeo y a modificar la técnica operatoria para adaptarse a la distinta preparación.

2. *Para conseguir un cordón de forma correcta y con la penetración adecuada es fundamental trabajar con un ángulo de chaflán suficiente* (ver fig. 4-4). Un ángulo insuficiente dificulta la entrada del electrodo hasta el fondo de la junta. Una junta profunda y estrecha puede quedar con falta de penetración, siendo además muy sensible a la fisuración.

3. *Una abertura excesiva desperdicia material de aportación* (ver fig. 4-5). Dado que el material de aportación, tanto en forma de electrodos como de alambres, es relativamente caro, cualquier aumento del ángulo de los bordes con relación a los valores recomendables supone un aumento del coste de fabricación por dos conceptos: un mayor consumo de material de aportación y mayor tiempo para depositarlo.

4. *Para conseguir una penetración completa es necesario dejar una separación suficiente* (ver fig. 4-6). Una junta soldada sin una penetración adecuada no será capaz de soportar las cargas que se le apliquen. Aunque la penetración correcta depende en gran medida de la habilidad del soldador, es siempre fundamental el preparar los bordes con una separación adecuada.

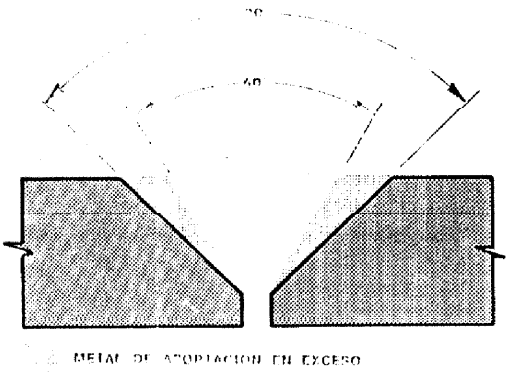


Fig. 4-5. Los chaflanes demasiado abiertos encarecen la soldadura.

1. The Lincoln Electric Co.

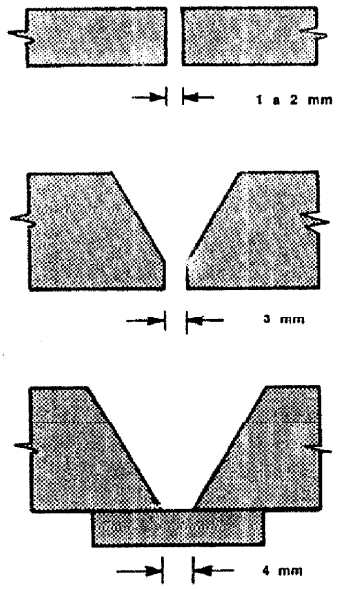


Fig. 4-6. Para obtener una soldadura sana es muy importante utilizar la separación correcta.

5. *Para conseguir una unión de calidad con una buena velocidad de soldeo, deben prepararse los bordes con un talón de unos 3 mm o, en caso contrario, utilizar un soporte por el reverso* (ver fig. 4-7 y fig. 4-17). Los preparativos sin talón hacen más lenta y costosa la ejecución del cordón de penetración. Sin embargo, en las uniones a tope con bordes en X, se puede facilitar la preparación prescindiendo del talón y compensándolo con una separación de bordes algo menor (en vez de 3 mm, dejar unos 2).

Uniones a tope

En las uniones a tope la soldadura se realiza entre

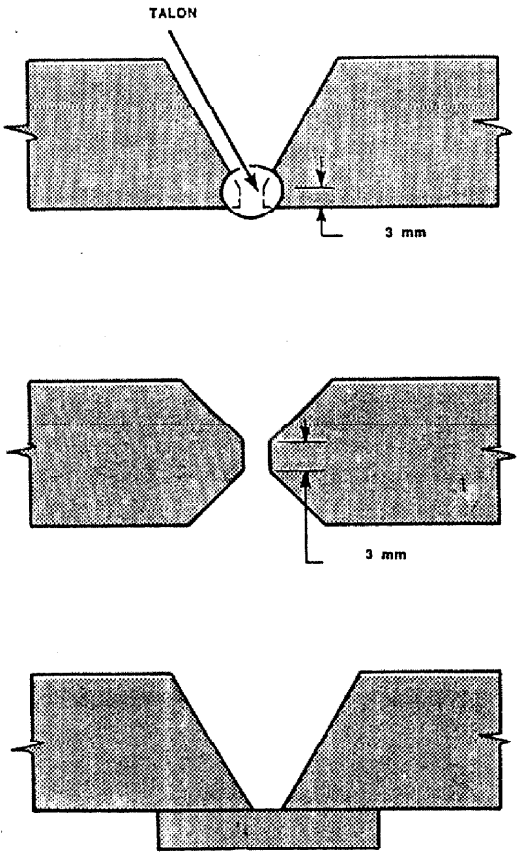


Fig. 4-7. Para facilitar la operación debe dejarse un talón adecuado.

los bordes de las piezas a enlazar. Como muestra la fig. 4-8, la preparación de los bordes se hará de acuerdo con el espesor de las piezas a soldar.

Unión a tope con bordes rectos. Este tipo de preparación se emplea para espesores hasta 4 mm. Para conseguir una resistencia óptima es necesario fundir los bordes completamente, para lo cual debe dejarse una separación adecuada. Por el procedimiento

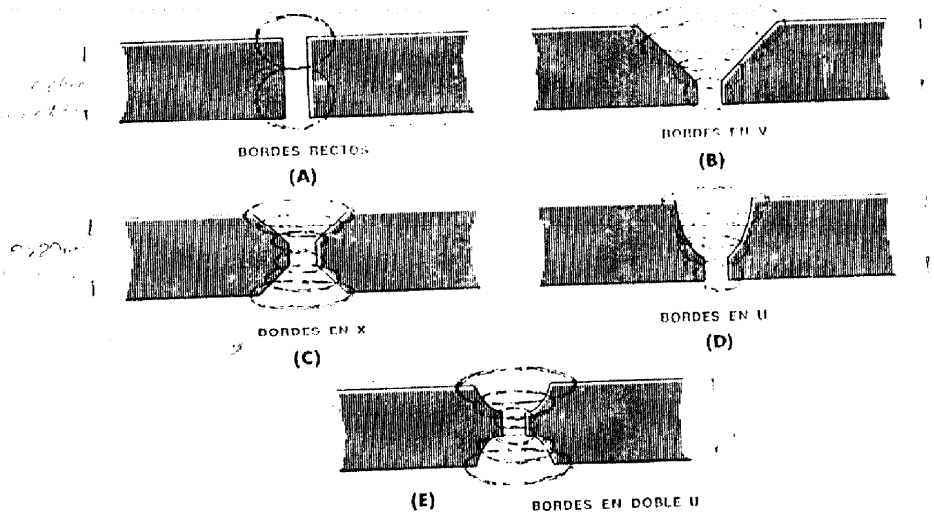


Fig. 4-8. Tipos de preparaciones para uniones a tope.

de arco sumergido, se pueden soldar con esta preparación espesores hasta unos 10 mm, con una separación de unos 3 mm. Este tipo de junta es razonablemente resistente a esfuerzos estáticos, pero no es recomendable para casos sometidos a fatiga o a cargas de impacto, especialmente a bajas temperaturas. La preparación de la junta es relativamente fácil, pues sólo requiere igualar los bordes de las piezas. Consecuentemente, el costo de preparación es bajo (ver fig. 4-8 A).

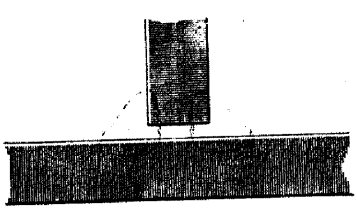
Unión a tope con bordes en V. Esta preparación se emplea para espesores superiores a unos 8 mm. Sin embargo, no es recomendable para espesores superiores a 20 mm. Es más costosa que la preparación con bordes rectos debido a que exige el achaflanado de las piezas y además, precisa una mayor cantidad de material de aportación. Presenta buena resistencia a cargas estáticas, pero no es particularmente adecuada para soportar esfuerzos de flexión que produzcan tracciones en el cordón de raíz (ver fig. 4-8 B).

Unión a tope con bordes en X. Es la que presenta el mejor comportamiento ante todo tipo de cargas. Se suele recomendar para espesores superiores a unos 18 o 20 mm. Para conseguir una buena resistencia la penetración debe ser completa desde ambos lados. El costo de preparación es mayor que en las uniones en V, pero esto se puede compensar por el ahorro que presenta en material de aportación. Para mantener la simetría de la junta y reducir al mínimo la deformación, los cordones deben depositarse alternativamente, a un lado y otro de la junta (ver fig. 4-8 C).

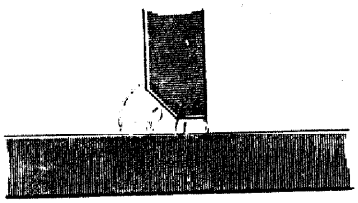
Unión a tope con bordes en U. Este tipo de juntas responden correctamente a todas las condiciones ordinarias de carga, por lo que se suelen utilizar para trabajos que requieran una gran calidad. Su campo de aplicación más adecuado se encuentra entre 13 y 20 mm de espesor (ver fig. 4-8 D). Aunque exige una preparación más costosa que las anteriores, requiere menos material de aportación y origina menos deformaciones.

Unión a tope con bordes en doble U. Es recomendable para espesores superiores a 20 mm y siempre que la soldadura pueda realizarse fácilmente desde ambos lados de la pieza. Es la preparación que presenta un mejor comportamiento ante cualquier condición de carga. Por el contrario, es la que exige unos costos de preparación más elevados (ver fig. 4-8 E).

CENTRO REGIONAL DE INVESTIGACIONES Y DESARROLLO TECNOLOGICO
49
BIBLIOTECA
272

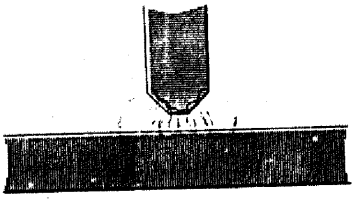


(A)



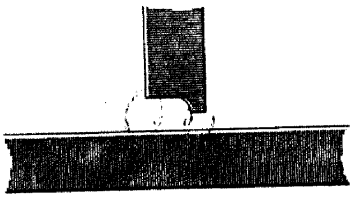
BORDE EN BISEL Y RADIA V

(B)



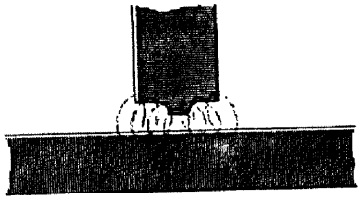
BORDE EN BISEL Y RADIA X

(C)



BORDE EN J

(D)



BORDE EN DOBLE J

(E)

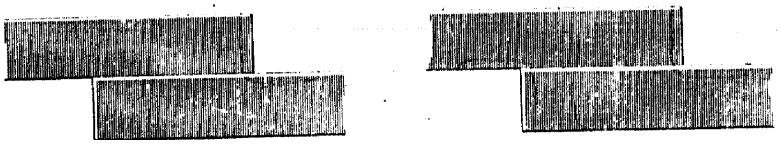
Fig. 4-9. Tipos de preparaciones para uniones en T.

Uniones en ángulo interior (en T)

En este tipo de uniones las piezas se disponen formando un ángulo de aproximadamente 90° y de forma que el borde de una de las piezas descanse sobre la superficie de la otra (ver fig. 4-9). Es aplicable a cualquier espesor y según sea éste y según el grado de penetración que se quiera conseguir, se suelen adoptar los siguientes tipos de preparaciones: borde recto, simple chaflán, doble chaflán, simple J y doble J.

Unión en T. Borde recto. La unión se realiza mediante cordones en ángulo que se pueden depositar desde uno o ambos lados de la junta. Se pueden utilizar sobre espesores ligeros o razonablemente fuertes, siempre que las cargas sometan la soldadura únicamente a cortadura longitudinal. Puesto que la distribución de tensiones sobre la junta puede no ser uniforme, este factor debe considerarse en las zonas sujetas a fuertes impactos o donde actúen elevadas cargas transversales. Para conseguir una buena resistencia se requiere gran cantidad de material de aportación (ver fig. 4-9 A).

Unión en T con simple chaflán. Este tipo de unión procura una mejor distribución de tensiones, por lo que puede soportar mayores cargas que la anterior. La soldadura se realiza desde un solo lado y se



(A) (B)

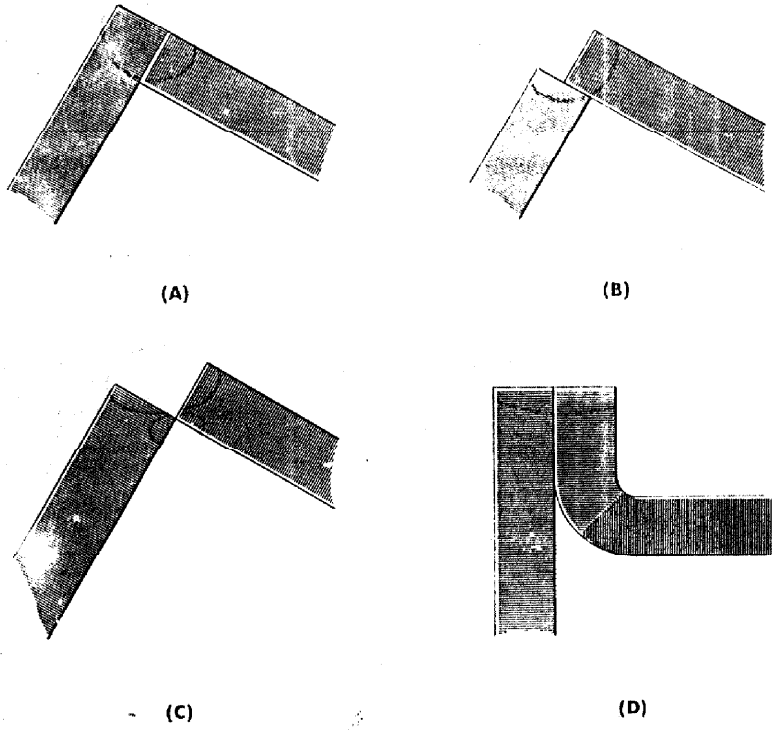
Fig. 4-10. Uniones a solape

suele limitar a espesores iguales o menores a 12 mm (ver fig. 4-9 B).

Unión en T con doble chaflán. Tiene una mayor capacidad resistente y puede soportar tanto cortadura longitudinal como transversal. Sólo es aplicable cuando la soldadura se puede realizar desde ambas caras (ver fig. 4-9 C).

Unión en T. Simple J. Aplicable a espesores de 25 mm o más y siempre que la soldadura sólo sea accesible desde una cara. Especialmente adecuada para soportar grandes cargas.

Unión en T. Doble J. Particularmente adecuada para grandes espesores (del orden de 40 mm o más) y siempre que las cargas a soportar sean muy importantes. Sólo es aplicable cuando la junta es accesible desde ambas caras (ver fig. 4-9 E).



(A) (B)

(C) (D)

Fig. 4-11. Uniones en esquina.

Uniones a solape

Como su nombre indica, las piezas se disponen de forma que una solape parcialmente a la otra. Para conseguir una buena resistencia, la longitud del solape debe ser mayor del triple del espesor de la pieza más fina. La unión se puede conseguir mediante la aplicación de uno o dos cordones de soldadura (ver fig. 4-10).

Unión a solape con un solo cordón. Es de muy fácil realización. El metal de aportación se deposita simplemente a lo largo de uno de los rincones que dejan las piezas al disponer una sobre la otra. La resistencia de la soldadura depende del espesor del cordón en ángulo depositado. La soldadura mediante un solo cordón es aplicable hasta unos 12 mm de espesor, siempre que la carga a soportar no sea muy severa (ver fig. 4-10 A).

Unión a solape mediante dos cordones. Tiene capacidad de carga mucho mayor que la anterior. Es un tipo de unión muy utilizado en soldadura. Como regla general, si la soldadura se realiza correctamente su resistencia es comparable a la del metal base (ver fig. 4-10 B).

Uniones en ángulo exterior

Son ampliamente utilizadas en la unión de secciones que no estén sometidas a grandes esfuerzos. Según la disposición de los bordes, las podemos clasificar en uniones en ángulo exterior cerradas, semiabiertas y abiertas.

Uniones en esquina, cerradas. Se emplea principalmente para espesores finos, debido a que no permite conseguir una buena penetración. Poco recomen-

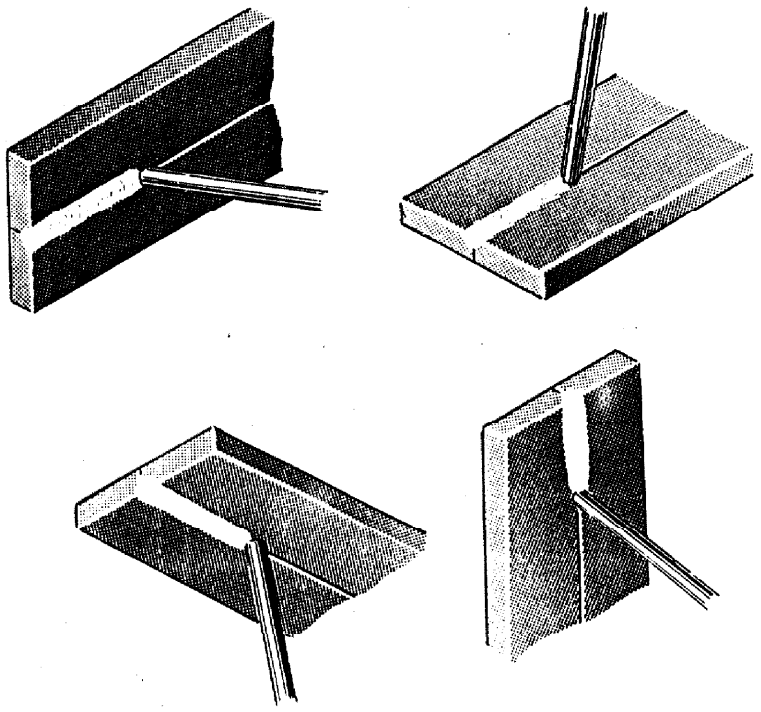


Fig. 4.12 Principales posiciones de soldadura.

dable por su pequeña capacidad de carga (ver figura 4-11 A).

Uniones en esquina, semiabiertas. Recomendables para espesores más fuertes y donde la soldadura sólo pueda realizarse desde un lado. Capaces de soportar cargas en las que el impacto o la fatiga no sean muy severos. La disposición de los bordes, de forma que las esquinas interiores quedan protegidas, disminuye el peligro de formación de agujeros en la raíz de la junta (ver fig. 4-11 B).

Uniones en esquina, abiertas. Esta disposición de las piezas permite la soldadura desde ambos lados, por lo que se pueden conseguir juntas muy resistentes, capaces de soportar grandes cargas. Es aplicable a cualquier espesor. Debido a la buena distribución de tensiones, es recomendable para soportar esfuerzos de fatiga o cargas de impacto (ver fig. 4-11 C).

Unión sobre cantos

Aplicable para espesores finos (unos 6 mm o menos) y con muy pequeña capacidad resistente (ver figura 4-11 D).

Terminología básica en soldadura

Antes de introducirnos en el estudio de las distintas operaciones y procedimientos de soldeo, es importante entender y adquirir la siguiente terminología:

Posiciones de soldadura. Las cuatro posiciones fundamentales en las que se puede realizar una soldadura son la horizontal, vertical, cornisa y techo (ver fig. 4-12). La posición horizontal es la más ampliamente utilizada, puesto que permite una soldadura rápida y fácil de realizar. La soldadura en techo es

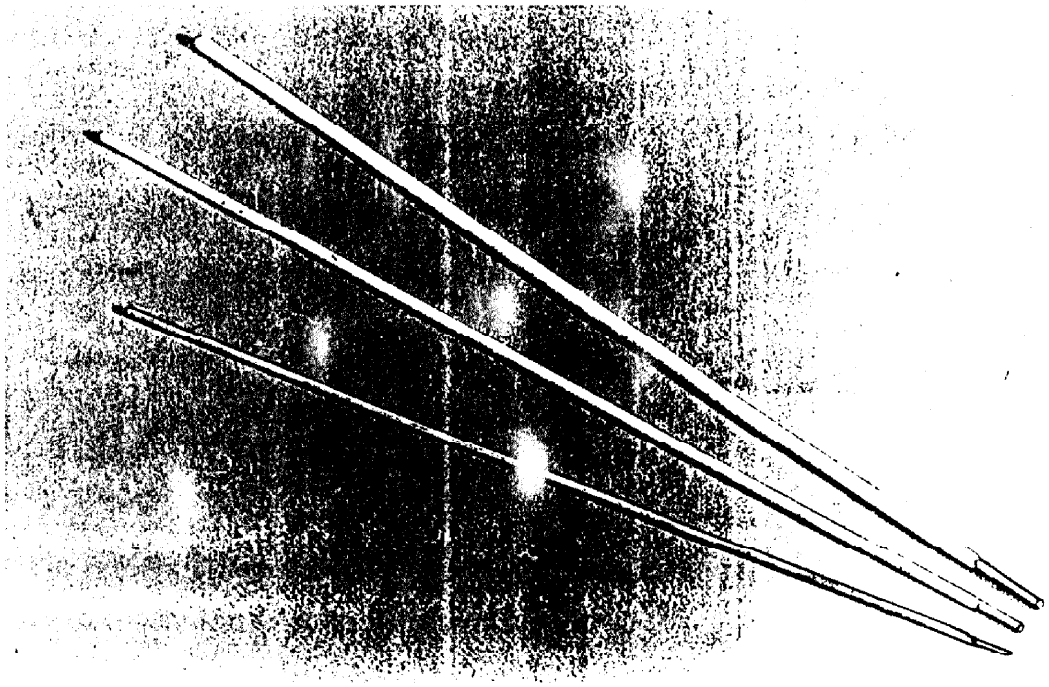


Fig. 4-13. Estos tres electrodos están revestidos; salvo una pequeña parte en el extremo inferior de la derecha, destinada a sujetarlos en la pinza.

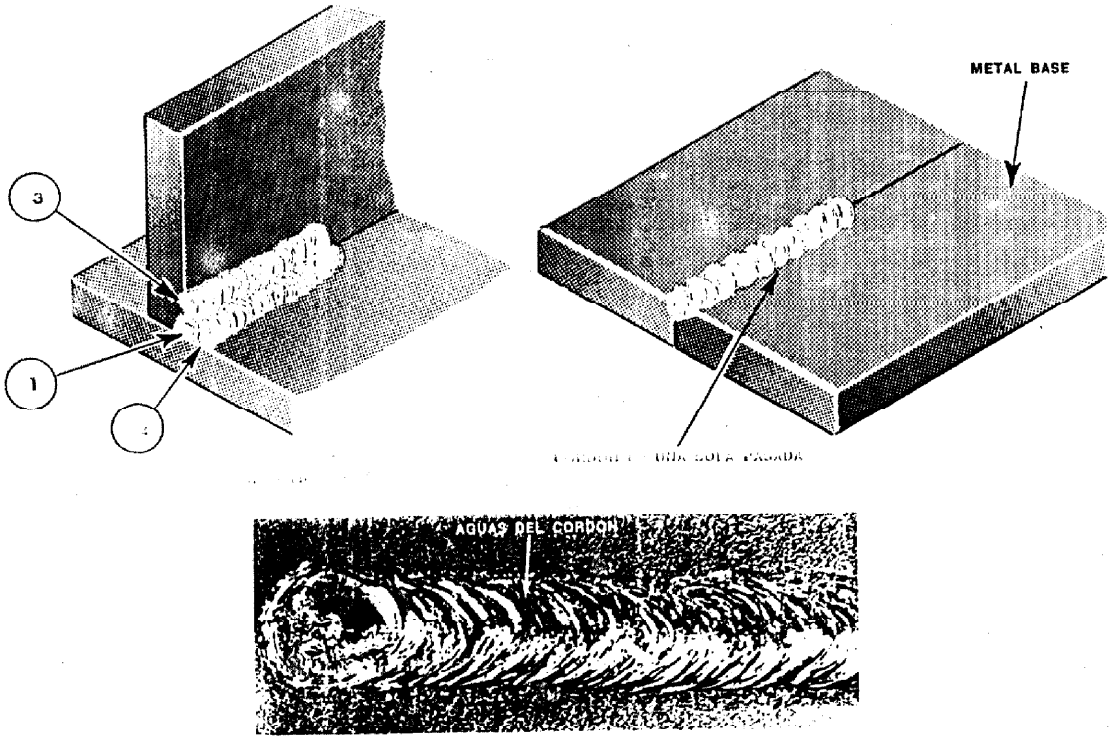


Fig. 4-14. En las figuras se muestran algunos de los términos definidos en el texto.

bastante más difícil debido a que el baño de fusión tiene tendencia a caerse. Requiere una habilidad considerable para asegurar un cordón uniforme y con penetración correcta. La soldadura en vertical puede realizarse desde abajo hacia arriba (soldadura en vertical ascendente) o de arriba hacia abajo (vertical descendente). Para espesores muy finos es más recomendable la soldadura en descendente. La soldadura en cornisa también es difícil pues, como en el caso de techo, el baño de fusión también tiene tendencia a descolgarse.

Electrodo. Varilla metálica, recubierta con una sustancia especial, utilizada como aportación para rellenar la junta a soldar (fig. 4-13).

Metal base. Está constituido por las piezas a soldar (fig. 4-14).

Cordón de soldadura. Capa, o capas, de metal depositado sobre el metal base, al fundir el electrodo (véase fig. 4-14).

Aguas del cordón. Aspecto superficial del cordón de soldadura como consecuencia del movimiento del electrodo (véase fig. 4-14).

Pasada estrecha. Metal depositado sin balanceo lateral del electrodo.

Pasada ancha. Metal depositado con balanceo lateral del electrodo.

Pasada. Cada uno de los depósitos de material que se realiza sobre la junta. Puede ser ancha o estrecha (fig. 4-14).

Cráter. Depresión producida en el metal base por la acción del arco (ver fig. 4-15).

Penetración. Profundidad que alcanza la fusión en el metal base (fig. 4-16).

Sobreespesor. Material del cordón que sobresale



Fig. 4-15. Aspecto del cráter en el metal base. (The Lincoln Electric Co.)

con relación a la superficie de las piezas a soldar (fig. 4-17). Es particularmente aplicable a las uniones a tope.

Remates. Puntos de enlace entre el material base y el de aportación (ver fig. 4-17).

«Cara» del cordón. Superficie exterior de los cordones en ángulo. Puede ser plana, cóncava o convexa (fig. 4-17).

Raíz. Punto del cordón opuesto a la superficie exterior del mismo (fig. 4-17).

Talón. Parte recta en la zona inferior de los bordes achaflanados (fig. 4-17).

Garganta o cuello. Distancia desde la superficie exterior hasta la raíz del cordón (véase fig. 4-17).

Anchura del cordón. Distancia entre remates, medida sobre la superficie exterior del cordón (véase fig. 4-17).

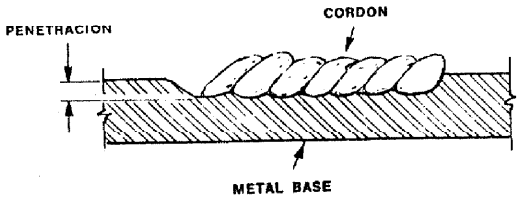


Fig. 4-16. La distancia desde la superficie del metal base hasta la parte interior del cordón recibe el nombre de penetración.

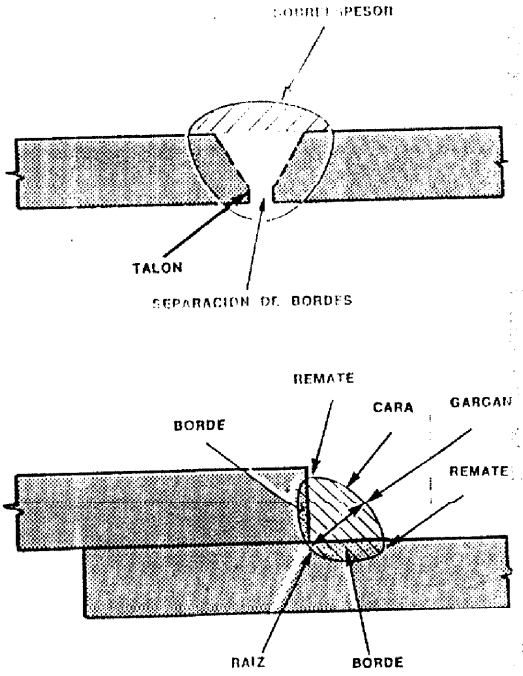


Fig. 4-17. Terminología de distintas partes de un cordón.

CUESTIONES PARA ESTUDIO Y DISCUSION

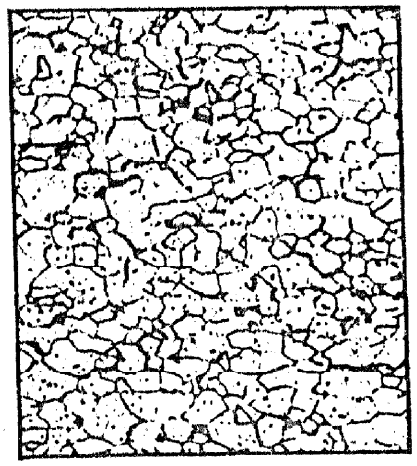
1. ¿Cuáles son algunos de los principales factores que deben considerarse en la elección del tipo de junta para cualquier estructura soldada?
2. ¿Cuándo se emplea la soldadura de recargue?
3. ¿Qué es un cordón en ángulo?
4. ¿En qué tipo de uniones se emplean los cordones en ángulo?
5. ¿Qué es una soldadura de tapón?
6. ¿Por qué las uniones a tope con bordes achaflanados son superiores a las de bordes rectos cuando se trata de soldar espesores gruesos?
7. ¿Cuáles son los tipos fundamentales de uniones en T?
8. ¿Cómo describirías una unión a solape a doble cordón?
9. De los distintos tipos de uniones en ángulo exterior, ¿cuál es la más resistente?
10. ¿Por qué la soldadura en horizontal es la más utilizada?
11. ¿Por qué la soldadura en techo es más difícil de realizar?
12. ¿Qué se entiende por soldadura descendente? ¿Y ascendente?
13. ¿Qué se entiende cuando nos dicen que debemos realizar la soldadura en tres pasadas?
14. ¿Qué se entiende por remates del cordón?
15. ¿Qué es la raíz de un cordón de soldadura?
16. ¿Cuáles son algunos de los principios básicos que contribuyen a una buena geometría de la junta?
17. ¿Cuándo se utilizan normalmente las juntas en T con doble chaflán?

26

ELECTRODOS PARA SOLDADURA ACEROS INOXIDABLES



Acero inoxidable martensítico
Tipo AISI 410
(Ataque con reactivo Vilella; 500 x)



Acero inoxidable ferrítico
tipo AISI 430.
(Ataque electrolítico HCl-metanol; 200 x)



Acero inoxidable austenítico
tipo AISI 304.
(Ataque con HNO3 acético-glicerina; 250 x)



Metal de soldadura austeno-ferrítico.
Ferrita en bandas continuas
contorneando bordes de grano
austeníticos. Ataque con reactivo
V2A a +60°C (500 x)

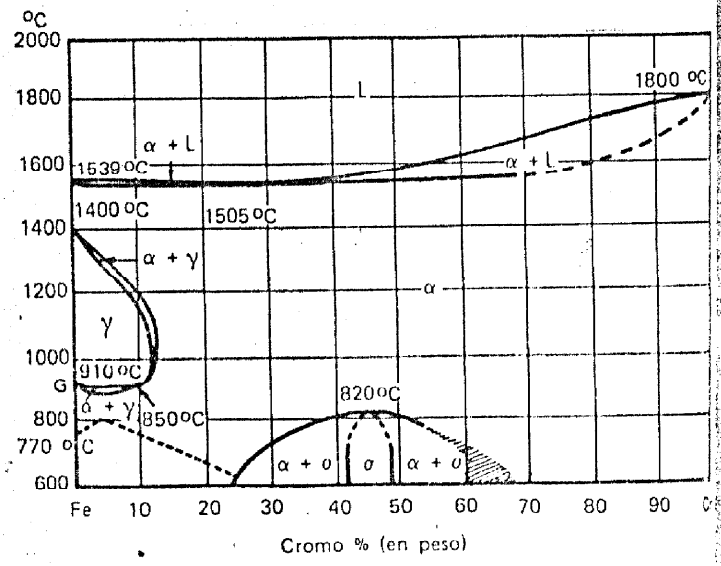


Diagrama de las aleaciones hierro - cromo (sin carbono)

DIAGRAMA DE SCHAEFFLER

El diagrama de Schaeffler se usa principalmente para predecir la estructura del metal de soldadura obtenido en la unión de aceros inoxidables disimiles, o de aceros inoxidables con aceros al carbono, con o sin aleación.

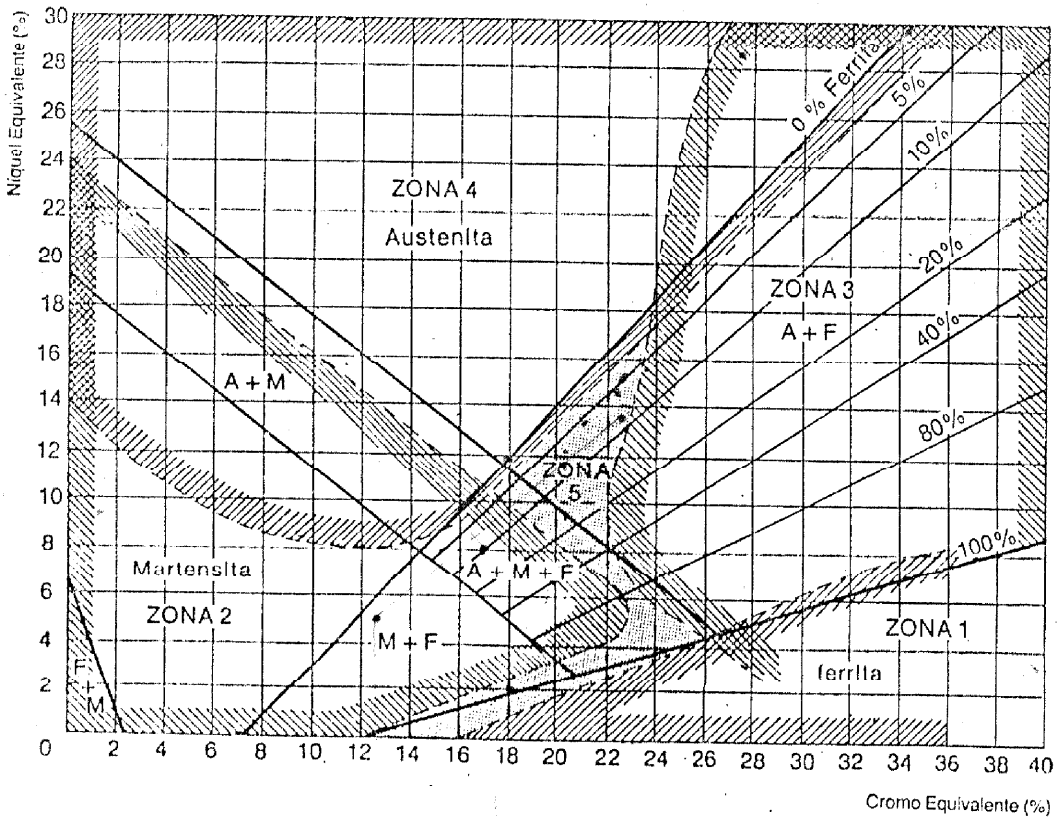
Para su empleo se parte del cromo y níquel equivalentes que son coordenadas del diagrama, los cuales se determinan mediante las fórmulas siguientes:

Cromo equivalente: % Cr + % Mo + 1,5 × % Si + 0,5 × % Nb
Níquel equivalente: % Ni + 30 × % C + 0,5 × % Mn

Cuando se trata de uniones sobre un único material base, el punto correspondiente al metal de soldadura en el diagrama de Schaeffler estará ubicado sobre la recta de unión entre el punto correspondiente al metal base y el punto correspondiente al metal de aporte puro que corresponde al electrodo utilizado dependiendo su ubicación del grado de dilución con que se trabaje. En el proceso manual con electrodo revestido se acepta un 30% como valor típico de grado de dilución, por lo que es usual dividir la recta anteriormente mencionada en diez partes iguales siendo de ese modo el punto correspondiente al metal de soldadura, el tercero contando a partir del punto de metal de aporte puro. Cuando la unión involucra dos materiales base distintos, el punto correspondiente al metal de soldadura en el diagrama, estará ubicado sobre la recta de unión entre el punto correspondiente al metal de aporte puro y algún punto de la recta de unión entre los puntos correspondientes a los materiales bases, cuya ubicación será función de la participación de cada uno de ellos en el metal de soldadura o grado de dilución. Usualmente participan en igual grado por lo que dicho punto puede ubicarse en el centro de la recta. El punto definitivo del metal de soldadura se determina luego en forma análoga al caso de considerar un único metal base en la unión.

Diagrama Nº 1

ZONAS CARACTERISTICAS



Zona 1: Crecimiento de grano a temperaturas superiores a 1150°C

Zona 2: Riesgos de fisuración en frío a temperaturas inferiores a 400°C

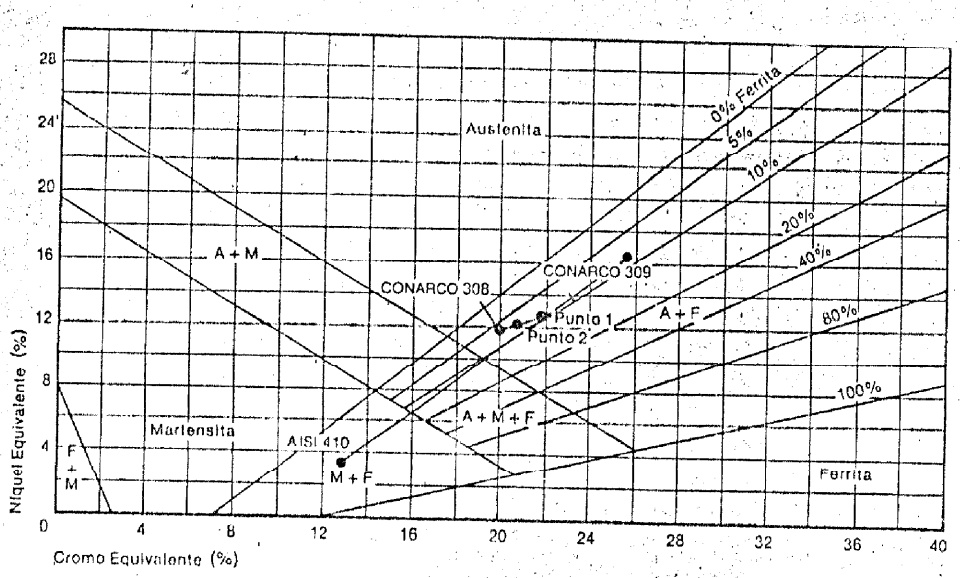
Zona 3: Formación de fase sigma en solicitaciones de temperaturas entre 500 y 900°C

Zona 4: Riesgos de fisuración en caliente a temperaturas superiores a 1250°C.

Zona 5: Metal de soldadura óptimo con respecto a las solicitaciones mecánicas de la junta.

En todos los casos en que no sea prioritario equiparar las resistencias a la corrosión de la junta y de los materiales base, el metal de aporte se seleccionará de tal modo que el metal de soldadura resultante se encuentre ubicado dentro de esta última zona, de color gris en el diagrama.

Diagrama N° 4



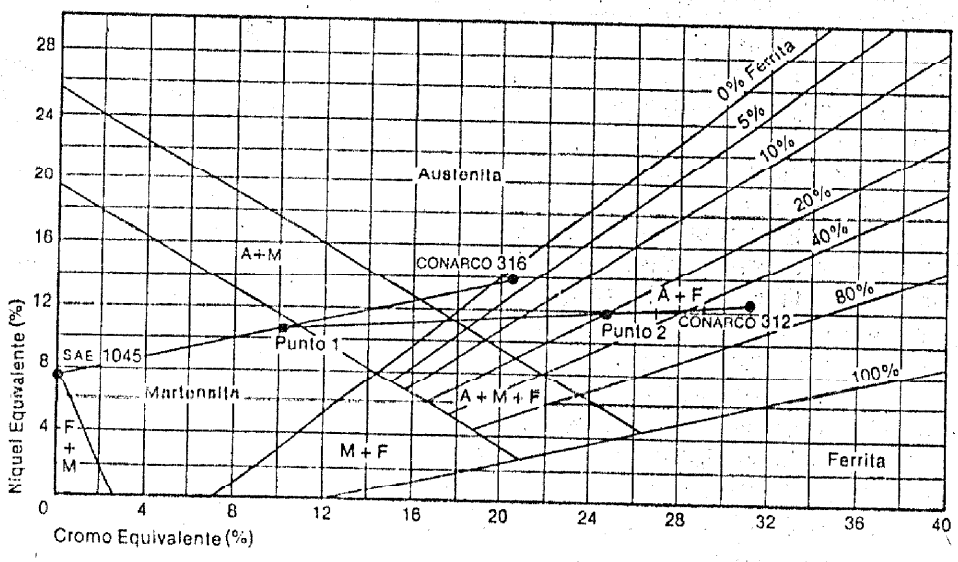
EJEMPLO DE SOLDADURA DE ACERO SAE 1045 CON AISI 316

En el caso de aceros al carbono, se considera un 50% de descarburación en la soldadura por lo que en la fórmula del níquel equivalente debe reemplazarse el coeficiente correspondiente al carbono adoptándose el valor 15 ×%C.

Si los materiales tienen similar espesor puede suponerse que participan en igual grado en el metal de soldadura, punto 1 (Diagrama N° 5).

Resulta evidente que el electrodo más adecuado para la unión será el CONARCO 312, que dará un metal de soldadura ubicado en el punto 2.

Diagrama N° 5



COMPOSICION QUIMICA DE ACEROS INOXIDABLES SEGUN NORMAS AISI

CLASIFICACION AISI	CARBONO (%)	MANGANESO (%)	SILICIO (%)	CROMO (%)	NIQUEL (%)	OTROS ELEMENTOS (%)	ESTRUCTURA
201	0,15 Máx.	5,5/7,5	1,00	16,00/18,00	3,50/ 5,50	N_2 0,25 Máx.	Austenítico
202	0,15 Máx.	7,5/10,00	1,00	17,00/19,00	4,00/ 6,00	N_2 0,25 Máx.	Austenítico
301	0,15 Máx.	2,00	1,00	16,00/18,00	6,00/ 8,00	—	Austenítico
302	0,15 Máx.	2,00	1,00	17,00/19,00	8,00/10,00	—	Austenítico
302B	0,15 Máx.	2,00	2,00/3,00	17,00/19,00	8,00/10,00	—	Austenítico
304	0,08 Máx.	2,00	1,00	18,00/20,00	8,00/12,00	—	Austenítico
304L	0,03 Máx.	2,00	1,00	18,00/20,00	8,00/12,00	—	Austenítico
305	0,12 Máx.	2,00	1,00	17,00/19,00	10,00/13,00	—	Austenítico
308	0,08 Máx.	2,00	1,00	19,00/21,00	10,00/12,00	—	Austenítico
309	0,20 Máx.	2,00	1,00	22,00/24,00	12,00/15,00	—	Austenítico
309S	0,08 Máx.	2,00	1,00	22,00/24,00	12,00/15,00	—	Austenítico
310	0,25 Máx.	2,00	1,50	24,00/26,00	19,00/22,00	—	Austenítico
310S	0,08 Máx.	2,00	1,50	24,00/26,00	19,00/22,00	—	Austenítico
314	0,25 Máx.	2,00	1,50/3,00	23,00/26,00	19,00/22,00	—	Austenítico
316	0,08 Máx.	2,00	1,00	16,00/18,00	10,00/14,00	Mo 2,00/3,00	Austenítico
316L	0,03 Máx.	2,00	1,00	16,00/18,00	10,00/14,00	Mo 2,00/3,00	Austenítico
317	0,08 Máx.	2,00	1,00	18,00/20,00	11,00/15,00	Mo 3,00/4,00	Austenítico
321	0,08 Máx.	2,00	1,00	17,00/19,00	9,00/12,00	Ti 5×C Mín.	Austenítico
347	0,08 Máx.	2,00	1,00	17,00/19,00	9,00/13,00	Cb+Ta 10×C mín.	Austenítico
348	0,08 Máx.	2,00	1,00	17,00/19,00	9,00/13,00	Cb+Ta 10 C Mín. Ta 0,10 Máx	Austenítico
403	0,15 Máx.	1,00	0,50	11,50/13,00	—	—	Martensítico
410	0,15 Máx.	1,00	1,00	11,50/13,50	—	—	Martensítico
414	0,15 Máx.	1,00	1,00	11,50/13,50	1,25/ 2,50	—	Martensítico
416	0,15 Máx.	1,25	1,00	12,00/14,00	—	Zr o Mo 0,60 % Máx.	Martensítico
420	0,15 Mín.	1,00	1,00	12,00/14,00	—	—	Martensítico
440B	0,75/0,85	1,00	1,00	16,00/18,00	—	Mo 0,75 % Máx.	Martensítico
501	0,10 Mín.	1,00	1,00	4,00/ 6,00	—	Mo 0,40/0,65	Martensítico
405	0,08 Máx.	1,00	1,00	11,50/14,50	—	Al 0,10/0,30	Ferrítico
430	0,12 Máx.	1,00	1,00	16,00/18,00	—	—	Ferrítico
442	0,20 Máx.	1,00	1,00	18,00/23,00	—	—	Ferrítico
502	0,10 Máx.	1,00	1,00	4,00/ 6,00	—	Mo 0,45/0,60	Ferrítico

COMPOSICION QUIMICA DEL METAL DE APORTE PURO SEGUN NORMA AWS A5.4-78

Clasificación	Composición del metal de aporte puro %								
	C	Cr	Ni	Mo	Cb+Ta	Mn	Si	P	S
E307	0,13	18,0/20,5	9,0/10,5	0,5/1,5	—	3,3/4,75	0,90	0,04	0,03
E308	0,08	18,0/21,0	9,0/11,0	—	—	2,5	0,90	0,04	0,03
E308L	0,04	18,0/21,0	9,0/11,0	—	—	2,5	0,90	0,04	0,03
E308MoL	0,04	18,0/21,0	9,0/12,0	2,0/3,0	—	2,5	0,90	0,04	0,03
E309	0,15	22,0/25,0	12,0/14,0	—	—	2,5	0,90	0,04	0,03
E309Mo	0,12	22,0/25,0	12,0/14,0	2,0/3,0	—	2,5	0,90	0,04	0,03
E310	0,20	25,0/28,0	20,0/22,0	—	—	2,5	0,75	0,03	0,03
E312	0,15	28,0/32,0	8,0/10,5	—	—	2,5	0,90	0,04	0,03
E316	0,08	17,0/20,0	11,0/14,0	2,0/2,5	—	2,5	0,90	0,04	0,03
E316L	0,04	17,0/20,0	11,0/14,0	2,0/2,5	—	2,5	0,90	0,04	0,03
E318	0,08	17,0/20,0	11,0/14,0	2,0/2,5	6×C Mín/ 1,00 Máx	2,5	0,90	0,04	0,03
E347	0,08	18,0/21,0	9,0/11,0	—	8×C Mín/ 1,00 Máx.	2,5	0,90	0,04	0,03
E410	0,12	11,0/13,5	0,60	—	—	1,0	0,90	0,04	0,03
E430	0,10	15,0/18,0	0,60	—	—	1,0	0,90	0,04	0,03
E502	0,10	4,0/ 6,0	0,40	0,45/0,65	—	1,0	0,90	0,04	0,03

TECNICA DE LA SOLDADURA

ELECTRODOS INOXIDABLES AUSTENITICOS PARA SOLDADURAS DE ACEROS DISIMILES Y DE MALA SOLDABILIDAD

* Ing. Roberto José Pieklo

IMPSA - Garantía de Calidad
ING. DANIEL H. BRAVO
LAB. ENSAYOS DESTRUCTIVOS

Es habitual el empleo de electrodos inoxidables austeníticos para soldaduras de unión y reparación, sin embargo no existen coincidencias en los criterios de su aplicación. En el artículo se analiza este aspecto bajo dos consideraciones distintas: la primera, en los casos de soldaduras entre aceros disímiles teniendo en cuenta las propiedades de estos electrodos, su clasificación según AWS A5.4—78, y la elección de acuerdo con el diagrama de Schaeffler; la segunda, en trabajos de reparación sobre aceros de mala soldabilidad considerando las ventajas que ofrecen, la discriminación de su uso respecto de consumibles ferríticos convencionales y los criterios de elección. Una tercera parte plantea un tema polémico: AWS E309 versus AWS E312, en donde se realiza un breve análisis de las ventajas del empleo de uno y de otro.

ELECTRODOS INOXIDABLES AUSTENITICOS - Parte I -

SOLDADURA DE ACEROS DISIMILES

Si bien es cierto que podrían considerarse como aceros disímiles aquéllos que simplemente difieran en el contenido porcentual de alguno de sus elementos constituyentes, por ejemplo el carbono en aceros SAE 1010 y SAE 1045, se reserva esta denominación para los aceros que presentan una diferencia sustancial no solo en composición química sino también en microestructura, propiedades mecánicas y principalmente en el comportamiento frente a procesos de soldadura. El ejemplo más típico es la soldadura de unión de aceros al carbono con aceros inoxidables.

Elección del consumible

El criterio de elección del consumible a emplear se basa esencialmente en lograr en el metal de soldadura las propiedades correspondientes al acero de inferior calidad involucrado en la unión. En el ejemplo anteriormente mencionado, la resistencia a la corrosión que ofrece el acero inoxidable no será requisito exigido en el metal de soldadura en consideración a que al otro lado de la junta se encuentra el acero al carbono que no cumple dicha propiedad.

El empleo en forma absoluta de este criterio puede sin embargo llevar a cometer errores si no se tiene en cuenta el efecto sobre las propiedades de la junta que puede producir la dilución entre el metal de aporte y los correspondientes metales base.

Para un mejor análisis de este último concepto, se considera la unión entre dos aceros disímiles tales como el SAE 1010 y el AISI 304, designados como A y B, con un metal de aporte C, en soldadura de pasadas múltiples.

En la figura 1 se grafican las distintas zonas.

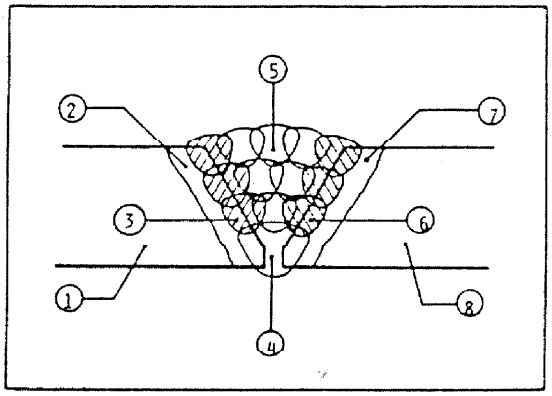
Efectos de la dilución

Prosiguiendo con la consideración del caso típico de soldadura de unión entre aceros al carbono y acero inoxidable, por ejemplo SAE 1010 y AISI 304; si se emplea un electrodo que deposita acero al carbono, la zona correspondiente a los cordones adyacentes al acero inoxidable (6) tendrá por efecto de la dilu-

---

* Integrante del Departamento de Asistencia Técnica de Conarco, Alambres y Soldaduras S.A.

** Conferencia dictada en la Universidad del Centro de la Provincia de Buenos Aires, Facultad de Ingeniería Olavarría, en octubre de 1981.



1— Distintas zonas de la unión entre aceros disímiles SAE 1010 y AISI 304.

A— Acero al carbono
B— Acero inoxidable
C— Metal de aporte puro

1) Acero al carbono sin afectar, con todas sus propiedades originales.
2) Acero al carbono afectado termicamente.
3) Cordones adyacentes del metal de aporte afectados por la dilución con el acero al carbono.
4) Cordón de pasada de raíz, conteniendo a los tres metales, A, B y C.
5) Metal de aporte C en el centro de la unión, prácticamente sin diluir.
6) Cordones adyacentes del metal de aporte C afectados por la dilución con el acero inoxidable.
7) Acero inoxidable afectado termicamente.
8) Acero inoxidable sin afectar.

ción un porcentaje de cromo intermedio que dará como resultado una estructura típica de temple sustancialmente dura y frágil. Asimismo, si se emplea un electrodo AWS E308, que deposita acero inoxidable similar al AISI 304, la zona correspondiente a los cordones adyacentes al acero al carbono (3) será ahora la que, también por efectos de la dilución, presente el mismo problema. Esto es consecuencia de la necesidad de conservar un porcentaje mínimo de cromo en el metal de soldadura que permita retener, en función del níquel presente, una estructura austenítica o austeno-ferrítica impidiendo la formación de martensita.

Debe recordarse que los aceros con bajos porcentajes de cromo y níquel, tales como el SAE 3130 con 0,65% Cr y 1,25% Ni, se caracterizan por su gran templabilidad.

PROPIEDADES DE LOS ELECTRODOS INOXIDABLES AUSTENITICOS PARA ACEROS DISIMILES

Obviando propiedades operativas tales como excelente conformación de cordón y desprendimiento de escoria, los aspectos más relevantes que caracterizan a estos consumibles son:

— Tolerancia a la dilución
— Efectos sobre el hidrógeno difusible

Insensibilidad a la dilución

En el análisis del efecto de la dilución se puso en evidencia que la disminución del contenido de aleación puede provocar fragilización en el metal de soldadura. Los electrodos inoxidables austeníticos se caracterizan por sus porcentajes elevados de elementos de aleación, principalmente cromo, que permiten su empleo aún con grados de dilución notablemente altos sin riesgos de generación de estructuras martensíticas.

No obstante, con esta única condición el metal depositado no está exento de problemas.

En el centro de la unión (5), si se suelda en multipasadas, puede considerarse que no existe dilución con el metal base y la composición química corresponde al metal de aporte puro. Los depósitos totalmente austeníticos son sensibles a las fisuras de solidificación o fisuración en caliente.

Conocido es el efecto inhibidor de la ferrita sobre este tipo de fisuración, por lo que los electrodos a los cuales se está haciendo referencia están formulados de modo tal que son capaces de retener una fase ferrítica dentro de la matriz austenítica. Es por ello que, si bien se ha generalizado el término "austeníticos", su denominación correcta es "electrodos inoxidables austeno-ferríticos".

Solubilidad del hidrógeno en la estructura austenítica

Cuando uno de los aceros involucrados en la unión, o ambos, presenta una estructura de escasa ductilidad, ya sea de origen o como consecuencia del ciclo térmico impuesto por el proceso de soldadura, otra probable causa de fisuración es el hidrógeno presente en el metal depositado. Estas fisuras en frío, inducidas por dicho elemento, se evitan en primera instancia empleando consumibles que depositan un metal de soldadura con niveles de hidrógeno bajos y controlados.

Una gran virtud de los electrodos austení-

ticos es su capacidad de retener en solución dentro de su estructura austenítica al hidrógeno presente, independientemente de la fuente de que provino, desde la cual luego difunde lentamente a los metales base. El nivel final en la zona afectada termicamente es sustancialmente bajo y se reducen las posibilidades de fisuración. En cuanto al metal de soldadura, su matriz austenítica lo hace insensible a la fragilización inducida por el hidrógeno presente.

Este aspecto será reconsiderado en el estudio de soldaduras de aceros de mala soldabilidad.

CLASIFICACION SEGUN NORMA AWS A5.4 – 78

La norma AWS A5.4 del año 1978 establece los requerimientos exigidos a los electrodos de acero inoxidable. A los fines de este artículo solo resultan interesantes algunos de ellos, cuyas designaciones y composiciones químicas se indican en la tabla I.

A excepción del E307 y E310 con estructuras totalmente austeníticas, todos depositan un metal de aporte puro austeno-ferrítico.

DESIGNACION	C*	Cr	Ni	Mo	Mn	Si*	P*	S*	Cu*
E307	0,13	18,0/20,5	9,0/10,5	0,5/1,5	3,30/4,75	0,90	0,04	0,03	0,50
E308	0,08	18,0/21,0	9,0/11,0	0,5	0,5/2,5	0,90	0,04	0,03	0,50
E308MoL	0,04	18,0/21,0	9,0/12,0	2,0/3,0	0,5/2,5	0,90	0,04	0,03	0,50
E309	0,15	22,0/25,0	12,0/14,0	0,5	0,5/2,5	0,90	0,04	0,03	0,50
E309Mo	0,12	22,0/25,0	12,0/14,0	2,0/3,0	0,5/2,5	0,90	0,04	0,03	0,50
E310	0,20	25,0/28,0	20,0/22,5	0,5	1,0/2,5	0,75	0,03	0,03	0,50
E312	0,15	28,0/32,0	8,0/10,5	0,5	0,5/2,5	0,90	0,04	0,03	0,50
E316	0,08	17,0/20,0	11,0/14,0	2,0/2,5	0,5/2,5	0,90	0,04	0,03	0,50

TABLA I: Composición química del metal de aporte puro de los electrodos citados en este artículo, según norma AWS A5.4–78.

* Valores máximos.

DIAGRAMA DE SCHAEFFLER

Mediante su empleo es factible predecir en forma aproximada la estructura que tendrá el metal de soldadura como resultado de la participación de los materiales base y de aporte.

Para su empleo se parte del cromo y níquel equivalentes, los cuales se determinan mediante las fórmulas siguientes:

Cromo equivalente: %Cr + %Mo + 1,5x %Si + %Nb
Níquel equivalente: %Ni + 30x %C + 0,5x %Mn

La figura 2 muestra un diagrama Schaeffler donde se han identificado las zonas típicas correspondientes a las propiedades de cada estructura.

En todos los casos en que no sea prioritario equiparar las resistencias a la corrosión de la junta y de los materiales base, el metal de aporte se selecciona de modo tal que el metal de soldadura resultante se encuentre ubicado dentro de la zona libre de defectos.

Modo de empleo

Cuando se trata de uniones sobre un único metal base, el punto correspondiente al metal de soldadura estará ubicado sobre la recta de unión entre el punto correspondiente al metal base y el punto correspondiente al metal de aporte puro, dependiendo su ubicación del grado de dilución que se obtenga con el proceso de soldadura. En el proceso manual con electrodo revestido se acepta un 30% como valor típico del grado de dilución, por lo que es usual dividir la recta anteriormente mencionada en diez partes iguales siendo de ese modo el punto correspondiente al metal de soldadura, el tercero contando a partir del punto de metal de aporte puro.

Cuando la unión involucra dos metales base distintos, el punto correspondiente al metal de soldadura en el diagrama estará ubicado sobre la recta de unión entre el punto correspondiente al metal de aporte puro y algún punto de la recta de unión entre los puntos

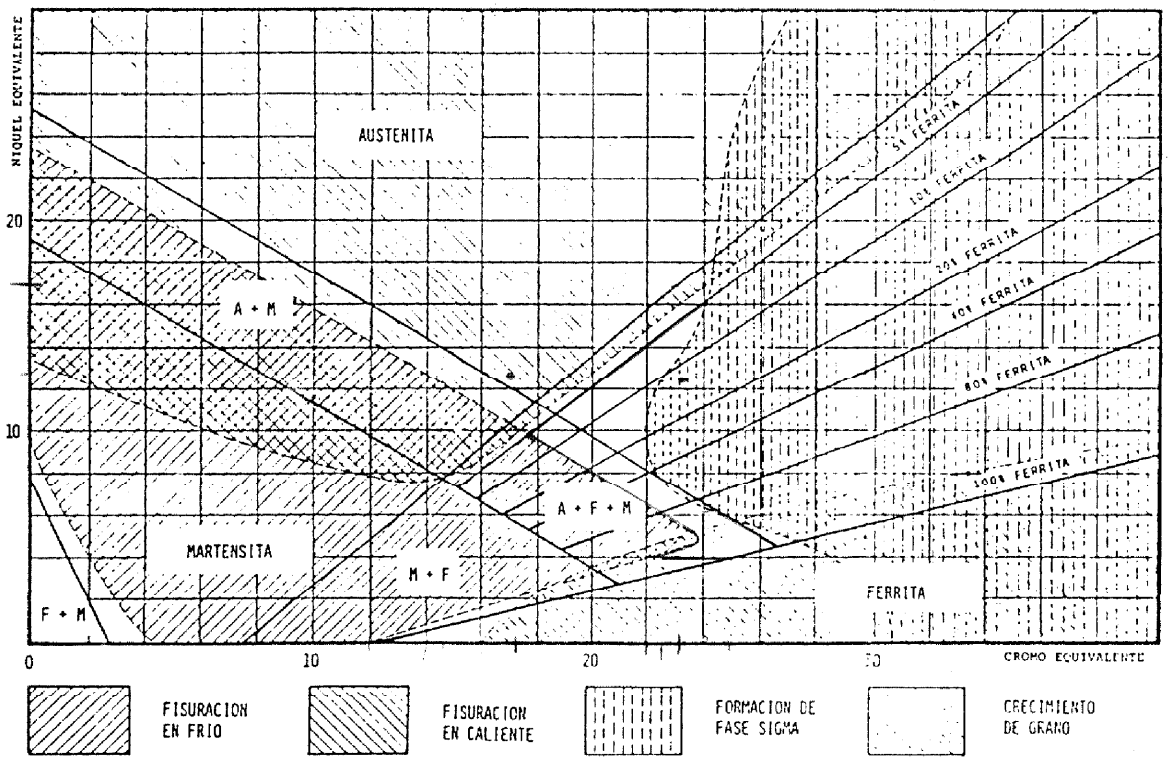


Fig. 2 - *Diagrama de Schaeffler con delimitación de las zonas correspondientes a cada probable defecto. Las zonas sin rayar corresponden a metales de soldadura sanos.*

correspondientes a los metales base, cuya ubicación será función de la participación de cada uno de ellos en el metal de soldadura o grado de dilución. Usualmente participan en igual grado, por lo que dicho punto puede ubicarse en el centro de la recta. El punto definitivo del metal de soldadura se determina luego en forma análoga al caso de considerar un único metal base en la unión.

Ejemplo de soldadura de acero SAE 1010 con AISI 304

En el caso de aceros al carbono, se considera un 50% de decarburación en la soldadura por lo que en la fórmula del níquel equivalente se reemplaza el coeficiente correspondiente al carbono adoptándose el valor 15 x % C.

Determinado el cromo y níquel equivalente para ambos casos, sus ubicaciones en el diagrama de Schaeffler de la figura 3 son los puntos identificados como SAE 1010 y AISI 304 respectivamente.

Si los aceros tienen el mismo espesor participarán aproximadamente en igual grado en el metal de soldadura y en el punto MB equidistante de ambos es entonces el que se considera para la elección del metal de aporte. Dicho punto se une luego con los correspondientes a los metales de aporte presumiblemente aptos para la unión, como se grafica en la figura 4.

Todos los consumibles que brindan metales de soldadura dentro de la zona libre de defectos, sin rayado en el diagrama, son en principio adecuados. Para el ejemplo que estamos considerando son aptos los electrodos E308MoL, E309, E309Mo, E312 y E316 y la selección se limita ahora a estos cinco metales de aporte.

Si las temperaturas de servicio del conjunto son superiores a los 500° C, cierto es que ello es poco probable en función de los aceros considerados en este ejemplo, diluciones normales en soldadura de una pasada o metal sin diluir en centros de unión en soldaduras de multipasadas, provocarán fase sigma, con la fragilización consiguiente del metal de soldadura, si se emplean electrodos E309Mo o E312.

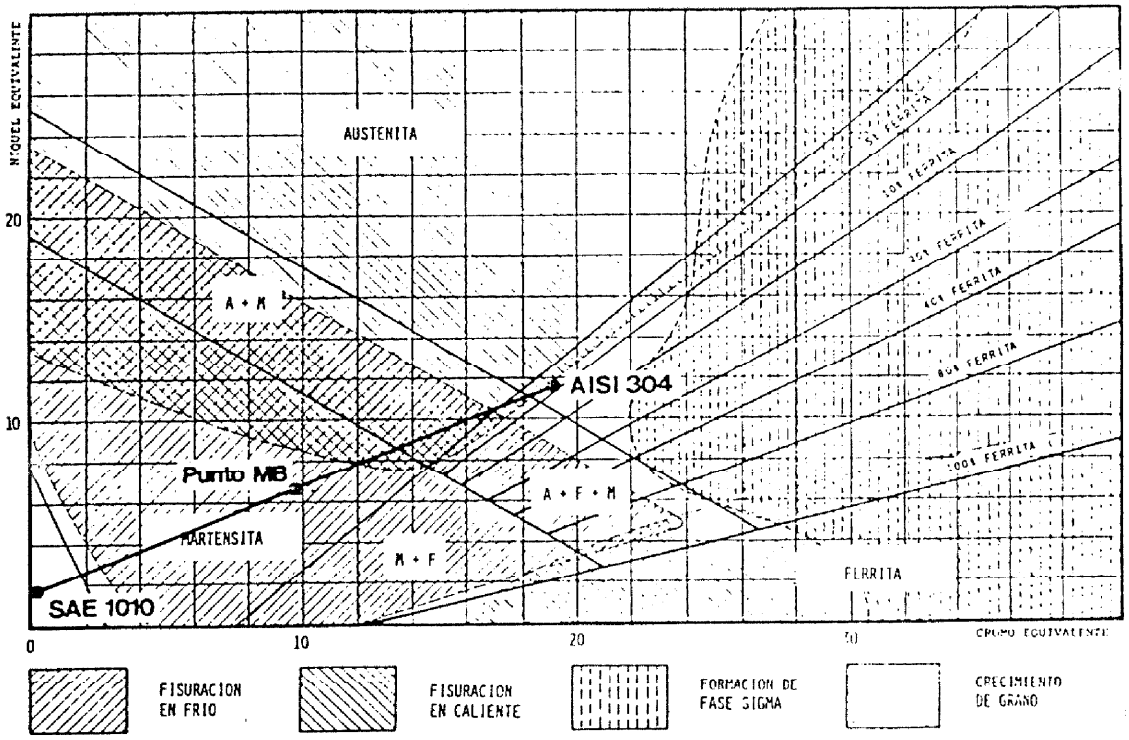


Fig. 3 - *Determinación del punto MB a considerar para la elección del metal de aporte en una unión entre aceros SAE 1010 y AISI 304.*

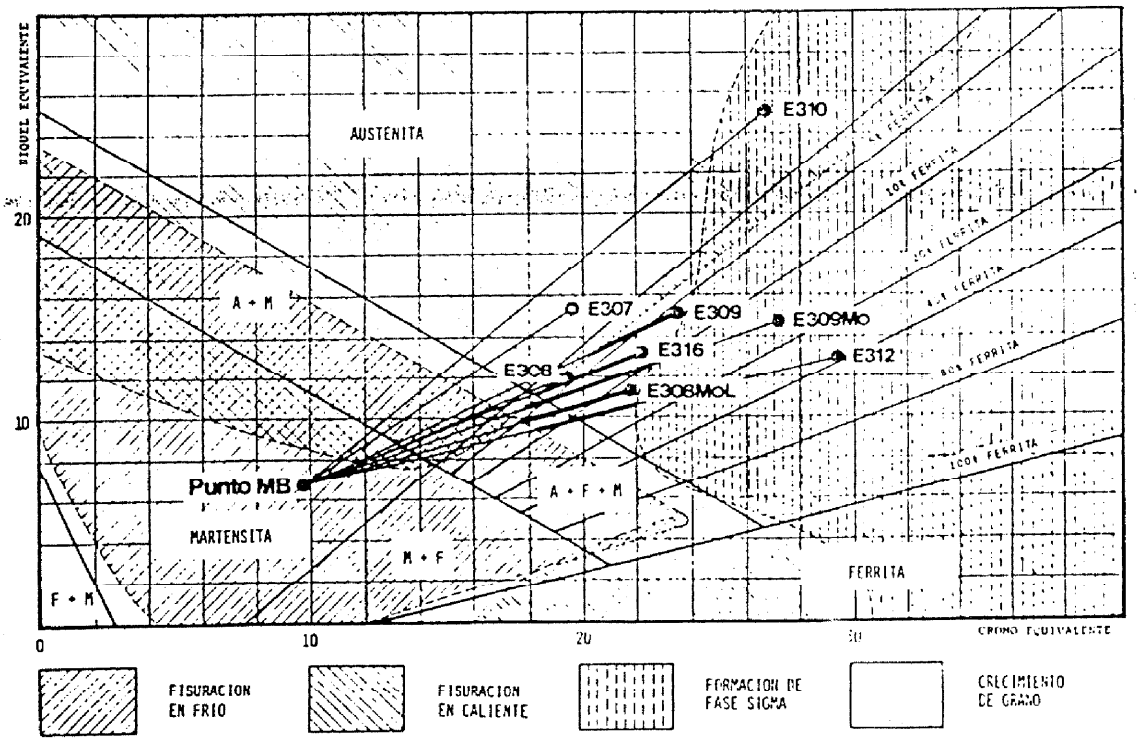


Fig. 4 - *Determinación de los consumibles aptos para una unión entre aceros SAE 1010 y AISI 304.*

Si se tratase de uniones entre aceros de espesores considerables que involucren soldadura en más de una pasada, se debe considerar que sucede en las adyacencias de cada uno de ellos y en particular sobre el acero SAE 1010. El electrodo E316 en ese caso, con valores de diluciones mayores de 15% ya se desplaza de la zona libre de defectos, por lo que no es recomendable su empleo. Con respecto a los dos electrodos restantes, el E308MoL está más próximo a la zona de riesgos de fisuración en frío, a la cual ingresa con diluciones superiores a 18% , en tanto el E309 lo hace recién a partir de 31%.

En consideración a lo expuesto, se ha generealizado para soldaduras entre aceros SAE 1010 y AISI 304 el empleo de electrodo AWS E309.

Ejemplo de soldadura de acero ASTM A204 con AISI 310

En el diagrama de la figura 5 se muestra en una foma más simple, adoptando una dilución normal del 30%, que para estos aceros el electrodo más adecuado es el AWS E309Mo.

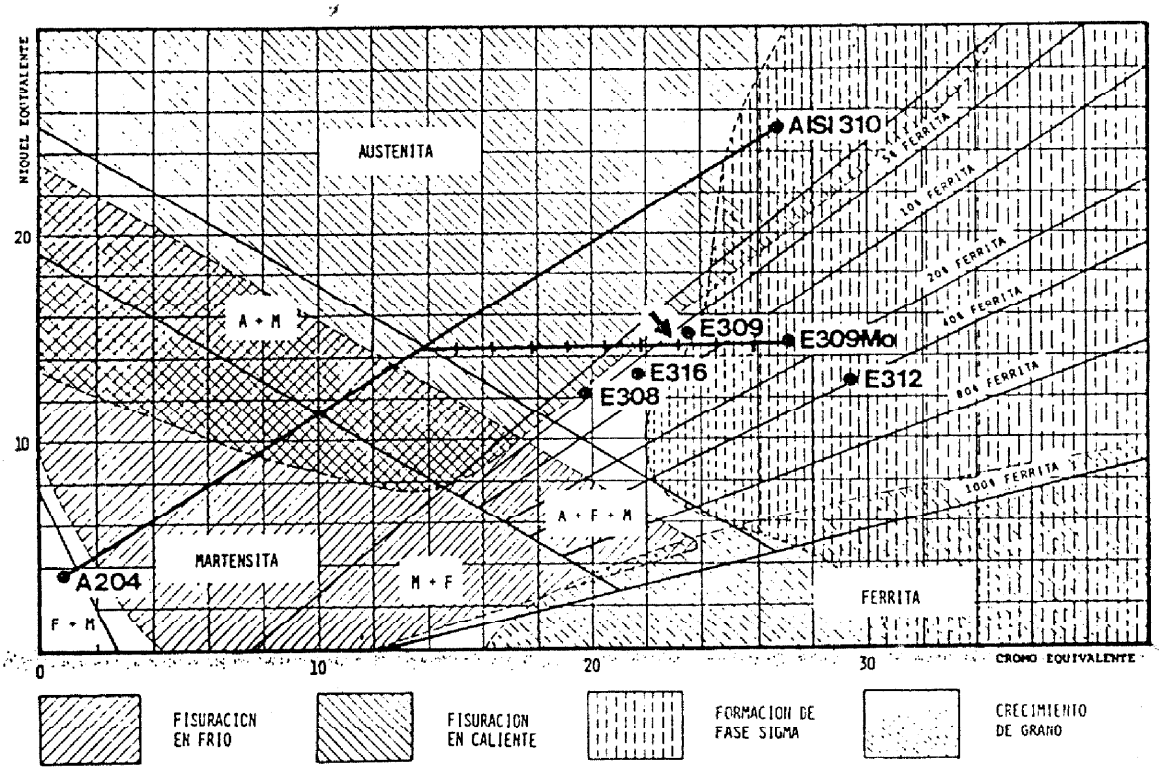


Fig. 5 - *Determinación del consumible más adecuado para la unión entre aceros ASTM A 204 y AISI 310.*

Electrodo AWS E309

Su composición química está indicada en la tabla I.

Deposita sobre acero al carbono en primera pasada y con diluciones normales, un metal de soldadura de composición similar al acero inoxidable AISI 304.

Su estructura austeno-ferrítica lo hace insensible a la fisuración en caliente y su composición química y ubicación dentro del diagrama de Schaeffler le permiten soldar una gran variedad de aceros con alta dilución sin riesgos de obtener estructuras desfavorables en el metal de soldadura.

Su bajo porcentaje de ferrita disminuye los riesgos de fragilización por fase sigma a altas temperaturas cuando se lo emplea en uniones de aceros inoxidables refractarios.

El metal de aporte puro brinda un excelente equilibrio entre resistencia y ductilidad, lo que lo hace indicado para la gran mayoría de las soldaduras de unión entre aceros disímiles y en particular en uniones entre aceros al carbono y aceros inoxidables de las series AISI 2XX, 3XX, 4XX y 5XX.

Es indicado también para soldaduras de recubrimiento (Cladding) sobre aceros al carbono o de baja aleación en una sola pasada, cundo se requiera en la superficie una composición química similar al acero inoxidable AISI 304.

Electrodo AWS E312

Su composición química está indicada en la tabla I.

El metal que deposita se caracteriza por su insensibilidad a la dilución por lo que mantiene su estructura austeno-ferrítica aún en casos de participación excesiva de los metales base en el metal de soldadura.

Su elevado tenor de ferrita, superior al 40%, lo hace absolutamente insensible a los riesgos de fisuración en caliente. La ferrita presente actúa también manteniendo en solución sólida a las impurezas provenientes del metal base, impidiendo de tal modo la formación de películas líquidas en los bordes de granos austeníticos, lo que le permite lograr uniones sanas en materiales con alto porcentaje de elementos nocivos, tales como el azufre.

Es adecuado para soldaduras de unión entre aceros disímiles y en particular entre aceros al carbono y aceros inoxidables.

Permite obtener soldaduras sanas en uniones que involucren aceros inoxidables austeníticos al selenio tipo AISI 302Se, al silicio tipo AISI 314 y al azufre tipo AISI 309S. En esos casos no es prudente reemplazarlo por el electrodo AWS E309.

Es adecuado para uniones entre aceros inoxidables y aleaciones de alto contenido de níquel.

Debe emplearse con precaución en las uniones de aceros inoxidables refractarios totalmente austeníticos y de la serie 5XX, por la probabilidad de formación de fase sigma en servicio a temperaturas elevadas.

ELECTRODOS INOXIDABLES AUSTENITICOS
- Parte II -

2. SOLDADURA DE ACEROS DE MALA SOLDABILIDAD EN TRABAJOS DE REPARACION

El empleo de electrodos inoxidables austeníticos en trabajos de reparación sobre aceros difíciles de soldar es una práctica muy difundida en talleres de mantenimiento.

En la mayoría de los casos los fabricantes de electrodos para soldadura de aceros de alta templabilidad, ocultan la composición química del metal de aporte puro. No obstante ello, puede considerarse casi con certeza, que se trata de consumibles basados en aceros inoxidables austeníticos.

PROPIEDADES DE LOS ELECTRODOS AUSTENITICOS PARA ACEROS DE MALA SOLDABILIDAD

Resulta conveniente reconsiderar las propiedades ya mencionadas en aplicaciones sobre aceros disímiles, dirigidas ahora a soldaduras sobre aceros de mala soldabilidad.

Ellas son:

* Insensibilidad a la dilución.
* Efectos sobre el hidrógeno difusible.

Efectos sobre la dilución

La dilución del metal de aporte austenítico con el metal base ferrítico disminuirá el total de elementos de aleación del metal depositado. En función de ello la estructura del metal de soldadura podrá ser martensítica, austenítica o mixta. De acuerdo con el grado de dilución entonces, es probable que surjan inconvenientes de fisuración por hidrógeno o de fisuración de solidificación.

Para aplicaciones sobre aceros de bajo carbono, el riesgo de fisuras en caliente o de solidificación no es importante en razón de que siempre se posible retener ferrita en el metal depositado, pero sobre aceros de alto carbono se debe prever la posibilidad de que se presente tanto uno como otro defecto si se adopta un consumible inadecuado, tal como se grafica en la figura 6.

Efectos sobre el hidrógeno difusible

En soldaduras de reparación el principal problema es la fisuración por hidrógeno en la zona afectada termicamente. Otros problemas como las fisuras de licuación o la pérdida de ductilidad pueden ser considerables,

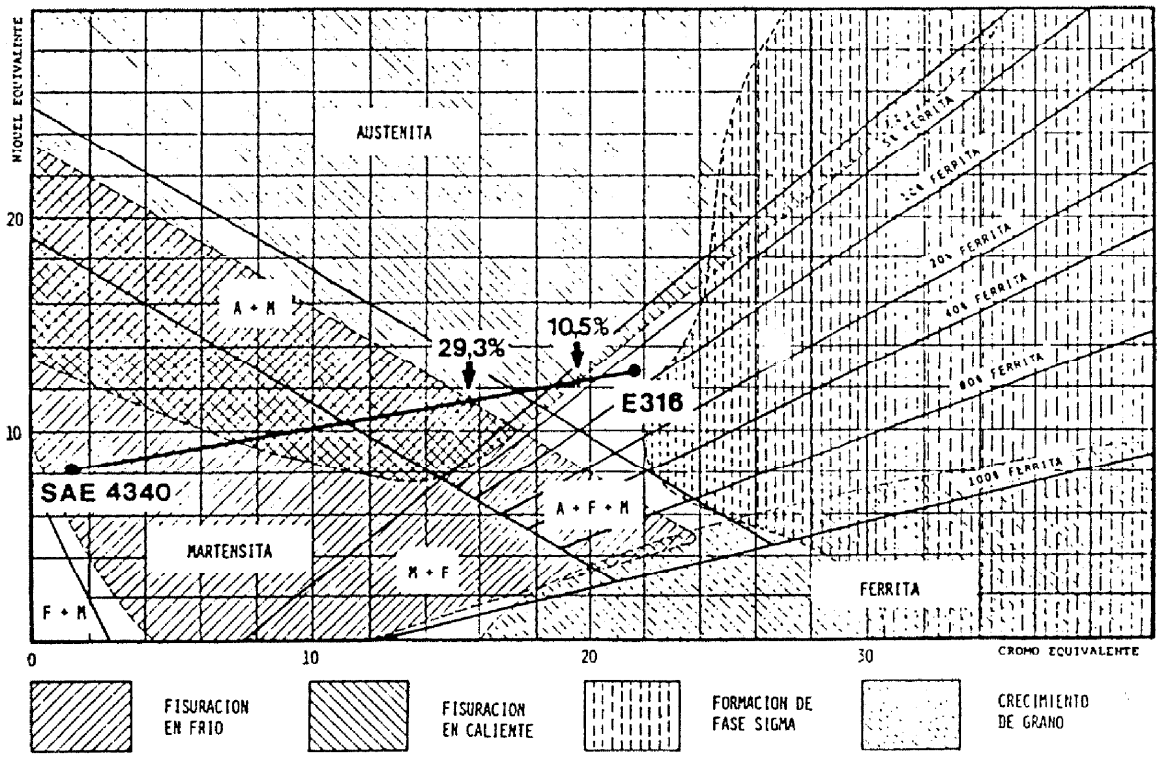


Fig. 6 - *Soldadura de acero SAE 4340 con electrodo E316.*

Los porcentajes señalados indican las diluciones requeridas para ingresar en cada zona del diagrama. Si se consideran diluciones del orden del 30%, compatibles con el proceso de soldadura con electrodo revestido, es de prever que puedan presentarse tanto fisuración en frío como en caliente.

no obstante el hidrógeno constituye la más importante causa de fracasos.

Cuatro son los factores que intervienen para que este defecto se manifieste:

- Formación de estructura frágil en la zona afectada termicamente o en el metal de soldadura.
- Susceptibilidad de dicha estructura al efecto del hidrógeno.
- Cantidad de hidrógeno presente al alcanzar el rango de temperatura sensible a la fisuración.
- Grado de restricción de movimiento impuesto a la junta o grado de embridamiento.

Por el fenómeno de solubilidad del hidrógeno en la austenita, ya analizado con anterioridad en este artículo, las ventajas que se obtienen con el empleo de electrodos austeníticos inciden en el tercer factor, sobre la cantidad de hidrógeno difusible, y son esencialmente dos:

- Menores riesgos por presencia de humedad en el electrodo.
- Posibilidad de evitar el precalentamiento o hacerlo a temperaturas menores.

ANALISIS DE LAS VENTAJAS SOBRE EL HIDROGENO DIFUSIBLE

Secado del electrodo

Con muy bajas temperaturas de secado tales como 100-150°C, suficientes para impedir la porosidad, el metal depositado por los electrodos austeníticos puede dar niveles de hidrógeno difusible tan bajos o aún más, que aquél depositado por electrodos básicos ferríticos de bajo hidrógeno que se hayan secado a elevadas temperaturas del orden de los 450°C. La tabla II pone en evidencia lo mencionado.

Bajo determinadas condiciones resulta difícil asegurar el adecuado secado de los electrodos básicos ferríticos y consecuentemente la ausencia de humedad en el revestimiento. En estos casos, el empleo de consumibles austeníticos se transforma en la única solución practicable.

Resulta interesante destacar que la clara diferencia existente en los electrodos ferríticos en función de su revestimiento rutílico o básico, con respecto a los niveles de hidrógeno

Electrodo	Revestimiento	Condiciones de resecado Temperatura	Tiempo	Contenido de hidrógeno ml/100 g de metal depositado Difusible*	Residual	Total
E7018	Básico	150°C	2 h	12	0,5	12,5
		450°C	1 h	3,5	0,5	4
E309	Básico	sin resecar		no determ.	no determ.	17,5
		130°C	1 h	no determ.	no determ.	16
		350°C	1 h	0	10	10
		450°C	1 h	0	5	5
E312	Rutílico	sin resecar		no determ.	no determ.	17
		130°C	1 h	no determ.	no determ.	13
		350°C	1 h	0	12	12
		450°C	1 h	0	11	11

TABLA II: Niveles de hidrógeno en el metal de soldadura de electrodos ferríticos y austeníticos, según el proceso de resecado.

* El hidrógeno difusible es quién provoca fisuración en frío.

en el metal de soldadura, no se cumple exactamente en el caso de electrodos austeníticos y es posible entonces emplear con éxito tanto electrodos de revestimientos básicos como rutílicos.

Temperatura de precalentamiento

En los casos en que el precalentamiento requerido no es factible de realizar, por ejemplo por la vecindad de elementos plásticos que no puedan retirarse y que deben mantenerse fríos durante la soldadura, resultan sumamente adecuados los consumibles austeníticos.

Si es posible calentar la junta al comienzo y durante la soldadura a una temperatura de aproximadamente 250°C y mantenerla durante un tiempo prudencial luego de concluída la operación, se permite la difusión lenta del hidrógeno desde el metal de soldadura y las posibilidades de fisuración se tornan despreciables.

En este caso resulta discutible si deben emplearse siempre consumibles austeníticos en reemplazo de los consumibles ferríticos de revestimiento básico, cuando hayan sido estos últimos correctamente resecados para dar un hidrógeno potencial sustancialmente bajo.

Sin embargo, hay casos en los cuales aún respetando la temperatura de 250°C resulta beneficioso el empleo de aportes austeníticos. Cuando se consideren aceros aleados de alto carbono los riesgos de fisuración por hidrógeno son importantes y no es prudente emplear consumibles ferríticos. Asimismo, algunos aceros altamente aleados no sufren transformación de fase hasta temperaturas muy por debajo de 250°C e impedir la fisuración cuando se los suelda con consumibles de composición similar resulta sumamente difícil.

Por otra parte, en la práctica en trabajos de reparación se torna dificultoso garantizar el control de las temperaturas de precalentamiento e interpasadas, principalmente si son superiores a los 100°C y atentan contra el confort del soldador.

Por todo lo mencionado, la necesidad del empleo de aportes austeníticos esta intimamente relacionado con las condiciones de precalentamiento requeridas en el procedimiento y su factibilidad.

DISCRIMINACION DEL EMPLEO DE CONSUMIBLES AUSTENITICOS

Los electrodos inoxidables austeníticos tienen como característica común su elevado precio. Es por ello que se limita su empleo a los casos en que no puedan sustituirse con éxito por electrodos ferríticos.

Para discriminar cuando deban emplearse en trabajos de reparación, resulta útil partir de la composición química de los materiales a soldar. Esto en consideración a que la sensibilidad a la fisuración por hidrógeno en la zona afectada termicamente depende fundamentalmente de la microestructura generada por el ciclo térmico impuesto por la soldadura.

Puede simplificarse este análisis dividiendo los aceros en cuatro tipos. La división se basa en el

contenido de carbono y de elementos de aleación y solo puede emplearse a título de referencia. Debe en todos los casos analizarse la aplicación en particular.

Aceros de bajo carbono o microaleados

Con estos materiales el riesgo de fisuración por hidrógeno puede perfectamente controlarse usando electrodos ferríticos, con la precaución de resecarlos correctamente y respetar las temperaturas de precalentamiento requeridas.

Solamente es conveniente emplear consumibles austeníticos cuando sobre grandes espesores es imposible precalentar o cuando la velocidad de enfriamiento en el metal de soldadura resulta elevada por las características del procedimiento.

Un ejemplo de material perteneciente a este grupo es el acero SAE 1020.

Aceros aleados de bajo carbono

Con aceros aleados que contienen 0,20% de carbono o menos, la fisuración por hidrógeno se evita manteniendo caliente la junta, permitiendo su difusión lenta desde el metal de soldadura. En esas condiciones pueden emplearse consumibles ferríticos de composición similar con éxito. En los casos en que resulta imposible precalentar o realizar el tratamiento de alivio de tensiones posterior especificado para el material, resulta preferible emplear consumibles austeníticos.

En aceros de muy alta aleación tales como el AISI 414, la temperatura requerida para asegurar la transformación total en estructura martensítica puede ser notablemente baja, del orden de los 100°C. Si se emplean consumibles de composición similar, la fisuración en el metal de soldadura sobreviene aún con muy bajos contenidos de hidrógeno, por lo que es recomendable emplear consumibles austeníticos siempre que cumplan con las propiedades mecánicas requeridas por la unión.

Aceros de alto carbono no aleados

Nuevamente el riesgo de fisuración puede reducirse con un correcto control de la temperatura de precalentamiento e interpasadas, del orden de los 250°C, y bajo esas condiciones pueden emplearse consumibles ferríticos de revestimiento básico sin inconvenientes.

El metal de soldadura incrementa ahora el contenido de carbono por dilución con el material base y el efecto del hidrógeno se torna más considerable por lo que resulta imprescindible el correcto resecado de los electrodos.

Si no es posible precalentar, los consumibles austeníticos reducen el riesgo de fisuración. No obstante, en los límites de la zona de fusión se genera martensita de alto carbono y se incrementa la posibilidad de fisuración, por lo que debe prestarse especial atención a minimizar los niveles de hidrógeno en el metal de soldadura, principalmente cuando se sueldan aceros de más de 0,30% de carbono.

A este grupo pertenece el acero ASTM A516 grado 70.

Aceros de alto carbono aleados

Sobre estos aceros si bien es factible, contemplando un estricto control de la temperatura de precalentamiento, no es recomendable emplear consumibles ferríticos.

Resulta sumamente difícil impedir la fisuración por hidrógeno y consecuentemente es por excelencia el caso en que los consumibles austeníticos se presentan como insustituibles.

Aún empleando consumibles austeníticos resulta conveniente aplicar temperaturas de precalentamiento e interpasadas del orden de los 150°C cuando se suelden grandes espesores o elementos muy embridados y cuando se tengan dudas sobre el nivel de hidrógeno total en el metal de soldadura, para evitar fisuración en los límites de fusión.

Un ejemplo de estos aceros es el SAE 4340.

ELECTRODOS AUSTENITICOS PARA ACEROS DE MALA SOLDABILIDAD

Con el transcurrir del tiempo se hicieron populares distintos electrodos para las reparaciones en aceros de mala soldabilidad, la mayoría de los cuales fueron más tarde sustituídos sucesivamente por nuevos tipos que en su momento ofrecieron mejores resultados. Es por ello que es común encontrar en especificaciones de planos antiguos, la sugerencia de empleo de electrodos que en la actualidad han sido absolutamente desestimados para tales fines.

Electrodos no recomendables

AWS E308: Si bien el metal de aporte puro es de excelente resistencia y ductilidad, con muy

bajas diluciones, compatibles con los procesos de soldadura convencionales, presenta sobre aceros al carbono y de baja aleación una estructura mixta austeno-martensítica de gran fragilidad. No deben emplearse sobre aceros de mala soldabilidad.

AWS E310: Tiene una gran tolerancia a la dilución sin formación de estructura martensítica, pero el metal de aporte puro es muy sensible a la fisuración en caliente por lo que solo se lo recomienda para aceros de mala soldabilidad cuando se trata de soldaduras en una sola pasada o de cordones adyacentes (enmantecado) para luego continuar con otro tipo de electrodo. Dejó de emplearse para esos fines cuando se desarrollaron los electrodos E309 y E312.

AWS E316: Los resultados de su empleo son satisfactorios siempre que se respeten las diluciones normales, del orden de 30%. Excesos en la corriente de soldadura que aumenten el grado de dilución, provocan una rápida pérdida de ductilidad. Por ello, en consideración a que en los trabajos de reparación no son fácilmente controlables las condiciones de soldadura, no es conveniente el empleo de este electrodo.

Electrodo AWS E307

Se lo ubica solo en forma aproximada dentro del diagrama de Schaeffler por exceder su tenor de manganeso el valor de 2,5% establecido como límite de validez de la expresión del níquel equivalente. Resulta evidente que en el caso de soldadura de aceros al carbono de alta aleación, el metal de soldadura, independientemente del grado de dilución, nunca puede ubicarse dentro de la zona libre de defectos. Sin embargo pude emplearse con éxito siempre que se obtengan metales de soldadura fuera de la zona martensítica, pues en virtud a su elevado tenor de manganeso es insensible a las fisuras de solidificación. La fisuración en caliente en estructuras austeníticas es atribuible a la presencia de películas líquidas de bajo punto de fusión en bordes de

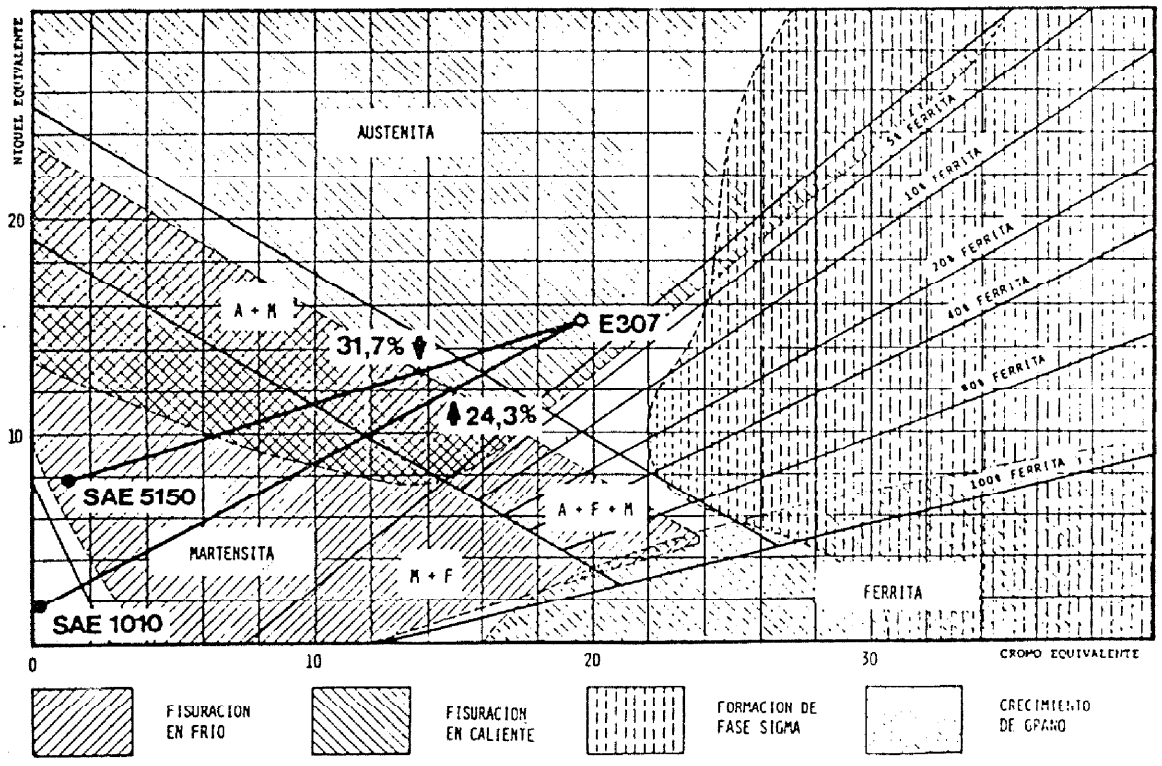


Fig. 7 - *Electrodo E307 en soldaduras sobre aceros al carbono y de baja aleación.*

Los porcentajes señalados indican las diluciones requeridas para ingresar en la zona de riesgos de fisuración en frío. En tanto que sobre el acero SAE 5150 la dilución admisible es compatible con el proceso con electrodo revestido, sobre el acero SAE 1010 el metal de soldadura siempre estará dentro de la zona defectuosa.

grano provocada por impurezas de las cuales un ejemplo es el azufre. Altos contenidos de manganeso permiten obtener un metal de soldadura libre de impurezas, tal como ocurre con el electrodo E307, con 5% de dicho elemento.

Tres son las aplicaciones típicas de este electrodo:

- Uniones en aceros de alto manganeso (12-14%) del tipo Hadfield.
- Uniones en aceros de coraza o blindaje.
- Rellenos como capa cojín sobre aceros de pobre soldabilidad, para posterior aplicación de materiales resistentes al desgaste.

La figura 7 pone en evidencia la razón por la cual no se lo recomienda para soldadura de aceros disímiles. Obsérvese como disminuye notablemente la dilución admisible cuando se lo emplea sobre aceros de bajo carbono tipo SAE 1010.

Electrodo AWS E309

Su composición química y su ubicación dentro del diagrama de Schaeffler le permiten soldar una gran variedad de aceros de pobre soldabilidad sin riesgos de obtener estructuras frágiles en el metal de soldadura. Es por ello adecuado para reparaciones sobre aceros de mala soldabilidad, siendo recomendable en particular su empleo sobre aceros de alto carbono no aleados o aceros aleados de bajo carbono. Las propiedades de este electrodo ya fueron descriptas en la parte I y su opción frente al E312 se analiza al final del artículo.

Electrodo AWS E312

Si bien fue desarrollado para soldaduras sobre aceros fundidos de composición similar, su composición química y la consecuente capacidad de conservar su estructura mixta austeno-ferrítica aún con grados de dilución muy elevados, lo convierten en el electrodo por excelencia para emplear sobre aceros de mala soldabilidad.

Es por ello indicado para soldaduras de máxima responsabilidad sobre aceros aleados de alto carbono de gran templabilidad.

Las propiedades de este electrodo ya fueron descriptas en el parte I.

ELECTRODOS INOXIDABLES AUSTENITICOS
- Parte III -

AWS E309 vs AWS E312

No se pone en duda el éxito de estos electrodos en múltiples aplicaciones sobre aceros disímiles o de mala soldabilidad, sin embargo no puede afirmarse que estén exentos de problemas.

Hay poco material bibliográfico que defina las condiciones precisas bajo las cuales pueden ser empleados con total éxito y es por ello que en función de sus propias experiencias los responsables de la elección optan por uno u otro electrodo.

Lo que continúa pretende, cierto que bajo el punto de vista subjetivo del autor, brindar algunos elementos de referencia para definir la elección entre el AWS E309 y el AWS E312.

Resistencia vs Ductilidad

Si bien es cierto que a los fines de proyecto se consideran únicamente la resistencia a la tracción y la tensión al límite de fluencia del metal de aporte puro, resulta de suma importancia considerar también su ductilidad que será la que permita a las uniones soldadas absorber deformaciones sin riesgos de colapso.

La tabla III indica las propiedades mecánicas requeridas para los electrodos considerados, extraídas de la norma AWS A5.4–78.

Designación	Resistencia a la tracción mínima (Kg/mm^2)	Alargamiento (%)
E309	56	30
E312	67	22

TABLA III: Propiedades mecánicas del metal de aporte puro de los electrodos E309 y E312, según norma AWS A5.4–78.

Los valores mecánicos establecidos por la norma AWS corresponden al metal de aporte puro y se modificarán sustancialmente en las

aplicaciones por dilución con los aceros base. Cuando se trate de aceros de mala soldabilidad debido al contenido de aleación o alto carbono, los efectos de la dilución se traducirán en un aumento de la resistencia a la tracción y una disminución del alargamiento específico.

Siempre es recomendable adoptar un consumible que brinde en el metal de soldadura una resistencia apenas algo superior a la del acero a soldar logrando de ese modo la máxima ductilidad, pues sabido es que a mayores resistencias corresponden menores alargamientos.

Si se comparan las propiedades mecánicas mínimas de los metales de aporte puros citados en la tabla III, se comprueba que el electrodo AWS E309 tiene menor resistencia a la tracción que el electrodo AWS E312, pero un alargamiento sustancialmente superior. Es por consiguiente el más adecuado para soldaduras entre aceros disímiles de bajo y mediano carbono e inoxidables y en general para aceros de pobre soldabilidad que no excedan de 55 Kg/mm² de resistencia a la tracción.

Sensibilidad a la dilución

Sabido es que en trabajos de reparación no siempre es factible establecer procedimientos de soldadura precisos y más aún realizar un control estricto de la operación en sí, por lo que es probable que se excedan los valores normales de dilución; cosa que sucede por ejemplo cuando se pretende realizar la reparación en el menor tiempo posible empleando para ello corrientes de soldadura elevadas.

La tabla IV pone en evidencia las notables variaciones en la dilución como consecuencia de las corrientes y las velocidades de avance adoptadas.

Velocidad de avance constante = 250 mm/min	
Corriente (A)	Dilución (%)
130	30
140	37
155	45

Corriente constante = 160 A	
Velocidad de avance (mm/min)	Dilución (%)
220	35
250	41
300	44

TABLA IV: Modificación del grado de dilución en función de la corriente de soldadura y de la velocidad de avance.

El diagrama de la figura 8 muestra la dilución admisible sin riesgos de fisuración en frío, que se obtiene sobre acero SAE 4340 con los electrodos que se están comparando.

Se pone en evidencia en este caso la superioridad del electrodo E312.

Fragilización del metal de soldadura

El metal depositado por los electrodos E309 y E312 es sensible a la fragilización por fase sigma, cuya formación ocurre cuando se lo expone durante un determinado tiempo a temperaturas dentro del entorno de 550-850°C y se inicia preferentemente en la fase ferrítica.

El metal depositado es también sensible a la fragilización de los 475°C.

En la gran mayoría de las soldaduras de unión o reparación, la temperatura permanece elevada solo por lapsos breves y la pérdida de ductilidad por las causas citadas precedentemente es despreciable.

Hay excepciones; si las temperaturas de precalentamiento e interpasadas son altas o si se requiere tratamiento térmico posterior a la soldadura, la pérdida de ductilidad puede llegar a ser considerable y provocar fisuración en la unión. El riesgo se incrementa con el porcentaje de ferrita presente en el metal de soldadura.

En reparaciones prolongadas, como en el caso de elementos de gran tamaño, la unión permanece a temperaturas considerables por largo tiempo, a veces durante días, y es sumamente importante realizar un control estricto de las temperaturas de interpasadas. Dichas temperaturas no deben exceder de 300°C y más aún, de 270°C en el caso del empleo de electrodo E312.

No debe efectuarse tratamiento térmico posterior a la soldadura cuando haya metal de apor-

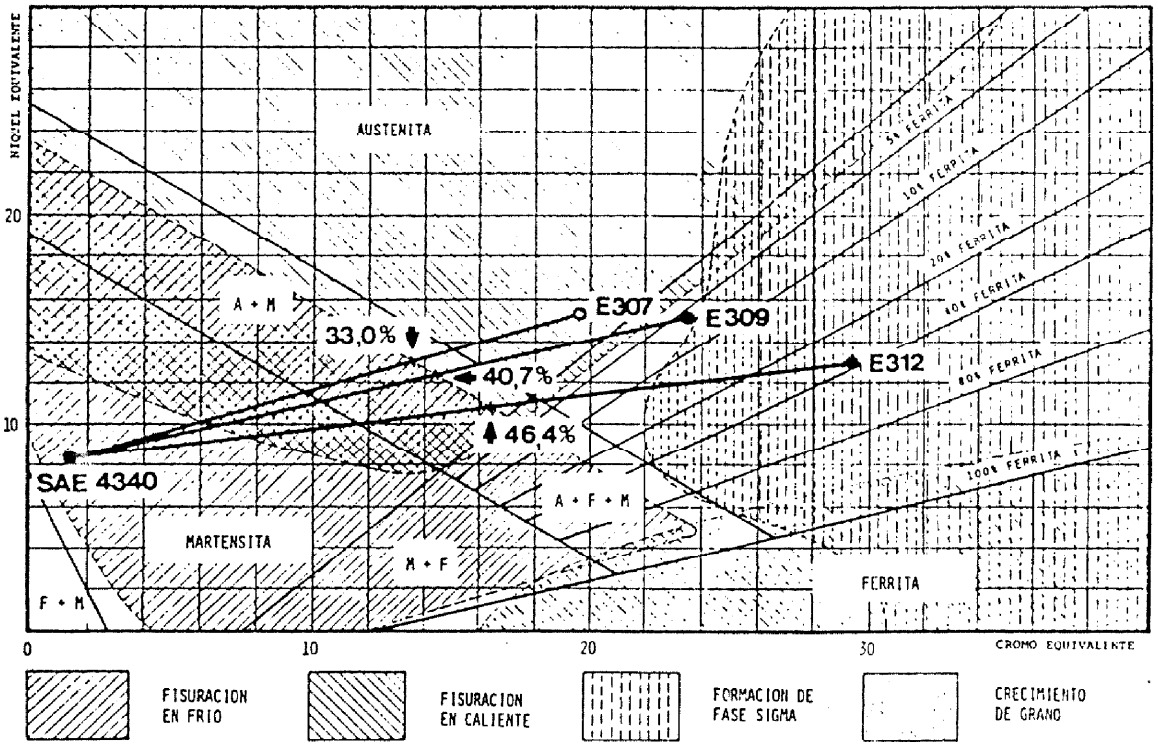


Fig. 8 - *Soldadura de acero SAE 4340 con electrodos E309 y E312.*

Los porcentajes señalados indican las diluciones requeridas para ingresar en la zona de riesgos de fisuración en frío. Se ha representado el electrodo E307 para poner en evidencia su inferioridad respecto de los electrodos considerados.

te sin diluir en las soldaduras efectuadas con estos electrodos y en particular con el E312. Si dicho tratamiento fuese obligatorio, se deben emplear otros consumibles, porque el riesgo de formación de fase sigma existe aún para períodos de muy pocas horas a 620° C. En esos casos es preferible "enmantecar" o plaquear con E309 y completar la unión con E308, con lo que se minimizan los riesgos.

Como conclusión, en estos casos a mayores porcentajes de ferrita en el metal de soldadura mayores posibilidades de pérdida de ductilidad, por ello, bajo estas consideraciones resulta superior el E309 con aproximadamente 6% de ferrita respecto al E312 con 40%.

Fisuración por azufre

En trabajos de reparación, particularmente sobre elementos de maquinarias antiguas, es común encontrar aceros con alto contenido de azufre y fósforo.

El efecto principal de estos elementos es provocar fisuras de solidificación en el metal de soldadura, riesgo que se incrementa con la dilución.

Los consumibles austeníticos que se consideran retienen un porcentaje razonable de ferrita en el metal depositado y la ferrita retiene en solución a los agentes contaminantes e impide las fisuras de solidificación. A mayor porcentaje de ferrita mayor será el efecto benéfico, por ello es que se opta por el electrodo E312 sobre aceros de alto azufre y fósforo.

CONCLUSIONES

El empleo de electrodos inoxidables austeníticos en soldaduras de aceros disímiles fundamenta su éxito en dos propiedades típicas: la tolerancia a la dilución y los efectos sobre el hidrógeno difusible. No obstante, una inadecuada elección puede provocar serios fracasos. Se recurre al diagrama de Schaeffler, que se convierte así en una ayuda valiosa, para determinar la probable estructura del metal de sol-

dadura y los consiguientes riesgos de presencia de defectos.

Con respecto a soldaduras de aceros de mala soldabilidad, la gran virtud de los consumibles austeníticos es reducir apreciablemente los riesgos de fisuración por hidrógeno en la zona afectada termicamente. Su utilidad depende de la composición del metal base y de la facilidad de efectuar el precalentamiento y controlar la temperatura durante el proceso de soldadura. Son fundamentalmente adecuados si el metal base es de gran templabilidad o si el precalentamiento no es factible.

La comparación entre electrodos E309 y E312 pone en evidencia la superioridad del primero para aceros que no excedan de 55 Kg/mm² de resistencia a la tracción y para aplicaciones donde haya posibilidad de fragilización por fase sigma, y su inferioridad en procesos de alta dilución sobre aceros de mala soldabilidad y sobre aceros contaminados con impurezas tales como el azufre.

Los electrodos con base de níquel tipo E NiCrFe–2 y ENiCrFe–3, que cubren una serie importante de aplicaciones de soldaduras entre aceros disímiles y de mala soldabilidad, no se mencionan en este artículo por sus características de super aleaciones que escapan a la calificación de electrodos inoxidables austeníticos.

REFERENCIAS

1) BYSTRAM, M.C.T.: Some Guidance on Welding Dissimilar Alloy Steels. B.W.J., Oct. 1958 475-480.

2) GOOCH, T.G.: Repair Welding with Austenitic Stainless Steel MMA electrodes. Metal Construction Nov. 1980 622-631.

3) TROTTI, J.L.: Soldadura de los Aceros Inoxidables Austeníticos. Metales de Soldadura Inoxidables Austeno-ferríticos. La Ferrita Delta y la Fisuración en Caliente. Boletín Técnico Conarco Jun, Jul y Agos. 1978.

4) HULL, F.C.: Effect of Delta Ferrite on the Hot Cracking of Stainless Steel. Welding Research Supplement, Sept. 1967 399s-409s.

5) CASTRO R. and de CADENET J.J.: Welding Metallurgy of Stainless and Heat Resisting Steels. Cambridge University Press, 1974.

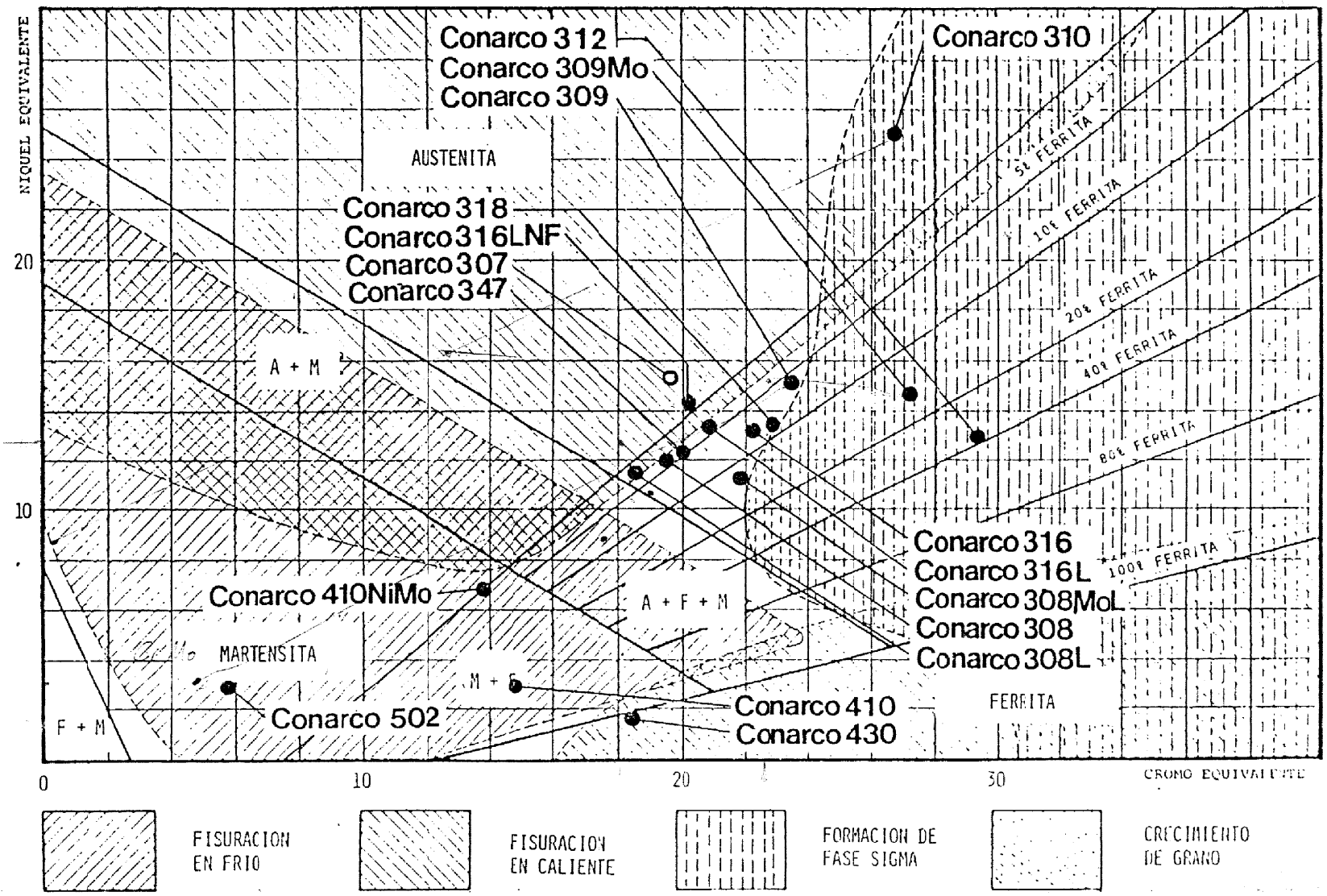
6) GOOCH, T.G.: BWRA Confidential Re., M/32/68.

7) BAR R.: Metallurgie du Soudage des Aciers Inoxydables Connaissance des Acier Inoxydables. Institut Belge de la Soudure, 1980.

8) PECKNER D. and BERNSTEIN I.M.: Handbook of Stainless Steels. Mc. Graw-Hill Company, 1977.

9) A.W.S.: Norma A5.4-78.

UBICACION EN EL DIAGRAMA DE SCHAEFFLER DE LOS ELECTRODOS INOXIDABLES CONARCO



Clasificación ASTM, propiedades mecánicas y composición química de aceros al carbono y de baja aleación

Aceros al carbono

TABLA 1

Requisitos de composición y resistencia de algunos aceros al carbono según ASTM

Usos	Norma ASTM	Tipo o grado	Límites de composición [a] % C	Mn	Si	Resistencia a la tracción ksi	Tensión de fluencia mínima ksi
Aceros estructurales							
Construcciones soldadas, puentes y estructuras en general	A36		0,29	0,80-1,20	0,15-0,40	58-80	36
Construcciones soldadas y usos generales	A529		0,27	1,20	—	60-85	42
Usos generales, chapa y fleje	A570	30, 33, 36, 40, 45, 50	0,25 0,25	0,90 1,35	— —	49-55 60-65	30 45
Chapa para uso general (tenacidad mejorada)	A573	58 65 70	0,23 0,26 0,28	0,60-0,90 0,85-1,20 0,85-1,20	0,10-0,35 0,15-0,40 0,15-0,40	58-71 65-77 70-90	32 35 42
Aceros para recipientes de presión							
Chapa de resistencia a la tracción baja y media	A285	A B C	0,17 0,22 0,28	0,90 0,90 0,90	— — —	45-65 50-70 55-75	24 27 30
Chapa al manganeso silicio	A299		0,30	0,90-1,40	0,15-0,40	75-95	40
Chapa para usos a baja temperatura	A442	55 60	0,24 0,27	0,60-0,90 0,60-0,90	0,15-0,40 0,15-0,40	55-75 60-80	30 32
Chapa para servicio a media y alta temperatura	A515	55 60 65 70	0,28 0,31 0,33 0,35	0,90 0,90 0,90 1,20	0,15-0,40 0,15-0,40 0,15-0,40 0,15-0,40	55-75 60-80 65-85 70-90	30 32 35 38
Chapa para servicio a temperatura moderada y baja	A516	55 60 65 70	0,26 0,27 0,29 0,31	0,60-1,20 0,85-1,20 0,85-1,20 0,85-1,20	0,15-0,40 0,15-0,40 0,15-0,40 0,15-0,40	55-75 60-80 65-85 70-90	30 32 35 38
Chapa al carbono-manganeso-silicio tratada térmicamente	A537	1 [b] 2 [c]	0,24	0,70-1,60	0,15-0,50	65-90 75-100	45 55
Tuberías y cañerías							
Caños soldados y sin costuras, negros y galvanizados	A53	A B	0,25 0,30	0,95-1,20 0,95-1,20	— — — —	48 mín 60 mín	30 35

(Continúa)

Tabla 1 (Continuación)

Requisitos de composición y resistencia de algunos aceros al carbono según ASTM							
Usos	Norma ASTM	Tipo o grado	Límites de composición [a] %			Resistencia a la tracción	Tensión de fluencia mínima
			C	Mn	Si	ksi	ksi
Tuberías y cañerías							
Caños sin costura para servicio a alta temperatura	A106	A	0,25	0,27-0,93	0,10 mín	48 mín	30
		B	0,30	0,29-1,06	0,10 mín	60 mín	35
		C	0,35	0,29-1,06	0,10 mín	70 mín	40
Caños estructurales	A501		0,26	—	—	58 mín	36
Aceros fundidos							
Uso general	A27	60-30	0,30	0,60	0,80	60 mín	30
Válvulas y accesorios para servicio a alta temperatura	A216	WCA	0,25	0,70	0,60	60-85	30
		WCB	0,30	1,00	0,60	70-95	36
		WCC	0,25	1,20	0,60	70-95	40
Válvulas y accesorios para servicio a baja temperatura	A352	LCA[c, d]	0,25	0,70	0,60	60-85	35
		LCB[c, d]	0,30	1,00	0,60	65-90	35
		LCC[c, d]	0,25	1,20	0,60	70-95	40

Nota: Para convertir de ksi a MPa multiplique los valores de la tabla por 6,8948.

a) • Los valores únicos son máximos a menos que se indique lo contrario.

b) • Normalizado.

c) • Templado y revenido.

d) • Normalizado y recocido subcrítico.

Aceros de baja aleación

TABLA 2

Aceros estructurales ASTM de baja aleación y alta resistencia								
Especificación ASTM	Tipo o grado	Composición química [a] %						
		C	Mn	P	S	Si	Cr	Ni
A242	1	0,15	1,00	0,15	0,05			
A441		0,22	0,85-1,25	0,04	0,05	0,30		
A572	42[b]	0,21	1,35	0,04	0,05	0,30		
	50[b]	0,23	1,35	0,04	0,05	0,30		
	60[b]	0,26	1,35	0,04	0,05	0,30		
	65[b]	0,26	1,65	0,04	0,05	0,30		
A588	A	0,10-0,19	0,90-1,25	0,04	0,05	0,15-0,30	0,40-0,65	
	B	0,20	0,75-1,25	0,04	0,05	0,15-0,30	0,40-0,70	0,25-0,50
	C	0,15	0,80-1,35	0,04	0,05	0,15-0,30	0,30-0,50	0,25-0,50
	D	0,10-0,20	0,75-1,25	0,04	0,05	0,50-0,90	0,50-0,90	

(Continúa)

Tabla 2 (Continuación)

Aceros estructurales ASTM de baja aleación y alta resistencia								
Especificación ASTM	Tipo o grado	Composición química [a] %						
		C	Mn	P	S	Si	Cr	Ni
	E	0,15	1,20	0,04	0,05	0,15-0,30		0,75-1,25
	F	0,10-0,20	0,50-1,00	0,04	0,05	0,30	0,30	0,40-1,10
	G	0,20	1,20	0,04	0,05	0,25-0,70	0,50-1,00	0,80
	H	0,20	1,25	0,035	0,040	0,25-0,75	0,10-0,25	0,30-0,60
	J	0,20	0,60-1,00	0,04	0,05	0,30-0,50		0,50-0,70
A633	A	0,18	1,00-1,35	0,04	0,05	0,15-0,50		
	C	0,20	1,15-1,50	0,04	0,05	0,15-0,50		
	D	0,20	0,70-1,60	0,04	0,05	0,15-0,50	0,25	0,25
	E	0,22	1,15-1,50	0,04	0,05	0,15-0,50		
A710	A	0,07	0,40-0,70	0,025	0,025	0,35	0,60-0,90	0,70-1,00
	B	0,06	0,40-0,65	0,025	0,025	0,20-0,35		1,20-1,50

Especificación ASTM	Tipo o grado	Composición química [a] %			Resistencia a la tracción mínima ksi	Tensión de fluencia mínima ksi
		Mo	V	Otros		
A242	1			0,20 mín Cu	63-70	42-50
A441				0,20 mín Cu; 0,02 mín V	60-70	40-50
A572	42[b]			0,20 mín Cu	60	42
	50[b]			0,20 mín Cu	65	50
	60[b]			0,20 mín Cu	75	60
	65[b]			0,20 mín Cu	80	65
A588	A		0,02-0,10	0,25-0,40 Cu	63-70	42-50
	B		0,01-0,10	0,20-0,40 Cu		
	C		0,01-0,10	0,20-0,50 Cu		
	D			0,30 Cu 0,05-0,15 Zr; 0,04 Cb		
	E	0,10-0,25	0,05	0,50-0,80 Cu		
	F	0,10-0,20	0,01-0,10	0,30-1,00 Cu		
	G	0,10		0,30-0,50 Cu; 0,07 Ti		
	H	0,15	0,02-0,10	0,20-0,35 Cu; 0,005-0,030 Ti		
	J			0,30 mín Cu; 0,03-0,05 Ti		
A633	A			0,05 Cb	63-83	42
	C			0,01-0,05 Cb	65-90	46-50
	D	0,08		0,35 Cu	65-90	46-50
	E		0,04-0,11	0,01-0,03 N	75-100	55-60
A710	A	0,15-0,25		1,00-1,30 Cu; 0,02 mín Cb	65-90	55-85
	B			1,00-1,30 Cu; 0,02 mín Cb	88-90	75-85

Nota: Ver nota tabla 1.

a) • Los valores únicos son máximos a menos que se indique lo contrario.

b) • Estos grados pueden contener columbio, vanadio o nitrógeno.

TABLA 3

Aceros ASTM de baja aleación y alta resistencia para recipientes de presión

Especificación ASTM	Tipo o grado	Composición química [a] % C	Mn	P	S	Si	Cr	Ni
A202	A	0,17	1,05-1,40	0,035	0,040	0,60-0,90	0,35-0,60	
	B	0,25	1,05-1,40	0,035	0,040	0,60-0,90	0,35-0,60	
A203		0,23	0,80	0,035	0,040	0,15-0,30		2,10-2,50
	B	0,25	0,80	0,035	0,040	0,15-0,30		2,10-2,50
	D	0,20	0,80	0,035	0,040	0,15-0,30		3,25-3,75
	E	0,23	0,80	0,035	0,040	0,15-0,30		3,25-3,75
A204	A	0,25	0,90	0,035	0,040	0,15-0,30		
	B	0,27	0,90	0,035	0,040	0,15-0,30		
	C	0,28	0,90	0,035	0,040	0,15-0,30		
A225	C	0,25	1,60	0,035	0,040	0,15-0,40		0,40-0,70
	D	0,20	1,70	0,035	0,040	0,10-0,50		0,40-0,70
A302	A	0,25	0,95-1,30	0,035	0,040	0,15-0,30		
	B	0,25	1,15-1,50	0,035	0,040	0,15-0,30		
	C	0,25	1,15-1,50	0,035	0,040	0,15-0,30		0,40-0,70
	D	0,25	1,15-1,50	0,035	0,040	0,15-0,30		0,70-1,00
A353		0,13	0,90	0,035	0,040	0,15-0,30		8,50-9,50
A735		0,06	1,20-2,20	0,04	0,025	0,40		
A736		0,07	0,40-0,70	0,025	0,025	0,35	0,60-0,90	0,70-1,00
A737	B	0,20	1,15-1,50	0,035	0,030	0,15-0,50		
	C	0,22	1,15-1,50	0,035	0,030	0,15-0,50		

Especificación ASTM	Tipo o grado	Composición química [a] % Mo	V	Otros	Resistencia a la tracción mínima ksi	Tensión de fluencia mínima ksi
A202	A				75-95	45
	B				85-110	47
A203	A				65-85	37
	B				70-90	40
	D				65-85	37
	E				70-90	40
A204	A	0,45-0,60			65-85	37
	B	0,45-0,60			70-90	40
	C	0,45-0,60			75-95	43
A225	C		0,13-0,18		105-135	70
	D		0,10-0,18		75-105	55-60
A302	A	0,45-0,60			75-95	45
	B	0,45-0,60			80-100	50
	C	0,45-0,60			80-100	50
	D	0,45-0,60			80-100	50
A353					100-120	75
A735		0,23-0,47		0,20-0,35 Cu; 0,03-0,09 Cb	80-115	65-80
A736		0,15-0,25		1,00-1,30 Cu; 0,02 mín Cb	72-105	55-75
A737	B			0,05 Cb	70-90	50
	C		0,04-0,11	0,03 N	80-100	60

Nota: Ver nota tabla 1.

a) • Los valores únicos son máximos a menos que se indique lo contrario.

Aceros tratables térmicamente

Composición química de aceros de baja aleación tratables térmicamente

Composición de aceros de baja aleación típicos tratables térmicamente

Designación AISI-SAE u otra	Composición química [a] %						
	C	Mn	Si	Ni	Cr	Mo	V
4027	0,25-0,30	0,70-0,90	0,15-0,35	—	—	0,20-0,30	—
4037	0,35-0,40	0,70-0,90	0,15-0,35	—	—	0,20-0,30	—
4130	0,28-0,33	0,40-0,60	0,15-0,35	—	0,80-1,10	0,15-0,25	—
4135	0,33-0,38	0,70-0,90	0,15-0,35	—	0,80-1,10	0,15-0,25	—
4140	0,38-0,43	0,75-1,00	0,15-0,35	—	0,80-1,10	0,15-0,25	—
4320	0,17-0,22	0,45-0,65	0,15-0,35	1,65-2,00	0,40-0,60	0,20-0,30	—
4340	0,38-0,43	0,60-0,80	0,15-0,35	1,65-2,00	0,70-0,90	0,20-0,30	—
5130	0,28-0,33	0,70-0,90	0,15-0,35	—	0,80-1,10	—	—
5140	0,38-0,43	0,70-0,90	0,15-0,35	—	0,70-0,90	—	—
8630	0,28-0,33	0,70-0,90	0,15-0,35	0,40-0,70	0,40-0,60	0,15-0,25	—
8640	0,38-0,43	0,75-1,00	0,15-0,35	0,40-0,70	0,40-0,60	0,15-0,25	—
8470	0,38-0,43	0,75-1,00	0,15-0,35	0,40-0,70	0,40-0,60	0,20-0,30	—
AMS 6434	0,31-0,38	0,60-0,80	0,20-0,35	1,65-2,00	0,65-0,90	0,30-0,40	0,17-0,23
300M	0,40-0,46	0,65-0,90	1,45-1,80	1,65-2,00	0,70-0,95	0,30-0,45	0,05 min
D-6a	0,42-0,48	0,60-0,80	0,15-0,30	0,40-0,70	0,90-1,20	0,90-1,10	0,05-0,10

Aceros templados y revenidos

Clasificación ASTM, propiedades mecánicas y composición química de aceros templados y revenidos

Aceros templados y revenidos típicos

Especificación ASTM o denominación común	Grado, tipo o clase	Composición química [a] %						
		C	Mn	P	S	Si	Cr	Ni
A514/A517	A	0,15-0,21	0,80-1,10	0,035	0,04	0,40-0,80	0,50-0,80	
	B	0,12-0,21	0,70-1,00	0,035	0,04	0,20-0,35	0,40-0,65	
	C	0,10-0,20	1,10-1,50	0,035	0,04	0,15-0,30		
	D	0,13-0,20	0,40-0,70	0,035	0,04	0,20-0,35	0,85-1,20	

(Continúa)

(Continuación)

Especificación ASTM o denominación común	Grado, tipo o clase	Composición química [a] %						
		C	Mn	P	S	Si	Cr	Ni
A514/517 (continuación)	E	0,12-0,20	0,40-0,70	0,035	0,04	0,20-0,35	1,40-2,00	
	F	0,10-0,20	0,60-1,00	0,035	0,04	0,15-0,35	0,40-0,65	0,70-1,00
	G	0,15-0,21	0,80-1,10	0,035	0,04	0,50 0,90	0,50-0,90	
	H	0,12-0,21	0,95-1,30	0,035	0,04	0,20-0,35	0,40-0,65	0,30-0,70
	J	0,12-0,21	0,45-0,70	0,035	0,04	0,20 0,35		
	K	0,10-0,20	1,10-1,50	0,035	0,04	0,15-0,30		
	L	0,13-0,20	0,40-0,70	0,035	0,04	0,20-0,35	1,15-1,65	
	M	0,12-0,21	0,45-0,70	0,035	0,04	0,20-0,35		1,20-1,50
	N	0,16-0,21	0,80-1,10	0,035	0,04	0,40-0,90	0,50-0,80	
	P	0,12-0,21	0,45-0,70	0,035	0,04	0,20-0,35	0,85-1,20	1,20-1,50
	Q	0,14-0,21	0,95-1,30	0,035	0,04	0,15-0,35	1,00-1,50	1,20-1,50
A533	A	0,25	1,15-1,50	0,035	0,040	0,15-0,30		
	B	0,25	1,15-1,50	0,035	0,040	0,15-0,30	0,145	0,40-0,70
	C	0,25	1,15-1,50	0,035	0,040	0,15-0,30		0,70-1,00
	D	0,25	1,15-1,50	0,035	0,040	0,15-0,30		0,20-0,40
A537	2	0,24	0,70-1,60	0,035	0,040	0,15-0,30	0,25	0,25
A543	B	0,23	0,40	0,020	0,020	0,20-0,40	1,50-2,00	2,60-4,00[c]
	C	0,23	0,40	0,020	0,020	0,20-0,40	1,20-1,50	2,25-3,50
A678	A	0,16	0,90-1,50	0,04	0,05	0,15-0,50	0,25	0,25
	B	0,20	0,70-1,60	0,04	0,05	0,15-0,50	0,25	0,25
	C	0,22	1,00-1,60	0,04	0,05	0,20-0,50	0,25	0,25
HY-80		0,12-0,18	0,10-0,40	0,025	0,025	0,15-0,35	1,00-1,80	2,00-3,25
HY 100		0,12-0,20	0,10-0,40	0,025	0,025	0,15-0,35	1,00-1,80	2,25-3,50
HY-130		0,12	0,60-0,90	0,010	0,015	0,15-0,35	0,40-0,70	4,75-5,25

Especificación ASTM o denominación común	Grado, tipo o clase	Composición química [a] %			Resistencia mínima ksi	
		Mo	Cu	Otros	Tracción	Fluencia
A514/A517	A	0,18-0,28		Zr, 0,05-0,15; B, 0,0025		
	B	0,15-0,25		V, 0,03-0,08 Ti, 0,01-0,03; B, 0,0005-0,005		
	C	0,20-0,30		B, 0,001-0,005		
	D	0,15-0,25	0,20-0,40	Ti, 0,004-0,10[b]; B, 0,0015-0,005	100-130/ 105-135	90/100
	E	0,40-0,60	0,20-0,40	Ti, 0,04-0,10[b]; B, 0,0015-0,005		
	F	0,40-0,60	0,15-0,50	V, 0,03-0,08; B, 0,0005-0,006		
	G	0,40-0,60		Zr, 0,05-0,15; B, 0,0025		
	H	0,20-0,30		V, 0,03-0,08; B, 0,0005-0,005		

(Continúa)

(Continuación)

Especificación ASTM o denominación común	Grado, tipo o clase	Composición química [a] %			Resistencia mínima ksi	
		Mo	Cu	Otros	Tracción	Fluencia
A514/A517 *(Continuación)*	J	0,50-0,65		B, 0,001-0,005	100-130/ 105-135	90/100
	K	0,45-0,55		B, 0,001-0,005		
	L	0,25-0,40	0,20-0,40	Ti, 0,04-0,10[b]; B, 0,0015-0,005		
	M	0,45-0,60		B, 0,001-0,005		
	N	0,25		Zr, 0,05-0,15; B, 0,0005-0,0025		
	P	0,45-0,60		B, 0,001-0,005		
	Q	0,40-0,60		V, 0,03-0,08		
A533	A	0,45-0,60			80-125	50-82,5
	B	0,45-0,60				
	C	0,45-0,60				
	D	0,45-0,60				
A537	2	0,08	0,35		70-100	46-60
A543	B	0,45-0,60		V, 0,03	90-135	70-100
	C	0,45-0,60		V, 003		
A678	A	0,08	0,20[d]		70-90	50
	B	0,08	0,20[d]		80-100	60
	C	0,08	0,20[d]		85-115	65-75
HY-80		0,20-0,60	0,25	V, 0,03; Ti, 0,02	—	80
HY-100		0,20-0,60	0,25	V, 0,03; Ti, 0,02	—	100
HY-130		0,30-0,65		V, 0,05-0,10	—	130

Nota: Ver nota tabla 1.

a) • Los valores únicos indican límite máximo.

b) • El vanadio puede sustituirse parcial o totalmente por titanio en una relación uno a uno.

c) • Los valores límite varían con el espesor de la chapa.

d) • Cuando se especifica.

Clasificación ASTM, propiedades mecánicas y composición química de aceros Cr-Mo

Especificación ASTM de productos conformados en acero cromo-molibdeno

TABLA 1

Tipo	Forjados	Tubos	Caños	Fundidos	Chapas
1/2Cr-1/2Mo	A182-F2	A213-T2	A335-P2 A369-FP2 A426-CP2		A387-Gr2
1Cr-1/2Mo	A182-F12 A336-F12	A213-T12	A335-P12 A369-FP12 A426-CP12		A387-Gr12
1-1/4Cr-1/2Mo	A182-F11 A336-F11/F11A A541-C15	A199-T11 A200-T11 A213-T11	A335-P11 A369-FP11 A426-CP11	A217-WC6 A356-Gr6 A389-C23	A387-Gr11
2Cr-1/2Mo		A199-T3b A200-T3b A213-T3b	A369-FP3b		
2-1/4Cr-1Mo	A182-F22/F22a A336-F22/F22A A541-C16/6A	A199-T22 A200-T22 A213-T22	A335-P22 A369-FP22 A426-CP22	A217-WC9 A356-Gr10 A643-GrC	A387-Gr22 A542
3Cr-1Mo	A182-F21 A336-F21/F21A	A199-T21 A200-T21 A213-T21	A335-P21 A369-FP21 A426-CP21		A387-Gr21
5Cr-1/2Mo	A182-F5/F5a A336-F5/F5A A473-501/502	A199-T5 A200-T5 A213-T5	A335-P5 A369-FP5 A426-CP5	A217-C5	A387-Gr5
5Cr-1/2MoSi		A213-T5b	A335-P5b A426-CP5b		
5Cr-1/2MoTi		A213-T5c	A335-P5c		
7Cr-1/2Mo	A182-F7 A473-501A	A199-T7 A200-T7 A213-T7	A335-P7 A369-FP7 A426-CP7		A387-Gr7
9Cr-1Mo	A182-F9 A336-F9 A473-501B	A199-T9 A200-T9 A213-T9	A335-P9 A369-FP9 A426-CP9	A217-C12	A387-Gr9

Composición química nominal de aceros al cromo-molibdeno

TABLA 2

Tipo	Composición química [a] %						
	C	Mn	S	P	Si	Cr	Mo
1/2Cr-1/2Mo	0,10-0,20	0,30-0,60	0,045	0,045	0,10-0,30	0,50-0,80	0,45-0,65
1Cr-1/2Mo	0,15	0,30-0,60	0,045	0,045	0,50	0,80-1,25	0,45-0,65
1-1/4Cr-1/2Mo	0,15	0,30-0,60	0,030	0,045	0,50-1,00	1,00-1,50	0,45-0,65
2Cr-1/2Mo	0,15	0,30-0,60	0,030	0,030	0,50	1,65-2,35	0,45-0,65
2-1/4Cr-1Mo	0,15	0,30-0,60	0,030	0,030	0,50	1,90-2,60	0,87-1,13
3Cr-1Mo	0,15	0,30-0,60	0,030	0,030	0,50	2,65-3,35	0,80-1,06
5Cr-1/2Mo	0,15	0,30-0,60	0,030	0,030	0,50	4,00-6,00	0,45-0,65
7Cr-1/2Mo	0,15	0,30-0,60	0,030	0,030	0,50-1,00	6,00-8,00	0,45-0,65
9Cr-1Mo	0,15	0,30-0,60	0,030	0,030	0,25-1,00	8,00-10,00	0,90-1,10

a) • Los valores son máximos.

Requerimientos mecánicos de productos de acero cromo-molibdeno fabricados según especificación ASTM

TABLA 3

Producto conformado	Resistencia a la tracción ksi	Tensión de fluencia ksi	Alargamiento %	Reducción de área %
Forjado	60-90	30-35	20-22	45-50
Tubo	60[a]	30[a]	30[a]	—
Caño	60-90	30-60	18-20	35[b]
Fundido	70-90	40-60	18-20	35[b]
Chapa	60-115	30-100	13-18	40[b]

a) • Mínimo.

b) • Mínimo, pero puede no aplicarse a todos los grados.

Clasificación, propiedades y composición química de aceros inoxidables

Propiedades físicas de aceros inoxidables laminados recocidos

TABLA 1

Propiedad	Unidades	Acero inoxidable				
		Cr-Ni austenítico	Cr ferrítico	Cr martensítico	Endurecible por precipitación	Acero al carbono
Densidad	Mg/m^3	7,8-8,0	7,8	7,8	7,8	7,8
Módulo elástico	GPa	193-200	200	200	200	200
Coeficiente medio de expansión térmica de 0 a 538 °C	10^{-6} m/(m. °K)	5,26-5,99	3,47-3,75	3,53-3,75	3,70	3,64
Conductividad térmica (100 °C)	W/ (m . °K)	18,7-22,8	24,4-26,3	28,7	21,8-23,0	60
Calor específico (0-100 °C)	J (kg . °K)	460-500	460-500	420-460	420-460	480
Resistividad eléctrica	10^{-8} Ω . m	69-102	59-67	55-72	77-102	12
Rango de fusión	°C	1400-1450	1480-1630	1480-1530	1400-1440	1538

Inoxidables martensíticos

TABLA 2

Composición química de algunos aceros inoxidables martensíticos

Clasificación AISI/ACI	Número UNS	Composición porcentual[a]							
		C	Mn	Si	Cr	Ni	P	S	Otros
Aleaciones laminadas									
403	S40300	0,15	1,00	0,50	11,5-13,0		0,04	0,03	
410	S41000	0,15	1,00	1,00	11,5-13,0		0,04	0,03	
414	S41400	0,15	1,00	1,00	11,5-13,5	1,25-2,50	0,04	0,03	
416	S41600	0,15	1,25	1,00	12,0-14,0		0,04	0,03	
420	S42000	0,15 mín	1,00	1,00	12,0-14,0		0,04	0,03	
422	S42200	0,20-0,25	1,00	0,75	11,0-13,0	0,5-1,0	0,025	0,025	0,75-1,25 Mo; 0,75-1,25 W; 0,15-0,30 V
431	S43100	0,20	1,00	1,00	15,0-17,0	1,25-2,50	0,04	0,03	
440A	S44002	0,60-0,75	1,00	1,00	16,0-18,0		0,04	0,03	0,75 Mo
440B	S44003	0,75-0,95	1,00	1,00	16,0-18,0		0,04	0,03	0,75 Mo
440C	S44004	0,95-1,20	1,00	1,00	16,0-18,0		0,04	0,03	0,75 Mo
Aleaciones fundidas									
CA-6NM	J91540	0,06	1,00	1,00	11,5-14,0	3,5-4,5	0,04	0,04	0,40-1,0 Mo
CA-15	J91150	0,15	1,00	1,50	11,5-14,0	1,0	0,04	0,04	0,5 Mo
CA-40	J91153	0,20-0,40	1,00	1,50	11,5-14,0	1,0	0,04	0,04	0,5 Mo

a) • Los valores únicos son máximos.

Inoxidables ferríticos

TABLA 3

Composición química de algunos aceros inoxidables ferríticos

Clasificación AISI/ACI	Número UNS	Composición porcentual[a] C	Mn	Si	Cr	Ni	P	S	Otros
		Aleaciones laminadas							
405	S40500	0,08	1,00	1,00	11,5-14,5		0,04	0,03	0,10-0,30 Al
409	S40900	0,08	1,00	1,00	10,5-11,75		0,045	0,045	Ti mín--6 X %C
429	S42900	0,12	1,00	1,00	14,0-16,0		0,04	0,03	
430	S43000	0,12	1,00	1,00	16,0-18,0		0,04	0,03	
434	S43400	0,12	1,00	1,00	16,0-18,0		0,04	0,03	0,75-1,25 Mo
436	S43600	0,12	1,00	1,00	16,0-18,0		0,04	0,03	0,75-1,25 Mo; (Cb + Ta)mín–5 X %C
442	S44200	0,20	1,00	1,00	18,0-23,0		0,04	0,03	
444	S44400	0,025	1,00	1,00	17,5-19,5	1,00	0,04	0,03	1,75-2,5 Mo; 0,035 N máx; (Cb + Ta)mín–0,2 + 4 (%C + %N)
446	S44600	0,20	1,50	1,00	23,0-27,0		0,04	0,03	0,25 N
26-1	S44626	0,06	0,75	0,75	25,0-27,0	0,50	0,04	0,020	0,75-1,50 Mo; 0,2-1,0 Ti; 0,04 N; 0,2 Cu
29-4	S44700	0,010	0,30	0,20	28,0-30,0	0,15	0,025	0,020	3,5-4,2 Mo; 0,020 Ni, 0,15 Cu
29-4-2	S44800	0,010	0,30	0,20	28,0-30,0	2,0-2,5	0,025	0,020	3,5-4,2 Mo; 0,020 Ni, 0,15 Cu
		Aleaciones fundidas							
CB-30	J91803	0,30	1,00	1,50	18,0-21,0	2,0	0,04	0,04	
CC-50	J92616	0,50	1,00	1,50	26,0-30,0	4,0	0,04	0,04	

a) • Los valores únicos son máximos.

Inoxidables austeníticos

TABLA 4

Composición química de algunos aceros inoxidables austeníticos laminados

Clasificación AISI	Número UNS	Composición porcentual[a] C	Mn	Si	Cr	Ni[b]	P	S	Otros
201	S20100	0,15	5,5-7,5	1,00	16,0-18,0	3,5-5,5	0,06	0,03	0,25 N
202	S20200	0,15	7,5-10,0	1,00	17,0-19,0	4,0-6,0	0,06	0,03	0,25 N
301	S30100	0,15	2,00	1,00	16,0-18,0	6,0-8,0	0,045	0,03	
302	S30200	0,15	2,00	1,00	17,0-19,0	8,0-10,0	0,045	0,03	
302B	S30215	0,15	2,00	2,0-3,0	17,0-19,0	8,0-10,0	0,045	0,03	
303	S30300	0,15	2,00	1,00	17,0-19,0	8,0-10,0	0,20	0,15 mín	0-0,6 Mo
303Se	S30323	0,15	2,00	1,00	17,0-19,0	8,0-10,0	0,20	0,06	0,15 Se mín
304	S30400	0,08	2,00	1,00	18,0-20,0	8,0-10,5	0,045	0,03	
304L	S30403	0,03	2,00	1,00	18,0-20,0	8,0-12,0	0,045	0,03	
305	S30500	0,12	2,00	1,00	17,0-19,0	10,5-13,0	0,045	0,03	
308	S30800	0,08	2,00	1,00	19,0-21,0	10,0-12,0	0,045	0,03	
309	S30900	0,20	2,00	1,00	22,0-24,0	12,0-15,0	0,045	0,03	

(Continúa)

Tabla 4 (Continuación)

Composición química de algunos aceros inoxidables austeníticos laminados

Clasificación AISI	Número UNS	Composición porcentual[a] C	Mn	Si	Cr	Ni[b]	P	S	Otros
309S	S30908	0,08	2,00	1,00	22,0-24,0	12,0-15,0	0,045	0,03	
310	S31000	0,25	2,00	1,50	24,09-26,0	19,0-22,0	0,045	0,03	
310S	S31008	0,08	2,00	1,50	24,0-26,0	19,0-22,0	0,045	0,03	
314	S31400	0,25	2,00	1,5-3,0	23,0-26,0	19,0-22,0	0,045	0,03	
316	S31600	0,08	2,00	1,00	16,0-18,0	10,0-14,0	0,045	0,03	2,0-3,0 Mo
316L	S31603	0,03	2,00	1,00	16,0-18,0	10,0-14,0	0,045	0,03	2,0-3,0 Mo
317	S31700	0,08	2,00	1,00	18,0-20,0	11,0-15,0	0,045	0,03	3,0-4,0 Mo
317L	S31703	0,03	2,00	1,00	18,0-20,0	11,0-15,0	0,045	0,03	3,0-4,0 Mo
321	S32100	0,08	2,00	1,00	17,0-19,0	9,0-12,0	0,045	0,03	5 X %C Ti mín
329	S32900	0,10	2,00	1,00	25,0-30,0	3,0-6,0	0,045	0,03	1,0-2,0 Mo
330	N08330	0,08	2,00	0,75-1,5	17,0-20,0	34,0-37,0	0,04	0,03	
347	S34700	0,08	2,00	1,00	17,0-19,0	9,0-13,0	0,045	0,03	C
348	S34800	0,08	2,00	1,00	17,0-19,0	9,0-13,0	0,045	0,03	0,2 Cu[c, d]
384	S38400	0,08	2,00	1,00	15,0-17,0	17,0-19,0	0,045	0,03	

a) • Los valores únicos son máximos a menos que se indique lo contrario.

b) • Para algunos procesos de fabricación de tubos son necesarios mayores porcentajes.

c) • (Cb + Ta)mín = 10 X %C.

d) • Ta = 0,10% máx.

TABLA 5

Composición química de algunos aceros inoxidables austeníticos fundidos

Clasificación ACI	Número UNS	Similar de laminación[b]	Composición porcentual[a] C	Si	Cr	Ni	Mo[c]	Otros
CE-30	J93423	312	0,30	2,00	26-30	8-11	—	—
CF-3	J92700	304L	0,03	2,00	17-21	8-12	—	—
CF-3M	J92800	316L	0,03	1,50	17-21	9-13	2,0-3,0	—
CF-8	J92600	304	0,08	2,00	18-21	8-11	—	—
CF-8C	J92710	347	0,08	2,00	18-21	9-12	—	d
CF-8M	J92900	316	0,08	1,50	18-21	9-12	2,0-3,0	—
CF-12M	—	316	0,12	1,50	18-21	9-12	2,0-3,0	—
CF-16F	J92701	303	0,16	2,00	18-21	9-12	1,5	0,20-0,35 Se
CF-20	J92602	302	0,20	2,00	18-21	8-11	—	—
CG-8M	—	317	0,08	1,50	18-21	9-13	3,0-4,0	—
CH-20	J93402	309	0,20	2,00	22-26	12-15	—	—
CK-20	J94202	310	0,20	2,00	23-27	19-22	—	—
CN-7M	J95150	—	0,07	1,50	18-22	27,5-30,5	2,0-3,0	3-4 Cu
HE	J93403	—	0,2-0,5	2,0	26-30	8-11	—	—
HF	J92603	304	0,2-0,4	2,0	19-23	9-12	—	—
HH	J93503	309	0,2-0,5	2,0	24-28	11-14	—	0,2 N
HI	J94003	—	0,2-0,5	2,0	26-30	14-18	—	—
HK	J94224	310	0,2-0,6	2,0	24-28	18-22	—	—
HL	J94604	—	0,2-0,6	2,0	28-32	18-22	—	—
HN	J94213	—	0,2-0,5	2,0	19-23	23-27	—	—
HP	—	—	0,35-0,75	2,0	24-28	33-37	—	—
HT	J94605	330	0,35-0,75	2,5	15-19	33-37	—	—
HU	—	—	0,35-0,75	2,5	17-21	37-41	—	—

(Continúa)

Tabla 5 (Continuación)

a) • Los valores únicos son máximos.

Manganeso: 1,50% máx en los tipos CX-XX; 2,0% máx en el tipo HX.

Fósforo: 0,04% máx excepto para el tipo CF-16F donde es 0,17% máx.

Azufre: 0,04% máx.

b) • Las composiciones no son exactamente las mismas.

c) • En los tipos HX el molibdeno es 0,5% máx.

d) • Cb = 8 X % C (1,0% máx) o (Cb + Ta) = 9 X % C (1,1% máx).

AWS A5.1-81
Extracto de Norma

Electrodos revestidos para soldadura por arco de aceros al carbono

Clasificación de electrodos

TABLA 1

Clasificación AWS	Tipo de revestimiento	Posición de soldadura[a]	Tipo de corriente[b]
	Electrodos de la serie E60		
E6010	Celulósico sódico	F, V, OH, H	CC (+)
E6011	Celulósico potásico	F, V, OH, H	CA o CC (+)
E6012	Rutílico sódico	F, V, OH, H	CA o CC (+)
E6013	Rutílico potásico	F, V, OH, H	CA o CC (±)
E6020	Oxido de hierro	H-filetes	CA o CC (−)
E6022[c]	Oxido de hierro	F	CA o CC (±)
E6027	Oxido y polvo de hierro	H-filetes, F	CA o CC (−)
	Electrodos de la serie E70		
E7014	Rutílico con polvo de hierro	F, V, OH, H	CA o CC (±)
E7015	Básico de bajo hidrógeno sódico	F, V, OH, H	CC (+)
E7016	Básico de bajo hidrógeno potásico	F, V, OH, H	CA o CC (+)
E7018	Básico de bajo hidrógeno potásico con polvo de hierro	F, V, OH, H	CA o CC (+)
E7024	Rutílico con polvo de hierro	H-filetes, F	CA o CC (±)
E7027	Oxido y polvo de hierro	H-filetes, F	CA o CC (−)
E7028	Básico de bajo hidrógeno potásico con polvo de hierro	H-filetes, F	CA o CC (+)
E7048	Básico de bajo hidrógeno potásico con polvo de hierro	F, OH, H, V-desc.	CA o CC (+)

a) • Las abreviaturas en las posiciones indican:
F: plana.
H: horizontal.
H-filetes: filetes horizontales.
V-desc.: vertical descendente.
V: vertical
OH: sobrecarga
Para electrodos ϕ 4,8 mm y menores, excepto ϕ 4,0 mm y menores para las clasificaciones E7014, E7015, E7016 y E7018.

b) • CC (+): corriente continua, electrodo conectado a polo positivo (polaridad inversa).
CC (−): corriente continua, electrodo conectado a polo negativo (polaridad directa).
CA: corriente alterna.

c) • Los electrodos de la clasificación E6022 son para soldaduras de una sola pasada.

Requerimientos de composición química para el metal de soldadura

TABLA 2

Clasificación AWS	Porcentajes máximos de composición química (en peso)[a, b, c]					
	Mn	Si	Ni	Cr	Mo	V
E6010, E6011, E6012, E6013, E6020, E6022, E6027	Sin especificación de límites					

(Continúa)

Tabla 2 (Continuación)

Clasificación AWS	Porcentajes máximos de composición química (en peso)[a, b, c]					
	Mn	Si	Ni	Cr	Mo	V
E7016[d], E7018[d], E7027.	1,60**	0,75	0,30**	0,20**	0,30**	0,08**
E7014, E7015, E7024[e], E7028, E7048	1,25*	0,90	0,30*	0,20*	0,30*	0,08*

a) • Se fijan límites en la composición para asegurar depósitos de acero al carbono.

b) • Cuando se especifica CC ambas polaridades, para obtener la composición química se puede usar CC (−).

c) • La suma de todos los elementos con un asterisco (*) no debe ser mayor de 1,50%. La suma de todos los elementos con doble asterisco (**) no debe ser superior a 1,75%.

d) • Con acuerdo entre comprador y vendedor, los electrodos clasificados como E7016 o E7018 pueden suministrarse con un requerimiento mínimo de impacto con probeta Charpy entalla en V, de 27 J a −46 °C. Tales electrodos deberán identificarse como E7016-1 o E7018-1, según corresponda.

e) • Con acuerdo entre comprador y vendedor, los electrodos clasificados como E7024 pueden suministrarse con un requerimiento mínimo de impacto con probeta Charpy entalla en V de 27 J a −18 °C y un alargamiento mínimo del 22%. Tales electrodos deberán identificarse como E7024-1.

Requerimientos de tracción para el metal de aporte puro

TABLA 3

Clasificación AWS	Resistencia mínima a la tracción		Tensión de fluencia mínima en el límite 0,2		Alargamiento mínimo
	ksi	MPa	ksi	MPa	(%)
Electrodos de la serie E60[a]					
E6010	62	430	50	340	22
E6011	62	430	50	340	22
E6012	67	460	55	380	17
E6013	67	460	55	380	17
E6020	62	430	50	340	22
E6022[b]	67	460	Sin requerimiento		Sin requerimiento
E6027	62	430	50	340	22
Electrodos de la serie E70[c]					
E7014	72	500	60	420	17
E7015					22
E7016					22
E7018					22
E7024[d]					17
E7027					22
E7028					22
E7048					22

Nota: Propiedades mecánicas al estado "como soldado".

a) • Para cada aumento de un punto porcentual por arriba del mínimo de alargamiento, la resistencia a la tracción o tensión de fluencia, o ambas, pueden disminuirse en 6,9 MPa hasta un mínimo de 420 MPa para la resistencia a la tracción y 330 MPa para la tensión de fluencia en todos los electrodos de la serie E60, excepto los E6012, E6013 y E6022. Para los E6012 y E6013, la resistencia a la tracción y la tensión de fluencia pueden disminuir hasta 450 MPa y 365 MPa respectivamente. Los electrodos E 6022 son para soldaduras de una sola pasada, y no se requieren determinaciones de tensión de fluencia y alargamiento.

(Continúa)

Tabla 3 (Continuación)

b) • Para los electrodos E6022 de diámetros 4,0; 4,8 y 5,6 mm se requieren ensayos de tracción transversal y un un ensayo de plegado longitudinal guiado. La soldadura debe realizarse en posición plana.

c) • Para cada aumento de un punto porcentual por arriba del mínimo de alargamiento, la resistencia a la tracción o la tensión de fluencia, o ambas, pueden disminuirse en 6,9 MPa hasta un mínimo de 480 MPa para la resistencia a la tracción y 400 MPa para la tensión de fluencia.

d) • Con acuerdo entre comprador y vendedor, los electrodos clasificados como E7024 pueden suministrarse con un requerimiento mínimo de impacto con probeta Charpy entalla en V de 27 J a −18 °C y un alargamiento mínimo del 22%. Tales electrodos se identificarán como E7024-1.

Requerimientos de impacto

TABLA 4

Clasificación AWS	Probeta Charpy entalla en V	Requisito mínimo de impacto
E6010, E6011, E6027, E7015, E7016[a], E7018[a], E7027, E7048		27 J a −29 °C
E7024[b], E7028		27 J a −18 °C
E6012, E6013, E6020, E6022, E7014, E7024		Sin requerimientos

a) • Con acuerdo entre comprador y vendedor, los electrodos clasificados como E7016 y E7018 pueden suministrarse con un requerimiento mínimo de impacto con probeta Charpy entalla en V de 27 J a −46° C. Tales electrodos se identificaran como E7016-1 y E7018-1.

b) • Con acuerdo entre comprador y vendedor, los electrodos clasificados como E7024 pueden suministrarse con un requerimiento mínimo de impacto con probeta Charpy entalla en V de 27 J a −18° C y un alargamiento mínimo del 22 %. Tales electrodos se identificarán como E7024-1.

AWS A5.4-81
Extracto de Norma

Electrodos revestidos para soldadura por arco de aceros inoxidables

Requerimientos de composición química para el metal de soldadura

TABLA 1

Clasificación AWS[c]	Porcentajes de composición química (en peso)[a, b]				
	C[d]	Cr	Ni	Mo	Cb + Ta
E209[e]	0,06	20,5-24,0	9,5-12,0	1,5-3,0	—
E219	0,06	19,0-21,5	5,5-7,0	0,75	—
E240	0,06	17,0-19,0	4,0-6,0	0,75	—
E307	0,04-0,14	18,0-21,5	9,0-10,7	0,5-1,5	—
E308	0,08	18,0-21,0	9,0-11,0	0,75	—

(Continúa)

Tabla 1 (Continuación)

Clasificación AWS[c]	Porcentajes de composición química (en peso)[a, b]				
	C[d]	Cr	Ni	Mo	Cb + Ta
E308H	0,04-0,08	18,0-21,0	9,0-11,0	0,75	—
E308Ñ	0,04	18,0-21,0	9,0-11,0	0,75	—
E308Mo	0,08	18,0-21,0	9,0-12,0	2,0-3,0	—
E308MoL	0,04	18,0-21,0	9,0-12,0	2,0-3,0	—
E309	0,15	22,0-25,0	12,0-14,0	0,75	—
E309L	0,04	22,0-25,0	12,0-14,0	0,75	—
E309Cb	0,12	22,0-25,0	12,0-14,0	0,75	0,70-1,00
E309Mo	0,12	22,0-25,0	12,0-14,0	2,0-3,0	—
E310	0,08-0,20	25,0-28,0	20,0-22,5	0,75	—
E310H	0,35-0,45	25,0-28,0	20,0-22,5	0,75	—
E310Cb	0,12	25,0-28,0	20,0-22,0	0,75	0,70-1,00
E310Mo	0,12	25,0-28,0	20,0-22,0	2,0-3,0	—
E312	0,15	28,0-32,0	8,0-10,5	0,75	—
E316	0,08	17,0-20,0	11,0-14,0	2,0-3,0	—
E316H	0,04-0,08	17,0-20,0	11,0-14,0	2,0-3,0	—
E316L	0,04	17,0-20,0	11,0-14,0	2,0-3,0	—
E317	0,08	18,0-21,0	12,0-14,0	3,0-4,0	—
E317L	0,04	18,0-21,0	12,0-14,0	3,0-4,0	—
E318	0,08	17,0-20,0	11,0-14,0	2,0-2,5	6 X C, mín hasta 1,00 máx
E320	0,07	19,0-21,0	32,0-36,0	2,0-3,0	8 X C, mín hasta 1,00 máx
E320LR	0,035	19,0-21,0	32,0-36,0	2,0-3,0	8 X C, mín hasta 0,40 máx
E330	0,18-0,25	14,0-17,0	33,0-37,0	0,75	—
E330H	0,35-0,45	14,0-17,0	33,0-37,0	0,75	—
E347	0,08	18,0-21,0	9,0-11,0	0,75	8 X C, mín hasta 1,00 máx
E349[f, g]	0,13	18,0-21,0	8,0-10,0	0,35-0,65	0,75-1,2
E410	0,12	11,0-13,5	0,60	0,75	—
E410NiMo	0,06	11,0-12,5	4,0-5,0	0,40-0,70	—
E430	0,10	15,0-18,0	0,60	0,75	—
E502	0,10	4,0-6,0	0,40	0,45-0,65	—
E505	0,10	8,0-10,5	0,40	0,85-1,20	—
E630	0,05	16,0-16,75	4,5-5,0	0,75	0,15-0,30
E16-8-2	0,10	14,5-16,5	7,5-9,5	1,0-2,0	—
E7Cr	0,10	6,0-8,0	0,40	0,45-0,65	—

Clasificación AWS[c]	Porcentajes de composición química (en peso)[a, b]					
	Mn	Si	P	S	N	Cu
E209[e]	4,0-7,0	0,90	0,03	0,03	0,10-0,30	0,75
E219	8,0-10,0	1,00	0,03	0,03	0,10-0,30	0,75
E240	10,5-13,5	1,00	0,03	0,03	0,10-0,20	0,75
E307	3,3-4,75	0,90	0,04	0,03	—	0,75
E308	0,5-2,5	0,90	0,04	0,03	—	0,75
E308H	0,5-2,5	0,90	0,04	0,03	—	0,75
E308L	0,5-2,5	0,90	0,04	0,03	—	0,75
E308Mo	0,5-2,5	0,90	0,04	0,03	—	0,75
E308MoL	0,5-2,5	0,90	0,04	0,03	—	0,75
E309	0,5-2,5	0,90	0,04	0,03	—	0,75
E309L	0,5-2,5	0,90	0,04	0,03	—	0,75
E309Cb	0,5-2,5	0,90	0,04	0,03	—	0,75
E309Mo	0,5-2,5	0,90	0,04	0,03	—	0,75
E310	1,0-2,5	0,75	0,03	0,03	—	0,75
E310H	1,0-2,5	0,75	0,03	0,03	—	0,75
E310Cb	1,0-2,5	0,75	0,03	0,03	—	0,75
E310Mo	1,0-2,5	0,75	0,03	0,03	—	0,75
E312	0,5-2,5	0,90	0,04	0,03	—	0,75

(Continúa)

Tabla 1 (Continuación)

Clasificación AWS[c]	Porcentajes de composición química (en peso)[a, b]					
	Mn	Si	P	S	N	Cu
E316	0,5-2,5	0,90	0,04	0,03	—	0,75
E316H	0,5-2,5	0,90	0,04	0,03	—	0,75
E316L	0,5-2,5	0,90	0,04	0,03	—	0,75
E317	0,5-2,5	0,90	0,04	0,03	—	0,75
E317L	0,5-2,5	0,90	0,04	0,03	—	0,75
E318	0,5-2,5	0,90	0,04	0,03	—	0,75
E320	0,5-2,5	0,60	0,04	0,03	—	3,0-4,0
E320LR	1,50-2,50	0,30	0,02	0,015	—	3,0-4,0
E330	1,0-2,5	0,90	0,04	0,03	—	0,75
E330H	1,0-2,5	0,90	0,04	0,03	—	0,75
E347	0,5-2,5	0,90	0,04	0,03	—	0,75
E349[f, g]	0,5-2,5	0,90	0,04	0,03	—	0,75
E410	1,0	0,90	0,04	0,03	—	0,75
E410NiMo	1,0	0,90	0,04	0,03	—	0,75
E430	1,0	0,90	0,04	0,03	—	0,75
E502	1,0	0,90	0,04	0,03	—	0,75
E505	1,0	0,90	0,04	0,03	—	0,75
E630	0,25-0,75	0,75	0,04	0,03	—	3,25-4,00
E16-8-2	0,5-2,5	0,60	0,03	0,03	—	0,75
E7Cr	1,0	0,90	0,04	0,03	—	0,75

a) • Los análisis se harán para los elementos para los cuales se especifican valores en la tabla. Sin embargo, si en los análisis de rutina aparecen otros elementos, se deberán realizar mayores análisis para determinar que el total de los mismos no exceda el 0,50%, con excepción del hierro.

b) • Los valores únicos son porcentajes máximos, excepto donde se especifique lo contrario.

c) • Los electrodos con el sufijo 15 se clasifican con CC (+). Los electrodos con el sufijo 16 se clasifican con CA y CC (+). Los electrodos de diámetro 4,0 mm inclusive, se usan en toda posición. Los electrodos de diámetro 4,8 mm y mayores se usan sólo en posición plana y filete horizontal.

d) • El carbono se determinará con un error máximo del 0,01% excepto para la clasificación E320LR para la cual el error máximo será de 0,005%.

e) • El tenor de vanadio deberá ser de 0,10 a 0,30%.

f) • El tenor de titanio deberá ser de 0,15% máx.

g) • El tenor de tungsteno deberá ser de 1,25 a 1,75%.

Requerimientos de tracción para el metal de aporte puro

TABLA 2

Clasificación AWS	Resistencia a la tracción, mín		Alargamiento mínimo en 2"	Tratamiento térmico
	ksi	MPa	%	
E209	100	690	15	Ninguno
E219	90	620	15	Ninguno
E240	100	690	15	Ninguno
E307	85	590	30	Ninguno
E308	80	550	35	Ninguno
E308H	80	550	35	Ninguno
E308L	75	520	35	Ninguno
E308Mo	80	550	35	Ninguno

(Continúa)

Tabla 2 (Continuación)

Clasificación AWS	Resistencia a la tracción, mín ksi	Resistencia a la tracción, mín MPa	Alargamiento mínimo en 2" %	Tratamiento térmico
E308MoL	75	520	35	Ninguno
E309	80	550	30	Ninguno
E309L	75	520	30	Ninguno
E309Cb	80	550	30	Ninguno
E309Mo	80	550	30	Ninguno
E310	80	550	30	Ninguno
E310H	90	620	10	Ninguno
E310Cb	80	550	25	Ninguno
E310Mo	80	550	30	Ninguno
E312	95	660	22	Ninguno
E316	75	520	30	Ninguno
E316H	75	520	30	Ninguno
E316L	70	490	30	Ninguno
E317	80	550	30	Ninguno
E317L	75	520	30	Ninguno
E318	80	550	25	Ninguno
E320	80	550	30	Ninguno
E320LR	75	520	30	Ninguno
E330	75	520	25	Ninguno
E330H	90	620	10	Ninguno
E347	75	520	30	Ninguno
E349	100	690	25	Ninguno
E410	65	450	20	a
E410NiMo	110	760	15	b
E430	65	450	20	c
E502	60	420	20	a
E505	60	420	20	a
E630	135	930	7	d
E16-8-2	80	550	35	Ninguno
E7Cr	60	420	20	a

a) • La probeta deberá ser calentada entre 840 y 870 °C, mantener a temperatura por 2 horas, enfriar en horno a una velocidad no mayor de 55 °C por hora hasta 595 °C y luego dejar enfriar al aire.

b) • La probeta deberá ser calentada entre 595 y 620 °C, mantener a temperatura por 1 hora, y luego dejar enfriar al aire.

c) • La probeta deberá ser calentada entre 760 y 790 °C, mantener a temperatura por 2 horas, enfriar en horno a una velocidad no mayor de 55 °C por hora hasta 55 °C y luego dejar enfriar al aire.

d) • La probeta deberá ser calentada entre 1025 y 1050 °C, mantener a temperatura por 1 hora, dejar enfriar al aire hasta por lo menos 15 °C, y luego endurecer por precipitación a 610 a 630 °C, mantener a temperatura por 4 horas y luego dejar enfriar al aire.

AWS A5.5-81
Extracto de Norma

Electrodos revestidos para soldadura por arco de aceros de baja aleación

Clasificación de electrodos

TABLA 1

Clasificación AWS[a]	Tipo de revestimiento	Posición de soldadura[b]	Tipo de corriente[c]
Serie E70 - Resistencia mínima a la tracción del metal depositado, 70.000 psi (480 MPa)			
E7010-X	Celulósico sódico	F, V, OH, H	CC (+)
E7011-X	Celulósico potásico	F, V, OH, H	CA o CC (+)
E7015-X	Básico de bajo hidrógeno sódico	F, V, OH, H	CC (+)
E7016-X	Básico de bajo hidrógeno potásico	F, V, OH, H	CA o CC (+)
E7018-X	Básico de bajo hidrógeno con polvo de hierro	F, V, OH, H	CA o CC (+)
E7020-X	Oxido de hierro	H-filetes F	CA o CC (−) CA o CC (±)

(Continúa)

Tabla 1 (Continuación)

Clasificación AWS[a]	Tipo de revestimiento	Posición de soldadura[b]	Tipo de corriente[c]
Serie E70 - Resistencia mínima a la tracción del metal depositado, 70.000 psi (480 MPa)			
E7027-X	Oxido y polvo de hierro	H-filetes F	CA o CC (−) CA o CC (±)
Serie E80 - Resistencia mínima a la tracción del metal depositado, 80.000 psi (550 MPa)			
E8010-X	Celulósico sódico	F, V, OH, H	CC (+)
E8011-X	Celulósico potásico	F, V, OH, H	CA o CC (+)
E8013-X	Rutílico potásico	F, V, OH, H	CA o CC (±)
E8015-X	Básico de bajo hidrógeno sódico	F, V, OH, H	CC (+)
E8016-X	Básico de bajo hidrógeno potásico	F, V, OH, H	CA o CC (+)
E8018-X	Básico de bajo hidrógeno con polvo de hierro	F, V, OH, H	CA o CC (+)
Serie E90 - Resistencia mínima a la tracción del metal depositado, 90.000 psi (620 MPa)			
E9010-X	Celulósico sódico	F, V, OH, H	CC (+)
E9011-X	Celulósico potásico	F, V, OH, H	CA o CC (+)
E9013-X	Rutílico potásico	F, V, OH, H	CA o CC (±)
E9015-X	Básico de bajo hidrógeno sódico	F, V, OH, H	CC (+)
E9016-X	Básico de bajo hidrógeno potásico	F, V, OH, H	CA o CC (+)
E9018-X	Básico de bajo hidrógeno con polvo de hierro	F, V, OH, H	CA o CC (+)
Serie E100 - Resistencia mínima a la tracción del metal depositado, 100.000 psi (690 MPa)			
E10010-X	Celulósico sódico	F, V, OH, H	CC (+)
E10011-X	Celulósico potásico	F, V, OH, H	CA o CC (+)
E10013-X	Rutílico potásico	F, V, OH, H	CA o CC (±)
E10015-X	Básico de bajo hidrógeno sódico	F, V, OH, H	CC (+)
E10016-X	Básico de bajo hidrógeno potásico	F, V, OH, H	CA o CC (+)
E10018-X	Básico de bajo hidrógeno con polvo de hierro	F, V, OH, H	CA o CC (+)
Serie E110 - Resistencia mínima a la tracción del metal depositado, 110.000 psi (760 MPa)			
E12015-X	Básico de bajo hidrógeno sódico	F, V, OH, H	CC (+)
12016-X	Básico de bajo hidrógeno potásico	F, V, OH, H	CA o CC (+)
12018-X	Básico de bajo hidrógeno con polvo de hierro	F, V, OH, H	CA o CC (+)
Serie E120 - Resistencia mínima a la tracción del metal depositado, 120.000 psi (830 MPa)			
E11015-X	Básico de bajo hidrógeno sódico	F, V, OH, H	CC (+)
E11016-X	Básico de bajo hidrógeno potásico	F, V, OH, H	CA o CC (+)
E11018-X	Básico de bajo hidrógeno con polvo de hierro	F, V, OH, H	CA o CC (+)

a) • El sufijo "X" se usa en esta tabla para representar los sufijos A1, B1, B2, etc. (ver tabla 2) y designa la composición química del metal depositado.

b) • Las abreviaturas F, V, OH H y H-filetes indican las posiciones de soldadura, según: F = plano; H = horizontal; H-filetes = filetes horizontales.

V = vertical

OH = sobrecarga

Para electrodos ϕ 4,8 mm y menores, excepto ϕ 4,0 mm y menores para las clasificaciones EXX15-X; EXX16-X y EXX18-X.

c) • CC (+): corriente continua, electrodo conectado a polo positivo (polaridad inversa)
CC (−): corriente continua, electrodo conectado a polo negativo (polaridad directa).
CA: corriente alterna.

Requerimientos de composición química para el metal de soldadura

TABLA 2

Clasificación AWS[a]	Porcentajes máximos de composición química (en peso)[b]								
	C	Mn	P	S	Si	Ni	Cr	Mo	V
Electrodos de acero al carbono-molibdeno									
E7010-A1	0,12	0,60	0,03	0,04	0,40	—	—	0,40-0,65	—
E7011-A1		0,60			0,40				
E7015-A1		0,90			0,60				
E7016-A1		0,90			0,60				
E7018-A1		0,90			0,80				
E7020-A1		0,60			0,40				
E7027-A1		1,00			0,40				
Electrodos de acero al cromo-molibdeno									
E8016-B1	0,05 hasta 0,12	0,90	0,03	0,04	0,60 0,80	—	0,40-0,65	0,40-0,65	—
E8018-B1									
E8015-B2L	0,05	0,90	0,03	0,04	1,00	—	1,00-1,50	0,40-0,65	—
E8016-B2	0,05 hasta 0,12	0,90	0,03	0,04	0,60 0,80	—	1,00-1,50	0,40-0,65	—
E8018-B2									
E8018-B2L	0,05	0,90	0,03	0,04	0,80	—	1,00-1,50	0,40-0,65	—
E9015-B3L	0,05	0,90	0,03	0,04	1,00	—	2,00-2,50	0,90-1,20	—
E9015-B3	0,05 hasta 0,12	0,90	0,03	0,04	0,60 0,60 0,80	—	2,00-2,50	0,90-1,20	—
E9016-B3									
E9018-B3									
E9018-B3L	0,05	0,90	0,03	0,04	0,80	—	2,00-2,50	0,90-1,20	—
E8015-B4L	0,05	0,90	0,03	0,04	1,00	—	1,75-2,25	0,40-0,65	—
E8016-B5	0,07 hasta 0,15	0,40 hasta 0,70	0,03	0,04	0,30-0,60	—	0,40-0,60	1,00-1,25	0,05
Electrodos de acero al níquel									
E8016-C1	0,12	1,25	0,03	0,04	0,60 0,80	2,00-2,75	—	—	—
E8018-C1									
E7015-C1L	0,05	1,25	0,03	0,04	0,50	2,00-2,75	—	—	—
E7016-C1L									
E7018-C1L									
E8016-C2	0,12	1,25	0,03	0,04	0,60 0,80	3,00-3,75	—	—	—
E8018-C2									
E7015-C2L	0,05	1,25	0,03	0,04	0,50	3,00-3,75	—	—	—
E7016-C2L									
E7018-C2L									
E8016-C3[c]	0,12	0,40-1,25	0,03	0,03	0,80	0,80-1,10	0,15	0,35	0,05
E8018-C3[c]									
Electrodos de acero al níquel-molibdeno									
E8018-NM[d]	0,10	0,80-1,25	0,02	0,03	0,60	0,80-1,10	0,05	0,40-0,65	0,02
Electrodos de acero al manganeso-molibdeno									
E9015-D1	0,12	1,25-1,75	0,03	0,04	0,60 0,80	—	—	0,25-0,45	—
D9018-D1									
E8016-D3	0,12	1,00-1,75	0,03	0,04	0,60 0,80	—	—	0,40-0,65	—
E8018-D3									

(Continúa)

Tabla 2 (Continuación)

Clasificación AWS[a]	Porcentajes máximos de composición química (en peso)[b] C	Mn	P	S	Si	Ni	Cr	Mo	V
Electrodos de acero al manganeso-molibdeno									
E10015-D2 E10016-D2 E10018-D2	0,15	1,65-2,00	0,03	0,04	0,60 0,60 0,80	—	—	0,25-0,45	—
Otros electrodos de acero de baja aleación[e]									
EXX10-G[e] EXX11-G EXX13-G EXX15-G EXX16-G EXX18-G E7020-G	—	1,00 mín[f]	—	—	0,80 mín[f]	0,50 mín[f]	0,30 mín[f]	0,20 mín[f]	0,10 mín[f]
E9018-M[c]	0,10	0,60-1,25	0,030	0,030	0,80	1,40-1,80	0,15	0,35	0,05
E10018-M[c]	0,10	0,75-1,70	0,030	0,030	0,60	1,40-2,10	0,35	0,25-0,50	0,05
E11018-M[c]	0,10	1,30-1,80	0,030	0,030	0,60	1,25-2,50	0,40	0,25-0,50	0,05
E12018-M[c]	0,10	1,30-2,25	0,030	0,030	0,60	1,75-2,50	0,30-1,50	0,30-0,55	0,05
E12018-M1[c]	0,10	0,80-1,60	0,015	0,012	0,65	3,00-3,80	0,65	0,20-0,30	0,05
E7018-W[g]	0,12	0,40-0,70	0,025	0,025	0,40-0,70	0,20-0,40	0,15-0,30	—	0,08
E8018-W[h]	0,12	0,50-1,30	0,03	0,04	0,35-0,80	0,40-0,80	0,45-0,70	—	—

a) • Los sufijos A1, B3, C2, etc., designan la composición química de la clasificación del electrodo.

b) • Para determinar la composición química, se puede usar CC— donde se especifica CC ambas polaridades.

c) • Estas clasificaciones tienen por objeto responder a las especificaciones militares para composiciones similares.

d) • Para los electrodos E8018-NM el cobre deberá ser 0,10% máx y el aluminio 0,05% máx.

e) • Las letras "XX" usadas en esta tabla se refieren a los varios niveles de resistencia de los electrodos (70, 80, 90, 100, 110 y 120).

f) • Para alcanzar los requerimientos de aleación del grupo G, el metal de soldadura deberá tener el mínimo de solamente uno de los elementos indicados. Las exigencias adicionales de composición deberá convernirse entre cliente y vendedor.

g) • En los electrodos E7018-W el cobre deberá estar entre 0,30 a 0,60%.

h) • En los electrodos E8018-W el cobre deberá estar entre 0,30 a 0,75%.

Requerimientos de tracción para el metal de aporte puro

TABLA 3

Clasificación AWS[b]	Resistencia mín a la tracción[c] ksi	MPa	Tensión de fluencia en el límite 0,02[d] ksi	MPa	Alargamiento mín, %
E7010-X E7011-X E7015-X	70	480	57[e]	390[e]	22 22 25

(Continúa)

Tabla 3 (Continuación)

Clasificación AWS[b]	Resistencia mín a la tracción[c] ksi	Resistencia mín a la tracción[c] MPa	Tensión de fluencia en el límite 0,02[d] ksi	Tensión de fluencia en el límite 0,02[d] MPa	Alargamiento mín, %
E7016-X	70	480	57[e]	390[e]	25
E7018-X					25
E7020-X					25
E7027-X					25
E8010-X					19
E8011-X					19
E8013-X	80	550	67	460	16
E8015-X					19
E8016-X					19
E8018-X					19
E8016-C3	80	550	68 hasta 80	470 hasta 550	24
E8018-C3					
E9010-X					17
E8011-X					17
E9013-X					14
E9015-X	90	620	77	530	17
E9016-X					17
E9018-X					17
E9018-X	90	620	78 hasta 90	540 hasta 620	24
E10010-X					16
E10011-X					16
E10013-X					13
E10015-X	100	690	87	600	16
E10016-X					16
E10018-X					16
E10018-M	100	690	88 hasta 100	610 hasta 690	20
E11015-X					
E11016-X	110	760	97	670	15
E10018-X					
E11018-M	110	760	98 hasta 110	680 hasta 760	20
E12015-X					
E12016-X	120	830	107	740	14
E12018-X					
E12018-M	120[f]	830[f]	108 hasta 120	745 hasta 830	18
E12018-M1					

a) • En los electrodos:

E7010-G	E8018-C3	E9018-M	E12018-M1
E7018-W	E8018-NM	E10018-M	
E8010-G	E8018-W	E11018-M	
E8016-C3	E9010-G	E12018-M	

Los valores indicados son para probetas ensayadas en la condición "como soldado". Todos los demás electrodos se ensayarán luego de un alivio de tensiones. Las clasificaciones "M" deberán alcanzar los requerimientos de resistencia equivalente a la de las clasificaciones EXX18-X cuando se ensayan con CA.

(Continúa)

Tabla 3 (Continuación)

b) • En esta tabla se usa la letra "X" como sufijo indicativo de todos los sufijos (A1, B1, B2, etc.), excepto para los sufijos M y C3 (ver tabla 1)

c) • Los valores simples son mínimos.

d) • La tensión de fluencia se puede incrementar en 35 MPa máximo para las clasificaciones "M" en diámetro 2,4 mm.

e) • Para la condición "como soldado", la tensión de fluencia requerida es 415 MPa.

f) • La resistencia mínima a la tracción de la clasificación E12018-M1 nominalmente es 830 MPa. Sin embargo, este valor puede cambiarse con acuerdo entre cliente y proveedor.

Requerimientos de impacto

TABLA 4

Clasificación AWS	Requisitos mínimos de impacto en probeta Charpy entalla en V[a]
E8018-NM E8016-C3 E8018-C3	27 J a −40 °C
E8016-D3 E8018-D3 E9015-D1 E9018-D1 E10015-D2 E10016-D2 E10018-D2	27 J a −51 °C[b]
E9018-M E10018-M E11018-M E12018-M	27 J a −51 °C
E12018-M1	67 J a −18 °C
E7018-W E8018-W	27 J a −18 °C

Clasificación AWS	Requisitos mínimos de impacto en probeta Charpy entalla en V[a]
E8016-C1 E8018-C1	27 J a −59 °C[b]
E7015-C1L E7016-C1L E7018-C1L E8016-C2 E8018-C2	27 a −73 °C[b]
E7015-C2L E7016-C2L E7018-C2L	27 J a −101 °C[b]
Otras clasificaciones	Sin requerimientos

a) • Para este ensayo se deberán despreciar el valor máximo y el valor mínimo obtenidos.

b) • Propiedades de impacto luego de un alivio de tensiones.

AWS A5.9-81
Extracto de Norma

Varillas, alambres macizos y tubulares para soldadura de aceros inoxidables

Requerimientos de composición química para los alambres o para el metal de soldadura en el caso de alambres tubulares

TABLA 1

Clasificación AWS	Porcentajes de composición química (en peso)[a, b]				
	C	Cr	Ni	Mo	Cb + Ta
ER209[c]	0,05	20,5-24,0	9,5-12,0	1,5-3,0	—
ER218	0,10	16,0-18,0	8,0-9,0	0,75	—
ER219	0,05	19,0-21,5	5,5-7,0	0,75	—
ER240	0,05	17,0-19,0	4,0-6,0	0,75	—
ER307	0,04-0,14	19,5-22,0	8,0-10,7	0,5-1,5	—
ER308[d]	0,08	19,5-22,0	9,0-11,0	0,75	—
ER308H	0,04-0,08	19,5-22,0	9,0-11,0	0,75	—
ER308L[d]	0,03	19,5-22,0	9,0-11,0	0,75	—
ER308Mo	0,08	18,0-21,0	9,0-12,0	2,0-3,0	—
ER308MoL	0,04	18,0-21,0	9,0-12,0	2,0-3,0	—
ER309[e]	0,12	23,0-25,0	12,0-14,0	0,75	—
ER309L	0,03	23,0-25,0	12,0-14,0	0,75	—
ER310	0,08-0,15	25,0-28,0	20,0-22,5	0,75	—
ER312	0,15	28,0-32,0	8,0-10,5	0,75	—
ER316[d]	0,08	18,0-20,0	11,0-14,0	2,0-3,0	—
ER316H	0,04-0,08	18,0-20,0	11,0-14,0	2,0-3,0	—
ER316L[d]	0,03	18,0-20,0	11,0-14,0	2,0-3,0	—
ER317	0,08	18,5-20,5	13,0-15,0	3,0-4,0	—
ER317L	0,03	18,5-20,5	13,0-15,0	3,0-4,0	—
ER318	0,08	18,0-20,0	11,0-14,0	2,0-3,0	8 X C mín hasta 1,0 máx
ER320	0,07	19,0-21,0	32,0-36,0	2,0-3,0	8 X C mín hasta 1,0 máx
ER320LR[e]	0,025	19,0-21,0	32,0-36,0	2,0-3,0	8 X C mín hasta 0,40 máx
ER321[f]	0,08	18,5-20,5	9,0-10,5	0,75	—
ER330	0,18-0,25	15,0-17,0	34,0-37,0	0,75	—
ER347[d]	0,08	19,0-21,5	9,0-11,0	0,75	10 X C mín hasta 1,0 máx
ER349[g]	0,07-0,13	19,0-21,5	8,0-9,5	0,35-0,65	1,0-1,4
ER410	0,12	11,5-13,5	0,6	0,75	—
ER410NiMo	0,06	11,0-12,5	4,0-5,0	0,4-0,7	—
ER420	0,25-0,40	12,0-14,0	0,6	0,75	—
ER430	0,10	15,5-17,0	0,6	0,75	—
ER502	0,10	4,6-6,0	0,6	0,45-0,65	—
ER505	0,10	8,0-10,5	0,5	0,8-1,2	—
ER630	0,05	16,0-16,75	4,5-5,0	0,75	0,15-0,30
ER26-1	0,01	25,0-27,5	[h]	0,75-1,50	—
ER16-8-2	0,10	14,5-16,5	7,5-9,5	1,0-2,0	—

Clasificación AWS	Porcentajes de composición química (en peso)[a, b]					
	Mn	Si	P	S	N	Cu
ER209[c]	4,0-7,0	0,90	0,03	0,03	0,10-0,30	0,75
ER218	7,0-9,0	3,5-4,5	0,03	0,03	0,08-0,18	0,75
ER219	8,0-10,0	1,00	0,03	0,03	0,10-0,30	0,75
ER240	10,5-13,5	1,00	0,03	0,03	0,10-0,20	0,75
ER307	3,3-4,75	0,30-0,65	0,03	0,03	—	0,75
ER308[d]	1,0-2,5	0,30-0,65	0,03	0,03	—	0,75

(Continúa)

Tabla 1 (Continuación)

Clasificación AWS	Porcentajes máximos de composición química (en peso)[a, b]					
	Mn	Si	P	S	N	Cu
ER308H	1,0-2,5	0,30-0,65	0,03	0,03	—	0,75
ER308L[d]	1,0-2,5	0,30-0,65	0,03	0,03	—	0,75
ER308Mo	1,0-2,5	0,30-0,65	0,03	0,03	—	0,75
ER308MoL	1,0-2,5	0,30-0,65	0,03	0,03	—	0,75
ER309[e]	1,0-2,5	0,30-0,65	0,03	0,03	—	0,75
ER309L	1,0-2,5	0,30-0,65	0,03	0,03	—	0,75
ER310	1,0-2,5	0,30-0,65	0,03	0,03	—	0,75
ER312	1,0-2,5	0,30-0,65	0,03	0,03	—	0,75
ER316[d]	1,0-2,5	0,30-0,65	0,03	0,03	—	0,75
ER316H	1,0-2,5	0,30-0,65	0,03	0,03	—	0,75
ER316L[d]	1,0-2,5	0,30-0,65	0,03	0,03	—	0,75
ER317	1,0-2,5	0,30-0,65	0,03	0,03	—	0,75
ER317L	1,0-2,5	0,30-0,65	0,03	0,03	—	0,75
ER318	1,0-2,5	0,30-0,65	0,03	0,03	—	0,75
ER320	2,5	0,60	0,03	0,03	—	3,0-4,0
ER320LR[e]	1,5-2,0	0,15	0,015	0,020	—	3,0-4,0
ER321[f]	1,0-2,5	0,30-0,65	0,03	0,03	—	0,75
ER330	1,0-2,5	0,30-0,65	0,03	0,03	—	0,75
ER347[d]	1,0-2,5	0,30-0,65	0,03	0,03	—	0,75
ER349[g]	1,0-2,5	0,30-0,65	0,03	0,03	—	0,75
ER410	0,6	0,50	0,03	0,03	—	0,75
ER410NiMo	0,6	0,50	0,03	0,03	—	0,75
ER420	0,6	0,50	0,03	0,03	—	0,75
ER430	0,6	0,50	0,03	0,03	—	0,75
ER502	0,6	0,50	0,03	0,03	—	0,75
ER505	0,6	0,50	0,04	0,03	—	0,75
ER630	0,25-0,75	0,75	0,04	0,03	—	3,25-4,00
ER26-1	0,40	0,40	0,02	0,02	0,015	0,20[h]
ER16-8-2	1,0-2,5	0,30-0,65	0,03	0,03	—	0,75

a) • Se realizará el análisis de los elementos para los cuales se dan valores específicos en esta tabla. Sin embargo, si en curso de los análisis de rutina se detecta la presencia de otros elementos, se deberán realizar mayores controles para determinar que el total de estos otros elementos, excepto el hierro, no exceden el 0,5%.

b) • Los valores únicos son porcentajes máximos a menos que se indique de otra manera.

c) • 0,10-0,30 vanadio.

d) • Estos grados se obtienen en clasificaciones de alto silicio, las cuales tendrán los mismos requerimientos de composición química, con la excepción de que el contenido de silicio será entre 0,65 a 1,00%. Estas clasificaciones de alto silicio se designan con la adición de "Si" a la denominación por norma. El fabricante debe estudiar cuidadosamente el uso de materiales de aporte de elevado silicio en soldaduras totalmente austeníticas altamente embridadas.

e) • El carbono se indicará con una precisión del 0,01% excepto en la clasificación E320LR, en la cual se indicará con una precisión del 0,005%.

f) • Titanio: 9 X C mín hasta 1,0 máx.

g) • Titanio: 0,10 a 0,30. Tungsteno: 1,25 a 1,75%.

h) • % Níquel máx = 0,5 — (% Cu).

Requerimientos de tracción para el metal de aporte puro según la especificación AWS A5.4

TABLA 2

Clasificación AWS	Resistencia a la tracción mínima ksi	Resistencia a la tracción mínima MPa	Alargamiento mínimo en longitud calibrada %	Tratamiento térmico
E209	100	690	15	Ninguno
E218	95	655	15	Ninguno
E219	90	620	15	Ninguno
E240	100	690	15	Ninguno
E307	85	590	30	Ninguno
E308	80	550	35	Ninguno
E308H	80	550	35	Ninguno
E308L	75	520	35	Ninguno
E308Mo	80	550	35	Ninguno
E308MoL	75	520	35	Ninguno
E309	80	550	30	Ninguno
E309L	75	520	30	Ninguno
E309Cb	80	550	30	Ninguno
E309Mo	80	550	30	Ninguno
E310	80	550	30	Ninguno
E310H	90	620	10	Ninguno
E310Cb	80	550	25	Ninguno
E310Mo	80	550	30	Ninguno
E312	95	660	22	Ninguno
E316	75	520	30	Ninguno
E316H	75	520	30	Ninguno
E316L	70	490	30	Ninguno
E317	80	550	30	Ninguno
E317L	75	520	30	Ninguno
E318	80	550	25	Ninguno
E320	80	550	30	Ninguno
E320LR	75	520	30	Ninguno
E330	75	520	25	Ninguno
E330H	90	620	10	Ninguno
E347	75	520	30	Ninguno
E349	100	690	25	Ninguno
E410	65	450	20	a
E410NiMo	110	760	15	b
E430	65	450	20	c
E502	60	420	20	a
E505	60	420	20	a
E630	135	930	7	d
E16-8-2	80	550	35	Ninguno
E7Cr	60	420	20	a

a) • La probeta deberá ser calentada entre 840 y 870 °C, mantener a temperatura por 2 horas, enfriar en horno a una velocidad no mayor de 55 °C por hora hasta 595 °C y luego dejar enfriar al aire.

b) • La probeta deberá ser calentada entre 595 y 620 °C, mantener a temperatura por 1 hora, y luego dejar enfriar al aire.

c) • La probeta deberá ser calentada entre 760 y 790 °C, mantener a temperatura por 2 horas, enfriar en horno a una velocidad no mayor de 55 °C por hora hasta 55 °C y luego dejar enfriar al aire.

d) • La probeta deberá ser calentada entre 1025 y 1050 °C, mantener a temperatura por 1 hora, dejar enfriar al aire hasta por lo menos 15 °C, y luego endurecer por precipitación a 610 a 630 °C, mantener a temperatura por 4 horas y luego dejar enfriar al aire.

AWS A5.11-83
Extracto de Norma

Electrodos revestidos para soldadura por arco de níquel y aleaciones de níquel

Requerimientos de composición química para el metal de soldadura

TABLA 1

Clasificación AWS	Número UNS[c]	Porcentajes de composición química (en peso)[a, b]																
		C	Mn	Fe	P	S	Si	Cu	Ni[d]	Co	Al	Ti	Cr	Cb + Ta	Mo	V	W	Total de otros elementos
ENi-1	W82141	0,10	0,75	0,75	0,03	0,02	1,25	0,25	92,0 mín	—	1,0	1,0 a 4,0	—	—	—	—	—	0,50
ENiCu-7	W84190	0,15	4,0	2,5	0,02	0,015	1,5	Rem	62,0 a 69,0	—	0,75	1,0	—	—	—	—	—	0,50
ENiCrFe-1	W86132	0,08	3,5	11,0	0,03	0,015	0,75	0,50	62,0 mín	—	—	—	13,0 a 17,0	1,5 a 4,0[f]	—	—	—	0,50
ENiCrFe-2	W86133	0,10	1,0 a 3,5	12,0	0,03	0,02	0,75	0,50	62,0 mín	[e]	—	—	13,0 a 17,0	0,5 a 3,0[f]	0,5 a 2,5	—	—	0,50
ENiCrFe-3	W86182	0,10	5,0 a 9,5	10,0	0,03	0,015	1,0	0,50	59,0 mín	[e]	—	1,0	13,0 a 17,0	1,0 a 2,5[f]	—	—	—	0,50
ENiCrFe-4	W86134	0,20	1,0 a 3,5	12,0	0,03	0,02	1,0	0,50	60,0 mín	—	—	—	13,0 a 17,0	1,0 a 3,5	1,0 a 3,5	—	—	0,50
ENiMo-1	W80001	0,07	1,0	4,0 a 7,0	0,04	0,03	1,0	0,50	Rem	2,5	—	—	1,0	—	26,0 a 30,0	0,60	1,0	0,50
ENiMo-3	W80004	0,12	1,0	4,0 a 7,0	0,04	0,03	1,0	0,50	Rem	2,5	—	—	2,5 a 5,5	—	23,0 a 27,0	0,60	1,0	0,50
ENiMo-7	W80665	0,02	1,75	2,0	0,04	0,03	0,2	0,50	Rem	1,0	—	—	1,0	—	26,0 a 30,0	—	1,0	0,50
ENiCrMo-1	W86007	0,05	1,0 a 2,0	18,0 a 21,0	0,04	0,03	1,0	1,5 a 2,5	Rem	2,5	—	—	21,0 a 23,5	1,75 a 2,50	5,5 a 7,5	—	1,0	0,50
ENiCrMo-2	W86002	0,05 a 0,15	1,0	17,0 a 20,0	0,04	0,03	1,0	0,50	Rem	0,50 a 2,50	—	—	20,5 a 23,0	—	8,0 a 10,0	—	0,2 a 1,0	0,50
ENiCrMo-3	W86112	0,10	1,0	7,0	0,03	0,02	0,75	0,50	55,0 mín	[e]	—	—	20,0 a 23,0	3,15 a 4,15	8,0 a 10,0	—	—	0,50
ENiCrMo-4	W80276	0,02	1,0	4,0 a 7,0	0,04	0,03	0,2	0,50	Rem	2,5	—	—	14,5 a 16,5	—	15,0 a 17,0	0,35	3,0 a 4,5	0,50
ENiCrMo-5	W80002	0,10	1,0	4,0 a 7,0	0,04	0,03	1,0	0,50	Rem	2,5	—	—	14,5 a 16,5	—	15,0 a 17,0	0,35	3,0 a 4,5	0,50

(Continúa)

Tabla 1 (Continuación)

Clasificación AWS	Número UNS[c]	Porcentajes de composición química (en peso)[a, b]																
		C	Mn	Fe	P	S	Si	Cu	Ni[d]	Co	Al	Ti	Cr	Cb + Ta	Mo	V	W	Total de otros elementos
ENiCrMo-6	W86620	0,10	2,0 a 4,0	10,0	0,03	0,02	1,0	0,50	55,0 mín	—	—	—	12,0 a 17,0	0,5 a 2,0	5,0 a 9,0	—	1,0 a 2,0	0,50
ENiCrMo-7	W86455	0,015	1,5	3,0	0,04	0,03	0,2	0,50	Rem	2,0	—	0,7	14,0 a 18,0	—	14,0 a 17,0	—	0,5	0,50
ENiCrMo-9	W86985	0,02	1,0	18,0 a 21,0	0,04	0,03	1,0	1,5 a 2,5	Rem	5,0	—	—	21,0 a 23,5	0,5	6,0 a 8,0	—	1,5	0,50

a) • El metal de soldadura se analizará para los elementos especificados en esta tabla. Si aparecen otros elementos durante el análisis, el total de los mismos no deberán exceder lo especificado en la última columna "Total de otros elementos".

b) • Los valores únicos son máximos, a menos que se indique lo contrario.

c) • Sistema numérico unificado (UNS - Unified Numbering System) de SAE-ASTM para metales y aleaciones.

d) • Incluye cobalto residual.

e) • Cuando se especifica, el cobalto es 0,12% máximo.

f) • Cuando se especifica, el tantalio es 0,30% máximo.

Requerimientos de tracción para el metal de aporte puro

TABLA 2

Clasificación AWS	Resistencia mínima a la tracción		Alargamiento mínimo, %
	psi	MPa	
ENi-7	60 000	410	20
ENiCu-7	70 000	480	30
ENiCrFe-1 ENiCrFe-2 ENiCrFe-3	80 000	550	30
ENiCrFe-4	95 000	650	20
ENiMo-1 ENiMo-3	100 000	690	25
ENiMo-7	110 000	760	25
ENiCrMo-1	90 000	620	20
ENiCrMo-2	95 000	650	20
ENiCrMo-3	110 000	760	30

(Continúa)

Tabla 2 (Continuación)

Clasificación AWS	Resistencia mínima a la tracción		Alargamiento mínimo, %
	psi	MPa	
ENiCrMo-4	100 000	690	25
ENiCrMo-5	100 000	690	25
ENiCrMo-6	90 000	620	35
ENiCrMo-7	100 000	690	25
ENiCrMo-9	90 000	620	25

AWS A5.13-80
Extracto de Norma

Electrodos y varillas para recargue por soldadura

Requerimientos de composición química para el metal de soldadura

TABLA 1

Clasificación AWS	Porcentajes máximos de composición química (en peso)[a]							
	C	Mn	Co	W	Ni	Cr	Mo	Fe
e5-A	0,7 a 1,0	0,60	—	5,0 a 7,0	—	3,0 a 5,0	4,0 a 6,0	Resto
EFe5-B	0,5 a 0,9	0,60	—	1,0 a 2,5	—	3,0 a 5,0	5,0 a 9,5	Resto
EFe5-C	0,3 a 0,5	0,60	—	1,0 a 2,5	—	3,0 a 5,0	5,0 a 9,0	Resto
EFeMn-A	0,5 a 0,9	11,0 a 16,0	—	—	2,75 a 6,0	0,50	—	Resto
EFeMn-B	0,5 a 0,9	11,0 a 16,0	—	—	—	0,50	0,6 a 1,4	Resto
EFeCr-A1	3,0 a 5,0	4,0 a 8,0	—	—	—	26,0 a 32,0	2,0	Resto
ECoCr-A	0,7 a 1,4	2,0	Resto	3,0 a 6,0	3,0	25,0 a 32,0	1,0	6,0

(Continúa)