

4.-SOLDADURA ELÉCTRICA:

La soldadura eléctrica se basa en el paso de corriente para la generación de calor, mediante la cual se funden los materiales a unir.

Existen muchos tipos de soldadura eléctrica dependiendo del modo en que se aporte este calor a los materiales, los distinguiremos en:

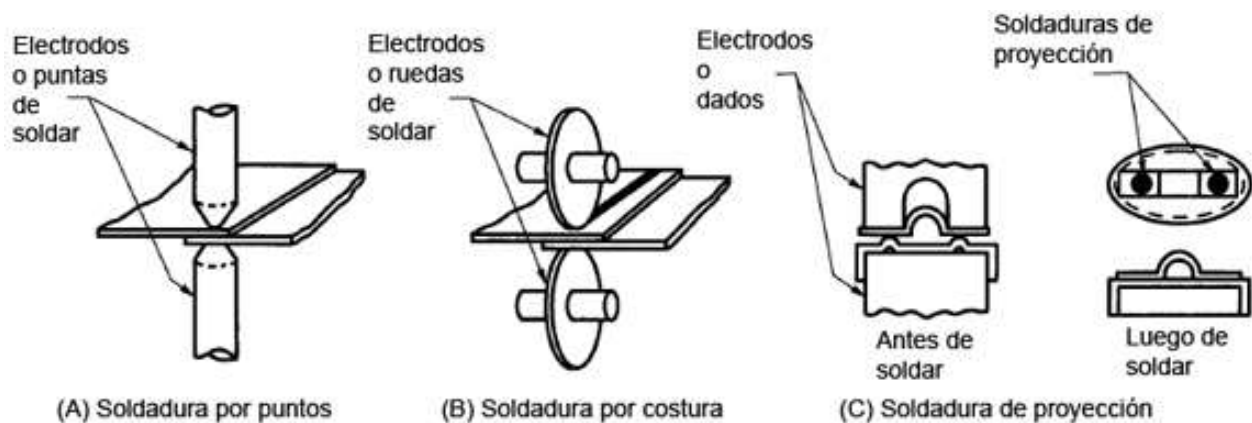
- Por resistencia
- Por arco eléctrico
- Por inducción.
- Por fusión o termoplásticos

4.1.-Soldadura por resistencia:

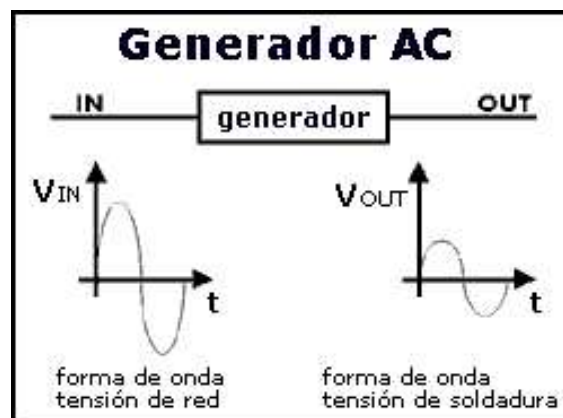
Se realiza por el calentamiento que experimentan los metales, hasta la temperatura de forja o de fusión debido a su resistencia al flujo de una corriente eléctrica, es una soldadura tipo autógena (sin aporte de material) . Los electrodos se aplican a los extremos de las piezas a soldar, se colocan juntas a presión y se hace pasar por ellas una corriente eléctrica intensa durante un instante. La zona de unión de las dos piezas, como es la que mayor resistencia eléctrica ofrece, se calienta y funde los metales, realizándose la soldadura. La cantidad de calor necesaria, por tanto, la intensidad aplicada y tiempo de presión ejercida dependerá del tipo de metal a soldar.

Los principales tipos de soldadura por resistencia son los siguientes:

- Soldadura por puntos.
- Soldadura costura o rodillo
- Soldadura de proyección.

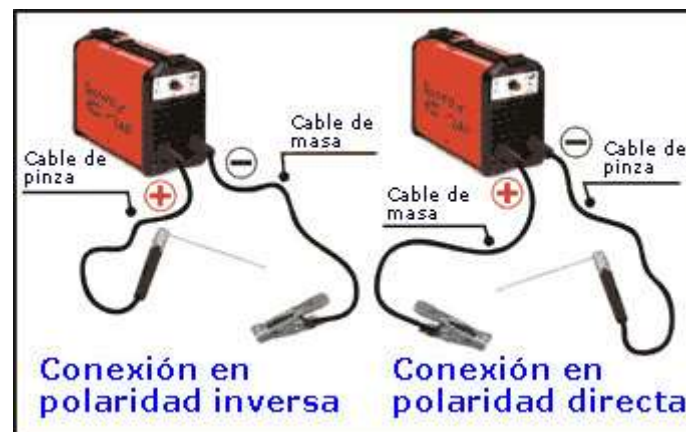
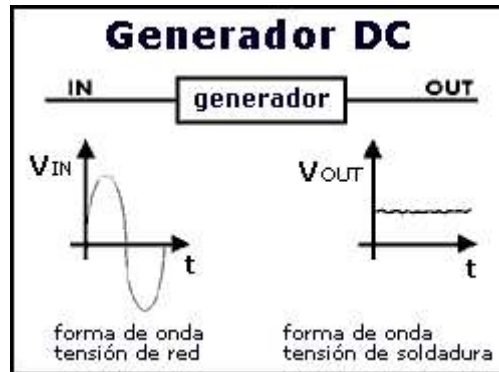


Tanto el calor como la presión son los principales factores en este tipo de soldaduras ya que se obliga a tener un buen contacto entre electrodo y pieza antes de aplicar calor, manteniendo en contacto las superficies a unir una vez alcanzada su temperatura para la correcta soldadura.

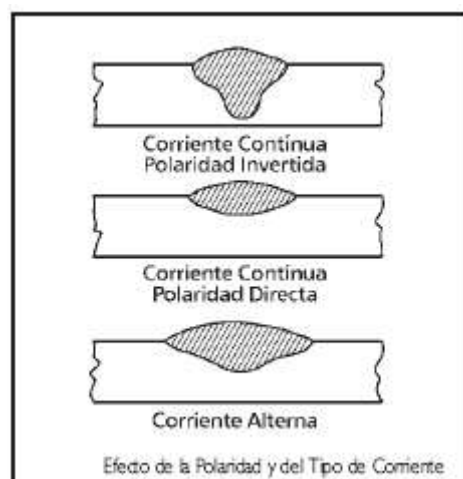


2.-Equipo de corriente continua (CC):

Son equipos que poseen un transformador y un puente rectificador de corriente de salida. Existen los transformadores cada vez mas en desuso y los inverter, con mayor electronica menos peso, mayor facilidad a la hora de soldar y un sin fin de ventajas.



En polaridad inversa se consiguen penetraciones mayores calentando menos la pieza que si lo hiciésemos en polaridad directa



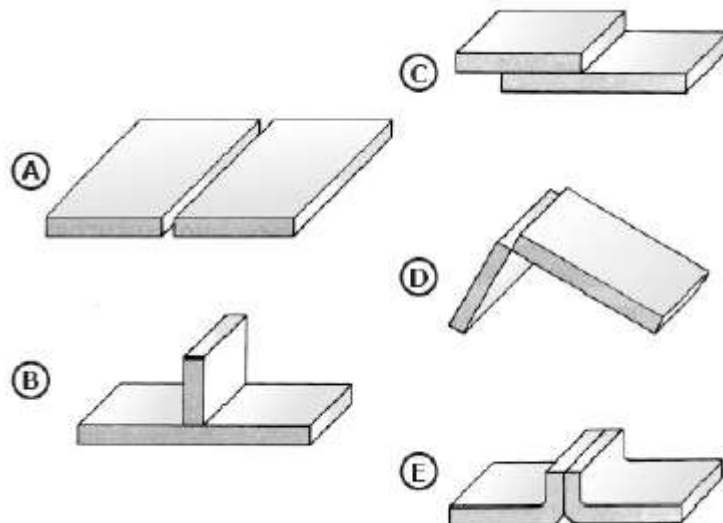
3.-Equipo de corriente alterna y continua combinadas.

Son equipos que permiten tanto soldar en CA como en CC. Validos para todo tipo de soldadura.

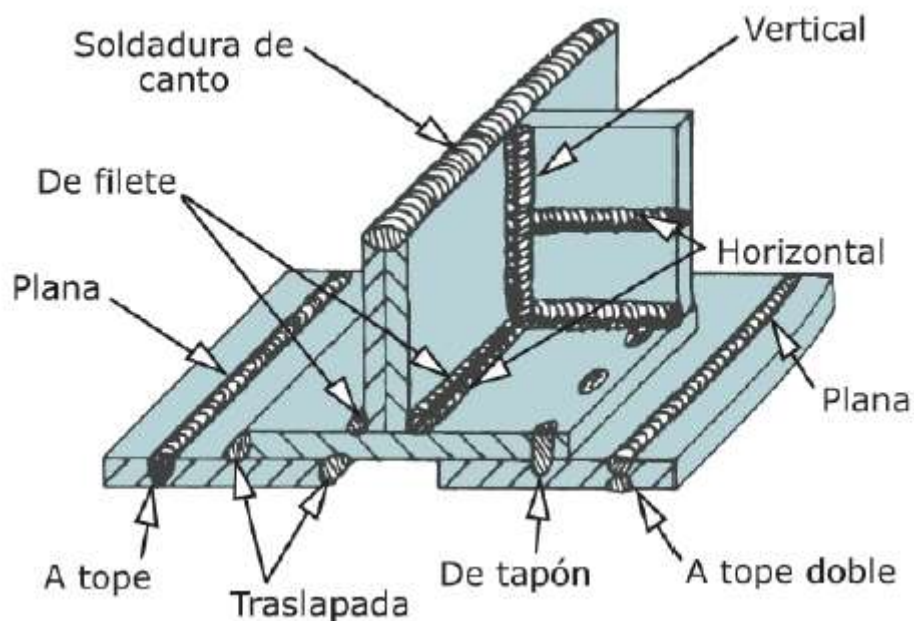
4.2.1.-Uniones , denominación, posiciones y defectos en la soldadura por arco eléctrico:

Las uniones típicas en soldadura metálica son:

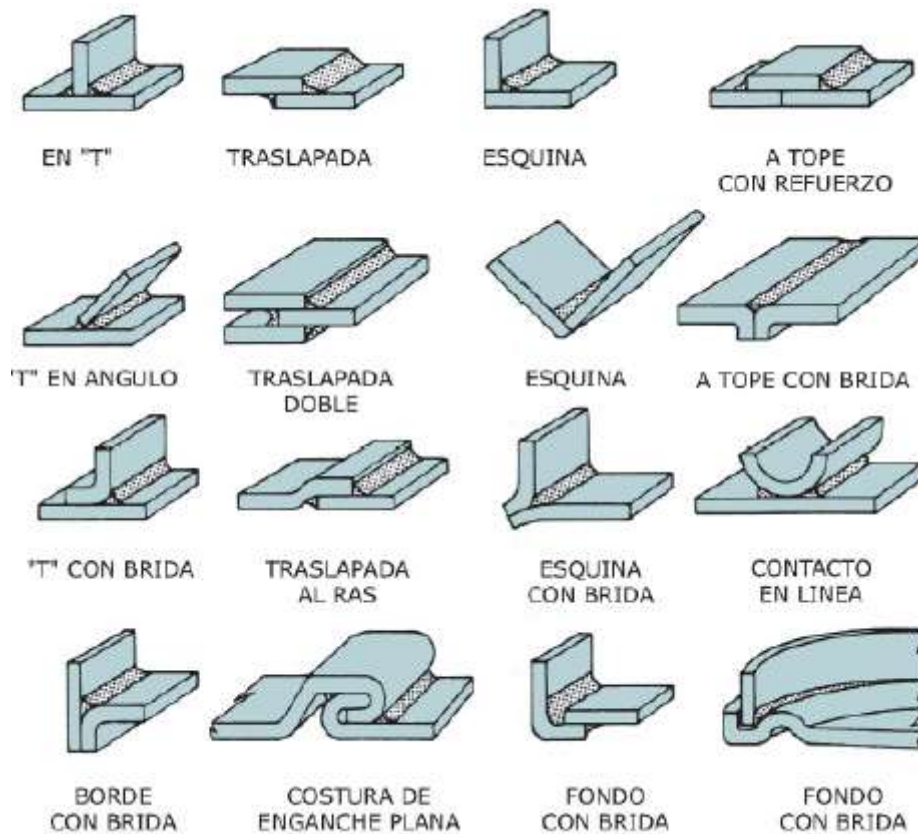
- a) Unión a tope
- b) Unión en T, o en ángulo interior o de filete
- c) De solape o traslapada.
- d) La unión de escuadra, o esquina exterior, o de ángulo exterior
- e) De canto



Además de las uniones detalladas, existen cuatro posiciones diferentes para realizarlas. Estas son la plana, la vertical (ascendente o descendente), la horizontal (o cornisa), y sobre la cabeza (o bajo techo). Estas posiciones se evidencian en la figura siguiente, en la que además se ilustran todas las variantes intermedias.

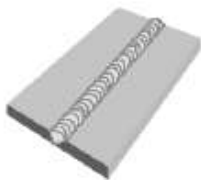


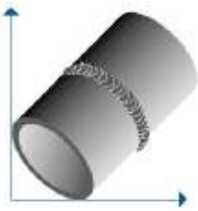
Denominación de los tipos de soldadura:



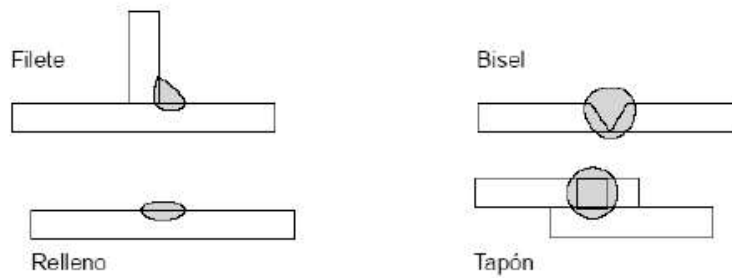
POSICIONES EN SOLDADURA

Designación de acuerdo con ANSI/AWS A 3.0-85.

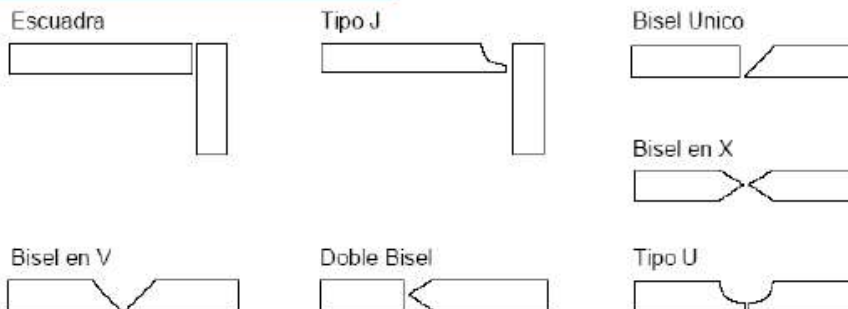
Plano	Horizontal	Vertical	Sobrecabeza
Uniones Biseladas			
			
1G	2G	3G	4G

Uniones de Tuberías			
La tubería se rota mientras se suelda		La tubería no se rota mientras se suelda	
			
1G	2G	5G	6G

Tipos de Soldadura



Variaciones de Bisel



DEFECTOS TÍPICOS EN SOLDADURAS, SUS CAUSAS Y SOLUCIONES

Mal aspecto



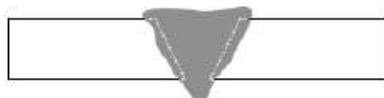
Causas probables:

1. Conexiones defectuosas.
2. Recalentamiento.
3. Electrodo inadecuado.
4. Longitud de arco y amperaje inadecuado.

Recomendaciones:

1. Usar la longitud de arco, el ángulo (posición) del electrodo y la velocidad de avance adecuados.
2. Evitar el recalentamiento.
3. Usar un vaivén uniforme.
4. Evitar usar corriente demasiado elevada.

Penetración excesiva



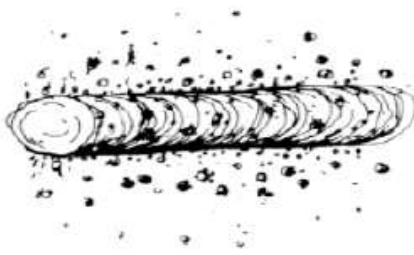
Causas probables:

1. Corriente muy elevada.
2. Posición inadecuada del electrodo.

Recomendaciones:

1. Disminuir la intensidad de la corriente.
2. Mantener el electrodo a un ángulo que facilite el llenado del bisel.

Salpicadura excesiva



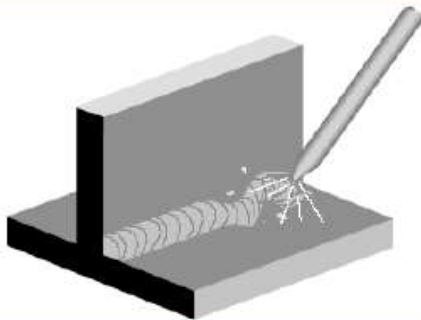
Causas probables:

1. Corriente muy elevada.
2. Arco muy largo.
3. Soplo magnético excesivo.

Recomendaciones:

1. Disminuir la intensidad de la corriente.
2. Acortar el arco.
3. Ver lo indicado para "Arco desviado o sopiado".

Arco desviado



Causas probables:

1. El campo magnético generado por la C.C. que produce la desviación del arco (soplo magnético).

Recomendaciones:

1. Usar C.A.
2. Contrarrestar la desviación del arco con la posición del electrodo, manteniéndolo a un ángulo apropiado.
3. Cambiar de lugar la grampa a tierra.
4. Usar un banco de trabajo no magnético.
5. Usar barras de bronce o cobre para separar la pieza del banco.

Soldadura porosa



Causas probables:

1. Arco corto.
2. Corriente inadecuada.
3. Electrodo defectuoso.

Recomendaciones:

1. Averiguar si hay impurezas en el metal base.
2. Usar corriente adecuada.
3. Utilizar el vaivén para evitar sopladuras.
4. Usar un electrodo adecuado para el trabajo.
5. Mantener el arco más largo.
6. Usar electrodos de bajo contenido de hidrógeno.

Soldadura agrietada



Causas probables:

1. Electrodo inadecuado.
2. Falta de relación entre tamaño de la soldadura y las piezas que se unen.
3. Mala preparación.
4. Unión muy rígida.

Recomendaciones:

1. Eliminar la rigidez de la unión con un buen proyecto de la estructura y un procedimiento de soldadura adecuado.
2. Precalentar las piezas.
3. Evitar las soldaduras con primeras pasadas.
4. Soldar desde el centro hacia los extremos o bordes.
5. Seleccionar un electrodo adecuado.
6. Adaptar el tamaño de la soldadura de las piezas.
7. Dejar en las uniones una separación adecuada y uniforme.

Penetración incompleta



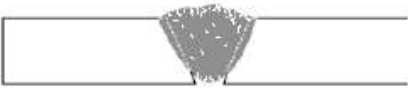
Causas probables:

1. Velocidad excesiva.
2. Electrodo de $\varnothing$ excesivo.
3. Corriente muy baja.
4. Preparación deficiente.
5. Electrodo de $\varnothing$ pequeño.

Recomendaciones:

1. Usar la corriente adecuada. Soldar con lentitud necesaria para lograr buena penetración de raíz.
2. Velocidad adecuada.
3. Calcular correctamente la penetración del electrodo.
4. Elegir un electrodo de acuerdo con el tamaño de bisel.
5. Dejar suficiente separación en el fondo del bisel.

Fusión deficiente



Causas probables:

1. Calentamiento desigual o irregular.
2. Orden (secuencia) inadecuado de operación.
3. Contracción del metal de aporte.

Recomendaciones:

1. Puntear la unión o sujetar las piezas con prensas.
2. Conformer las piezas antes de soldarlas.
3. Eliminar las tensiones resultantes de la laminación o conformación antes de soldar.
4. Distribuir la soldadura para que el calentamiento sea uniforme.
5. Inspeccionar la estructura y disponer una secuencia (orden) lógica de trabajo.

Combadura



Causas probables:

1. Diseño inadecuado.
2. Contracción del metal de aporte.
3. Sujeción defectuosa de las piezas.
4. Preparación deficiente.
5. Recalentamiento en la unión.

Recomendaciones:

1. Corregir el diseño.
2. Martillar (con martillo de peña) los bordes de la unión antes de soldar.
3. Aumentar la velocidad de trabajo (avance).
4. Evitar la separación excesiva entre piezas.
5. Fijar las piezas adecuadamente.
6. Usar un respaldo entriador.
7. Adoptar una secuencia de trabajo.
8. Usar electrodos de alta velocidad y moderada penetración.

Soldadura quebradiza

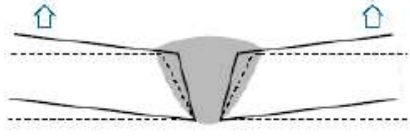


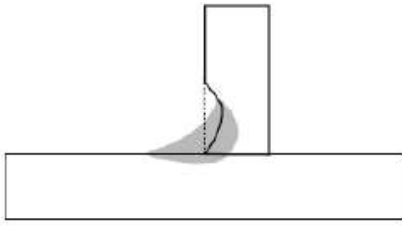
Causas probables:

1. Electrodo inadecuado.
2. Tratamiento térmico deficiente.
3. Soldadura endurecida al aire.
4. Enfriamiento brusco.

Recomendaciones:

1. Usar un electrodo con bajo contenido de hidrógeno o de tipo austenítico.
2. Calentar antes o después de soldar o en ambos casos.
3. Procurar poca penetración dirigiendo el arco hacia el cráter.
4. Asegurar un enfriamiento lento.

Distorsión (deformación)	
	Causas probables: 1. Calentamiento desigual o irregular 2. Orden (secuencia) inadecuado de operación 3. Contracción del metal de aporte Recomendaciones: 1. Puntear la unión o sujetar las piezas con prensas. 2. Conformar las piezas antes de soldarlas. 3. Eliminar las tensiones resultantes de la laminación o conformación antes de soldar. 4. Distribuir la soldadura para que el calentamiento sea uniforme. 5. Inspeccionar la estructura y disponer una secuencia (orden) lógica de trabajo.

Socavado	
	Causas probables: 1. Manejo defectuoso del electrodo. 2. Selección inadecuada del tipo de electrodo. 3. Corriente muy elevada. Recomendaciones: 1. Usar vaivén uniforme en las soldaduras de tope. 2. Usar electrodo adecuado. 3. Evitar un vaivén exagerado. 4. Usar corriente moderada y soldar lentamente. 5. Sostener el electrodo a una distancia prudente del plano vertical al soldar filetes horizontales.

4.2.2.-Factores importantes en la soldadura:

-Longitud del arco eléctrico:

Es la distancia entre la punta del electrodo y la pieza de metal a soldar. Se deberá mantener una distancia correcta y lo más constante posible. En electrodos de rutilo la distancia óptima será el diámetro del alma del electrodo. Si aumento la longitud del arco disminuyo la intensidad y aumento la tensión, por lo que baja la temperatura (y disminuirá también la penetración).

-Angulo del electrodo respecto a la pieza:

El electrodo se deberá mantener en un ángulo determinado respecto al plano de la soldadura. Este ángulo quedará definido según el tipo de costura a realizar, por las características del electrodo y por el tipo de material a soldar. Una inclinación excesiva en el sentido de avance del cordón reducirá la penetración.

-Velocidad de avance:

Para obtener una costura (cordón) pareja, se deberá procurar una velocidad de avance constante y correcta. Si la velocidad es excesiva, la costura quedará muy débil, y si es muy lenta, se cargará demasiado de temperatura y de material de aporte.

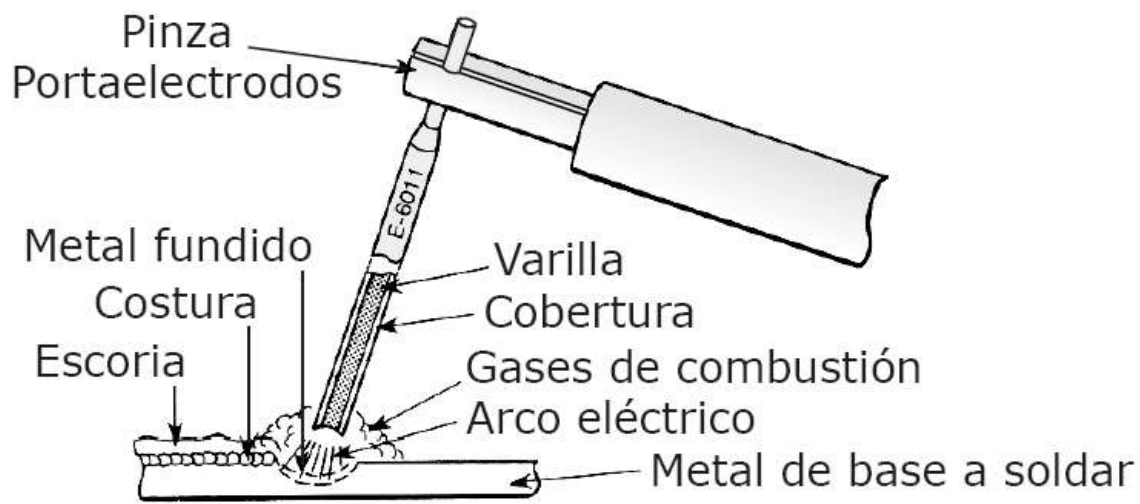
-Corriente eléctrica:

Este factor es un indicador directo de la temperatura que se producirá en el arco eléctrico. A mayor corriente, mayor temperatura. Si no es aplicada la corriente apropiada, se trabajará fuera de temperatura. Si no se alcanza la temperatura ideal (por debajo), el aspecto de la costura puede ser bueno pero con falta de penetración. En cambio, si se trabaja con una corriente demasiado elevada, provocar una temperatura superior a la óptima de trabajo, produciendo una costura deficiente con porosidad, grietas y salpicaduras de metal fundido.

4.2.3.-Soldadura por arco manual con electrodo de metal revestido (SMAW o MMA):

El proceso de soldadura por arco es uno de los más usados y abarca diversas técnicas. Una de esas técnicas es la soldadura por arco con electrodo metálico revestido o SMAW (Shielded Metal Arc Welding), también conocida como soldadura por arco con electrodo recubierto, soldadura de varilla o soldadura manual con arco metálico.

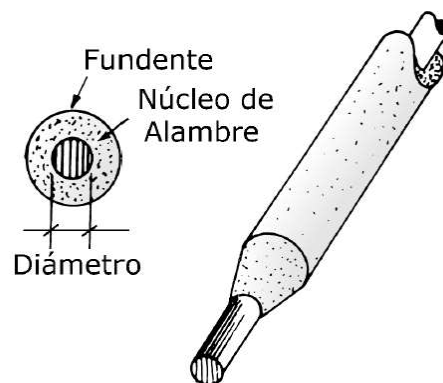
Se trata de una técnica en la cual el calor de la soldadura es generado por un arco eléctrico entre la pieza de trabajo (metal base) y un electrodo metálico consumible (metal de aporte) recubierto con materiales químicos en una composición adecuada (fundente o flux), que generan una atmosfera protectora y una capa de escoria.



Esquema de un electrodo revestido en plena tarea

4.2.3.1.- Electrodos y revestimientos en la soldadura SMAW:

Como ya se ha dicho en la soldadura manual utiliza electrodos consumibles con revestimiento.



El alambre, núcleo o alma del electrodo es en los electrodos, normalmente del mismo tipo;acero al carbono con un porcentaje de carbono del 0,12 al 0,8% máximo para la serie de electrodos más comunes.

Las diferentes características de operación de los electrodos son atribuidas al revestimiento, también llamado flux o fundente. Estos revestimientos son mezclas muy complejas de materiales que actúan durante el proceso de fusión del electrodo para cumplir una serie de funciones como son:

- Función eléctrica:

- Mejora el cebado del arco. Para ello al revestimiento se le dota de silicatos, carbonatos y óxidos de Fe y Ti que lo favorecen

- Estabilización del arco. Una vez originado el arco es necesario su estabilización para controlar el proceso de soldadura y garantizar un cordón con buen aspecto. Para ello, en la composición del revestimiento debe primar la presencia de iones positivos durante el proceso de soldadura. Esto se consigue añadiendo a la composición sales de sodio y potasio, que además cumplen otra función, como la de servir de aglutinante a los demás elementos de la composición del revestimiento.

- Función física:

- Formación de escorias. La formación de escoria en el cordón permite disminuir la velocidad de enfriamiento del baño, mejorando las propiedades mecánicas y metalúrgicas del cordón resultante. Esto se consigue porque la escoria va a flotar en la superficie del baño, quedando atrapada en su superficie.

- Gas de protección. Por otro lado, la función protectora se consigue mediante la formación de un gas protector que elimina el aire circundante y los elementos nocivos que ello conlleva como son el oxígeno presente en la atmósfera (que produce óxidos del metal), el nitrógeno (que da dureza y fragilidad al cordón) o el hidrógeno (que introduce más fragilidad a la unión).

- Versatilidad en el proceso. La presencia del revestimiento en el electrodo va a permitir ejecutar la soldadura en todas las posiciones.

- Concentración del arco. Logrando una mayor concentración del arco se consigue mejor eficiencia en la soldadura y disminuir las pérdidas de energía. Este fenómeno se consigue debido a que el alma metálica del electrodo se consume más rápidamente que el revestimiento, originándose así una especie de cráter en la punta que sirve para concentrar la salida del arco.

- Función metalúrgica:

- Mejorar las características mecánicas. Mediante el revestimiento se pueden mejorar ciertas características del cordón resultante mediante el empleo de ciertos elementos en la composición del revestimiento y de la varilla que se incorpora en el baño del cordón durante el proceso de soldadura.

- Reducir la velocidad de enfriamiento. Al permitir un enfriamiento más pausado del cordón, se evitan choques térmicos que provoquen la aparición de estructuras más frágiles. Ello se consigue porque las escorias producidas quedan flotando en el baño de fusión y forman una capa protectora del cordón, que además sirve de aislamiento térmico que reduce su velocidad de enfriamiento.

4.2.3.2.-Tipos de revestimientos:

La composición química del revestimiento influye de manera decisiva en aspectos de la soldadura, tales como, la estabilidad del arco, la profundidad de penetración, la transferencia de material, la pureza del baño, etc. A continuación se indican los principales tipos de revestimientos utilizados para los electrodos:

-Revestimientos celulósicos:

Su composición química está formada básicamente por celulosa integrada con aleaciones ferrosas (magnesio y silicio). La celulosa va a desprender gran cantidad de gases en su combustión, lo que va a reducir la producción de escorias en el cordón, a la vez que va a permitir ejecutar la soldadura en posición vertical descendente.

El baño de fusión que se obtiene con este tipo de revestimiento va a ser "caliente", con la fusión de una notable cantidad de material base, lo que provoca cordones con una gran profundidad de penetración. Ello es debido al elevado desarrollo de hidrógeno, presente en la composición química de este tipo de revestimiento.

En general, las características mecánicas de la soldadura que se obtienen con este tipo de revestimientos son óptimas, aunque el aspecto final del cordón pueda ser mejorable. Ello es debido a la casi total ausencia de la protección líquida ofrecida por este revestimiento, lo cual va a impedir una modelación óptima del baño durante su solidificación.

Para electrodos que utilicen este revestimiento, la corriente de soldadura, dada la escasa estabilidad del arco, es normalmente en corriente continua (CC) con polaridad inversa.

-Revestimiento ácido:

Su composición química se basa principalmente en óxidos de hierro, y en aleaciones ferrosas de manganeso y silicio. Va a generar un baño muy fluido, lo que no va a permitir ejecutar la soldadura en determinadas posiciones. Por otro lado, este tipo de revestimiento no va a dotar al flujo de un gran poder de limpieza en el material base, por lo que puede generar grietas en el cordón.

Su aplicación se centra fundamentalmente en aceros de bajo contenido en carbono, azufre y fósforo. La escoria que produce se elimina fácilmente y presenta una estructura esponjosa.

Las características mecánicas que va a presentar el cordón son aceptables, aunque de resiliencia baja. Este tipo de revestimiento va a garantizar una buena estabilidad del arco, lo que los hace idóneos tanto para el empleo de corriente alterna (CA) como para la corriente continua (CC).

-Revestimiento de rutilo:

En su composición química predomina un mineral denominado rutilo, compuesto en un 95% de bióxido de titanio, que ofrece mucha estabilidad y garantiza una óptima estabilidad del arco y una elevada fluidez del baño, lo que se traduce en un buen aspecto final del cordón de soldadura.

El revestimiento de rutilo, en cualquier caso, va a garantizar una fusión dulce, de fácil realización, con formación abundante de escoria de una consistencia viscosa y de fácil eliminación, lo cual va a permitir un buen deslizamiento, sobre todo en posición plana. Se aconseja su uso para aquellos casos donde el material base no presente muchas impurezas, debido a que estos revestimientos no tienen efectos limpiadores. Además, no secan bien y por lo tanto pueden desarrollar mucho hidrógeno ocluido en el cordón de soldadura.

Para aplicaciones donde se requiera mejorar el rendimiento, manteniendo la estabilidad del arco, se pueden emplear electrodos donde se combina el revestimiento de rutilo con otros componentes, como la celulosa (electrodos rutilo-celulósicos) o la fluorita (electrodos rutilo-básicos).

Debido a la gran estabilidad del arco que presenta este tipo de revestimiento en los electrodos, se hace posible su empleo tanto con corriente alterna (CA) como con corriente continua (CC) en polaridad directa o inversa. Tiene gran aplicación cuando los espesores a soldar son reducidos.

-Revestimiento básico:

La composición química de este revestimiento está formada básicamente por óxidos de hierro, aleaciones ferrosas y por carbonatos de calcio y magnesio a los cuales, añadiendo fluoruro de calcio se obtiene la fluorita, que es un mineral muy apto para facilitar la fusión del baño.

Este tipo de revestimiento posee una gran capacidad de depuración del metal base, con lo que se obtienen soldaduras de calidad y de buenas propiedades mecánicas. Los electrodos con este tipo de revestimiento soportan elevadas temperaturas de secado, y por lo tanto el baño no se contamina con hidrógeno.

Tienen una escoria poco abundante, aunque muy densa y de difícil eliminación. Los electrodos con este tipo de revestimientos son aptos para ejecutar soldaduras en posición, verticales, por encima de la cabeza, etc.

Por otro lado, la fluorita hace que el arco sea muy inestable, con un baño menos fluido, que da lugar a frecuentes cortocircuitos debidos a una transferencia del material de aporte a base de grandes gotas. Sin embargo, el arco debe mantenerse muy corto debido a la escasa volatilidad de este revestimiento. En definitiva, todo esto hace necesario que el soldador que haga uso de este revestimiento para los electrodos de soldadura tenga mucha experiencia y buena pericia en el proceso.

Para electrodos con este tipo de revestimiento se recomienda el empleo de generadores de corriente continua (CC) en polaridad inversa. Los electrodos básicos se distinguen por la gran cantidad de material depositado, y son buenos para la soldadura de grandes espesores.

Los electrodos con revestimiento básico son muy higroscópicos, por lo que se recomienda mantenerlos en ambiente seco y en recipientes cerrados.

A continuación se muestra una tabla resumen con los distintos tipos de revestimientos y sus componentes principales:

Componente	Función	Tipo de Revestimiento			
		Celulósico	Ácido	Rutilo	Básico
Celulosa	Gas Protector	25-40%	0-5%	2-12%	0%
Carbonato Cálcico			0-5%	0-5%	15-30%
Esparto de Flúor	Formador de Escoria	10-20%			15-30%
Rutilo TiO_2			0-5%	30-55%	15-30%
Feldespató			5-20%	0-20%	0-5%
Arcilla			0-5%	0-10%	
Sílice			5-20%		
Óxido de Mn	Desoxidante	5-10%	0-20%		
Óxido de Fe			15-45%		
FerroManganeso			5-20%	5-10%	2-6%
Ferrosilicio			0-5%	5-10%	5-10%
Silicato Sódico			5-15%	5-10%	0-5%
Silicato Potásico	Estabilizador		0-5%	5-15%	5-10%

En esta otra tabla que se adjunta, se puede observar el efecto protector de cada tipo de electrodo. En ella se indica el porcentaje aproximado de nitrógeno absorbido por la soldadura y el volumen de hidrógeno absorbido por 100 gramos de metal depositado.

Así mismo, puede observarse que el revestimiento básico es el que proporciona la mejor protección y, por tanto, dará soldaduras de mayor calidad.

Principales tipos de revestimiento de los electrodos		
Tipo de revestimiento	Porcentaje de nitrógeno	Volumen de H por 100 gr/cm^3
Ácido	0.034	9.0
Básico	0.015	2.5
Celulósico	0.028	15.0
Oxidante	0.035	1.5
Rutilo	0.025	12.0

A continuación se resumen en la tabla siguiente las características principales de los diferentes tipos de electrodos:

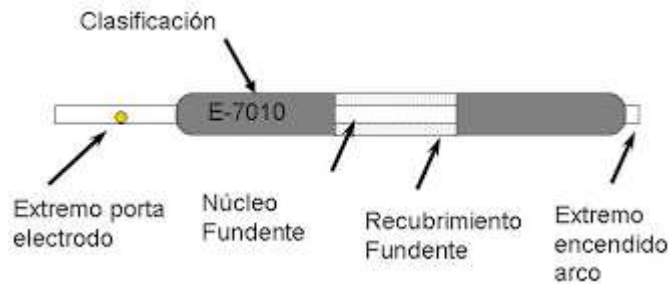
Tipo de electrodo	Ventajas	Inconvenientes	Aplicaciones
Ácido	-bajo coste -arco estable -corriente CA y CC -escoria fácil de eliminar -elevada desoxidación -fácilmente conservables	-baño fluido -escaso efecto de limpieza -elevado aporte de hidrógeno -escoria no se puede refundir	-soldadura en horizontal -aceros bajo en carbono y con poca presencia de impurezas -soldaduras económicas y con características mecánicas aceptables (buena resistencia, pero con riesgo de grietas)
Rutilo	-bajo coste -arco estable -fácil cebado -corriente CA y CC -cordón de estética mejor -fácil conservación	-baño fluido -escaso efecto de limpieza -elevado aporte de hidrógeno	-soldadura en horizontal -soldadura en vertical y en esquina para pequeños espesores -aceros bajo en carbono y con poca presencia de impurezas -soldaduras de estética buena y de características mecánicas aceptables (buena resistencia, pero con riesgo de grietas)
Celulósico	-elevada penetración -elevada manejabilidad -escoria reducida	-son necesarios generadores de CC con elevada tensión de vacío -elevado aporte de hidrógeno	-soldadura en todas las posiciones, incluida la vertical descendente -soldaduras en tubos o donde no sea posible el cordón al reverso -soldaduras en la que el acceso del electrodo resulta crítico -aceros bajos en carbono con escasa presencia de impurezas
Básicos	-óptima limpieza del material -aporte de hidrógeno muy reducido -baño frío	-arco poco estable -escoria que no se puede refundir y de difícil eliminación -arco corto y difícil de trabajar -cebado difícil -generadores de CC -de difícil conservación	-soldaduras en todas las posiciones, incluso con grandes espesores -elevadas velocidades de depósito -soldaduras de elevada calidad mecánica, incluso con materiales que contengan impurezas

Por último, se detalla en la siguiente tabla los valores medios de la corriente de soldadura (A), según el tipo y diámetro del electrodo que se utilice:

Valores medio de la Corriente (A)							
Diámetro electrodo (mm)	1,60	2,00	2,50	3,25	4,00	5,00	6,00
Electrodo Ácido	-	-	-	100-150	120-190	170-270	240-380
Electrodo Rutilo	30-55	40-70	50-100	80-130	120-170	150-250	220-370
Electrodo Celulósico	20-45	30-60	40-80	70-120	100-150	140-230	200-300
Electrodo Básico	50-75	60-100	70-120	110-150	140-200	190-260	250-320

Otros diámetros para electrodos, además de los anteriores de la tabla, son de 8, 10 y 12 mm. En todo caso, la elección del diámetro de los electrodos dependerá del espesor del cordón de soldadura que se requiera depositar, siendo la intensidad de corriente necesaria función de este diámetro.

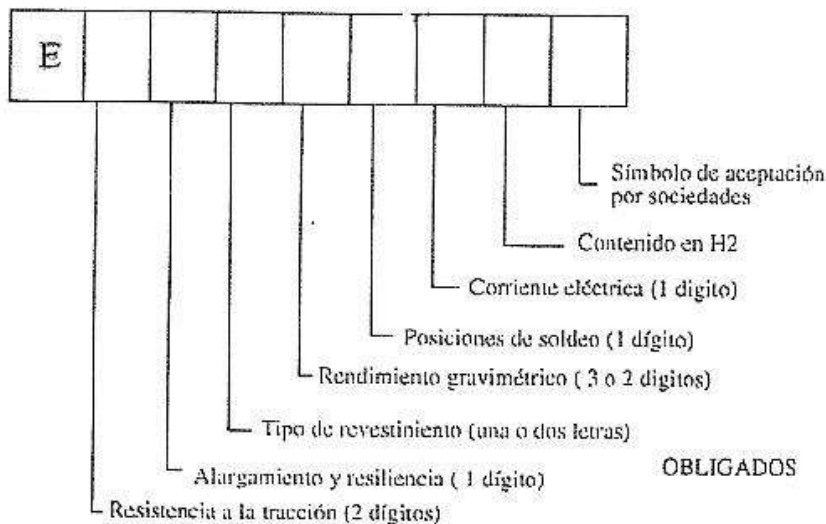
4.2.3.3.- Normalización española, europea e americana (UNE, EN y AWS) de los electrodos en soldadura SMAW:



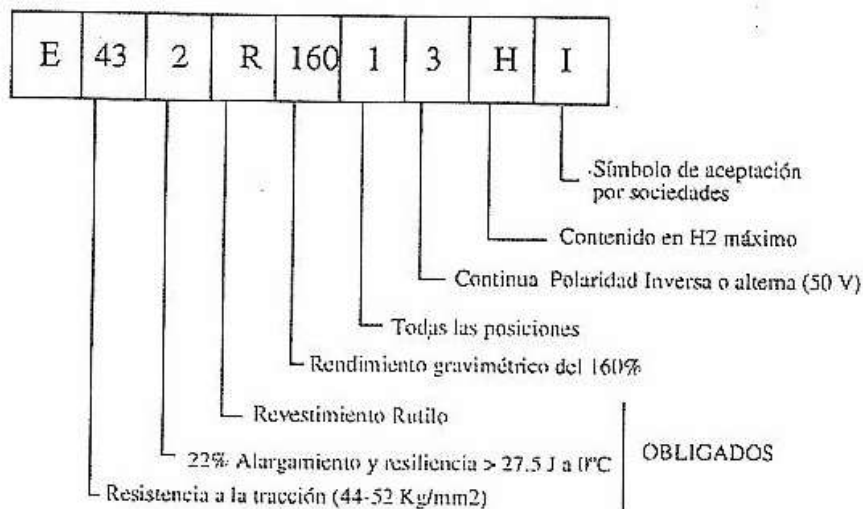
A continuación se expone la forma de identificación de los electrodos revestidos empleados para soldadura por arco manual según la normativa EN y AWS que son las mas empleadas, también existe la española o UNE pero no es tan utilizada.

● UNE (Una Norma Española):

Para el caso de soldadura de aceros, un electrodo en España se normaliza según la UNE 14003: Electrodos para soldadura por arco manual de aceros al carbono de resistencia normal y de aceros de baja aleación y resistencia entre 50 y 60 kg/mm²:

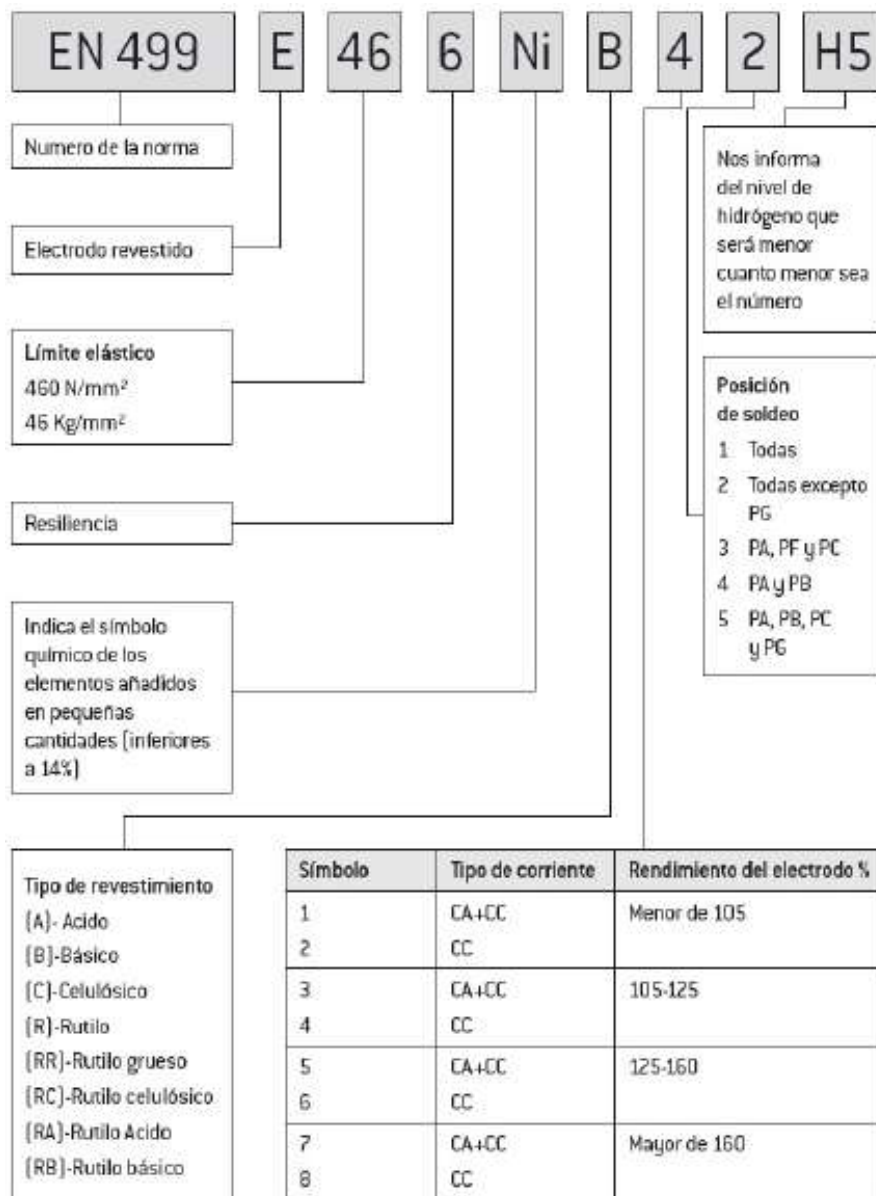


Ejemplo:



● EN (Europea)

No es tan utilizada como la inglesa, pero si en algún momento necesitasemos identificar los electrodos por la normativa europea, esta estará designado por le EN 499 de la siguiente manera:



● AWS (American Welding Society)

La AWS clasifica los electrodos dependiendo del tipo del material se desee soldar.

- Soldadura de aceros al carbono:

Se encuentra en el AWS A5.1 y se refiere a los electrodos revestidos para soldadura de aceros al carbono, que es la que utilizaremos más habitualmente.

En la especificación de electrodos para soldar hierro dulce, la AWS ha adoptado una serie de 4 ó 5 números siguiendo la letra E. esta letra E significa que el electrodo es para soldadura por arco (electrodo revestido).

E XXXYY

Nota:

Podemos encontrarnos también después de esta nomenclatura lo siguiente (1 HZR), pero es opcional, y significa:

E XXXYY 1HZR

-1: Designa que el electrodo cumple con los requisitos de impacto mejorados y de ductilidad mejorada.

-HZ: Indica que el electrodo cumple los requisitos de la prueba de hidrógeno difusible para niveles de "Z" (número atómico) de 4,8 ó 16 ml de hidrogeno por 100 gr de metal depositado (solo para electrodos de bajo hidrógeno)

-R: Indica que el electrodo cumple los requisitos de la prueba de absorción de humedad a 80°F y 80% de HR (solo para electrodos de bajo hidrógeno)

Las 2 primeras cifras de un número de 4 , ó las 3 primeras de un número de 5 significa la resistencia mínima a la tracción en miles de libras por pulgada cuadrada del metal depositado. La penúltima cifra significa la posición en la que se puede aplicar (plana, horizontal, vertical y sobre cabeza). La última cifra significa el tipo de corriente (alterna o continua), el tipo de escoria, tipo de arco, penetración y presencia de elementos químicos.

E XXXYY

CIFRA	SIGNIFICADO	EJEMPLO
Las 2 ó 3 primeras	Mínima resistencia a la tracción (Esfuerzos relevados)	E 60 XX = 60000 lbs/pulg2 (Mínimo) E 110 XX = 110000 lbs/pulg2 (Mínimo)
Penúltima	Posición de Soldadura	E XX1X = Toda posición E XX2X = Plana Horizontal E XX3X = Plana
Ultima	Tipo de Corriente Tipo de escoria Tipo de arco Penetración Presencia de elementos químicos en el revestimiento.	Ver Tabla 2

La siguiente tabla 2 clasifica la ultima cifra en la clasificación AWS de electrodos:

ULTIMA CIFRA	E-XXX0	E-XXX1	E-XXX2	E-XXX3	E-XXX4	E-XXX5	E-XXX6	E-XXX7	E-XXX8
Tipo de Corriente	a	CA o CD + Polaridad invertida	CA o CD -- Polaridad Directa Preferente	CA o CD -- Polaridad Directa Preferente	CA o CD + Polaridad Invertida	CD + Polaridad Invertida	CA o CD + Polaridad Invertida	CD + Polaridad Invertida	CA o CD + Polaridad Invertida
Revestimiento Escoria	b	Celulosa-Potasio Orgánico	Titanio Sodio Rutilo	Titanio Potasio Rutilo	Titanio Polvo de Hierro Rutilo	Titanio Sodio BH Rutilo	Titanio Potasio BH Rutilo	Polvo de Hierro Mineral	Titanio Potasio Polvo de Hierro BH Rutilo
Tipo de Arco	Penetrante	Penetrante	Mediano	Suave	Suave	Mediano	Mediano	Suave	Mediano
Penetración	c	Profunda	Mediana	Ligera	Ligera	Mediana	Mediana	Mediana	Mediana
Polvo de Hierro en el revestimiento	0 - 10%	NO	0-10%	0-10%	30-50%	NO	NO	50%	30-50%

Notas:

- (a) E-6010-Corriente directa polaridad invertida
E6020- AC o DC
- (b) E6010- Orgánica (Celulosa Sodio)
E-6020- mineral (óxido de Hierro)
- (c) E-6010- Penetración profunda
E-6020- Penetración mediana
- BH Bajo hidrógeno
- Rutilo Oxido natural de hierro.

-Aceros de baja aleación:

La especificación AWS A5.5., que trae los requisitos de los electrodos para soldadura de aceros de baja aleación utiliza la misma designación de la AWS A5.1., con excepción de las designaciones opcionales. En su lugar, utiliza sufijos que constan de una letra o de una letra y un número, p(por ejemplo A1, B1, B2, C1, G, M, etc.) los cuales indican la composición química.

-Aceros Inoxidables:

La especificación AWS A5.4., que trata de los electrodos para soldadura de aceros inoxidables trabaja con la siguiente designación:

E XXX N

donde:

E: Indica electrodo para soldadura de arco;

XXX: Indica la composición química del deposito de soldadura puro, la cual se basa en la designación AISI;

N: Indica el tipo de corriente con la que puede operarse el electrodo.

-Soldadura de hierro fundido:

La especificación AWS A 5.15., de electrodos para soldadura de hierro fundido utiliza el prefijo E, seguido de los elementos considerados significativos y finalmente las letras CI que indican que el electrodo es para hierro fundido.

Ejemplos: Eni-CI, EniFe-CI, etc.

-Soldadura mediante arco sumergido para aceros al carbono:

La especificación AWS A5.17., de materiales de aporte por proceso de arco sumergido para aceros al carbono, identifica los electrodos con el prefijo E (electrodo), seguido de la letra que indica el contenido de manganeso y que puede ser: L(bajo), M(medio), ó H(alto) . A continuación sigue uno o dos dígitos que dan el contenido nominal de carbono en centésima de porcentaje.

Finalmente, algunos electrodos traerán una letra K, para significar que son aceros calmados. Las propiedades mecánicas del depósito dependen del fundente que se use con cada electrodo.

La denominación completa fundente-electrodo puede ser por ejemplo:

F6A2 EM12K, la cual significa:

F: Fundente;

6: 60.000 Psi de resistencia a la tracción mínima;

A: Propiedades mecánicas obtenidas sin tratamiento post soldadura (as welded);

2: Resistencia al impacto de 27 mínimo a 20°F;

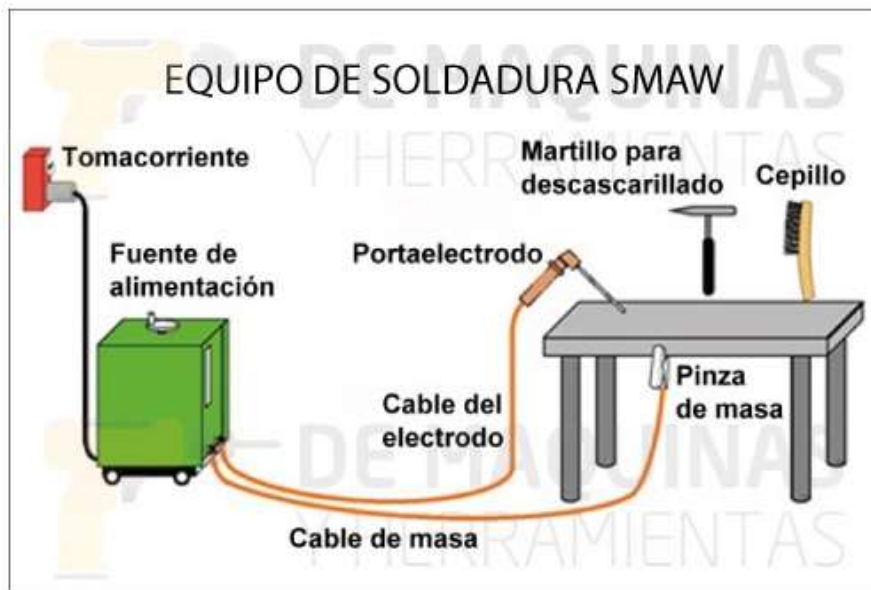
E: Electrodo;

M: Contenido medio de manganeso;

12: 0.12% de carbono (nominal);

K: Acero calmado.

4.2.3.4.-Equipo de soldadura SMAW:



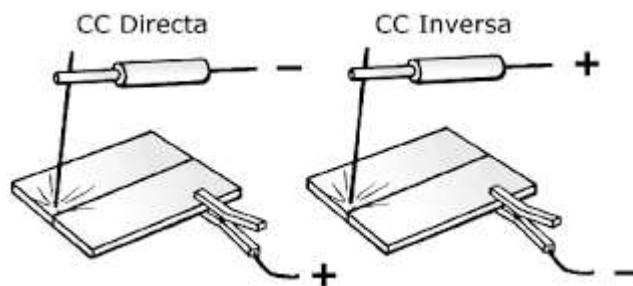
El equipo consta de:

-Fuente de alimentación:

Dependiendo del tipo de electrodo y del tipo y la posición de la pieza de trabajo, la fuente puede ser de corriente continua o corriente alterna. Si es de corriente continua, y nuevamente en función del tipo de electrodo y la naturaleza de la soldadura que se desea obtener, la conexión del electrodo a la fuente se puede efectuar de las siguientes maneras:

-Polaridad directa (DCEN): en este caso se habla de un electrodo negativo, y se utiliza cuando se desea lograr altas tasas de deposición con una baja penetración.

-Polaridad invertida (DCEP) en este caso se habla de un electrodo positivo. Se utiliza cuando se desea lograr una penetración profunda.



-Portaelectrodo:

Se conecta al cable de soldadura y conduce la corriente de soldadura hasta el electrodo. El mango aislado se utiliza para guiar el electrodo sobre la junta de soldadura y alimentar el charco a medida que se consume. Los portaelectrodos están disponibles en diversos tamaños y se clasifican según su capacidad para transportar la corriente.

-Cable de electrodo y cable de masa:

Ambos son una parte importante del circuito de soldadura. Deben ser sumamente flexibles y tener un aislamiento resistente al calor. Las conexiones al portaelectrodo, la pinza de masa y los terminales de la fuente de alimentación deben estar perfectamente efectuadas para garantizar una baja resistencia eléctrica. El área de la sección transversal de estos cables debe ser de tamaño suficiente para transportar la corriente de la soldadura con un mínimo de caída de voltaje. Cuanto mayor sea la longitud del cable, mayor debe ser su diámetro, a fin de reducir la resistencia y la caída de voltaje.

-Pinza de masa:

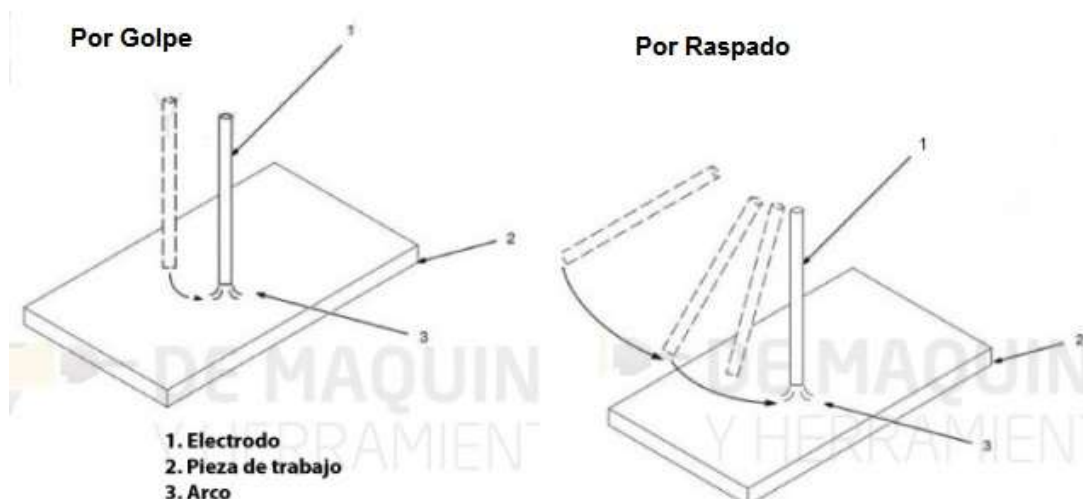
Se utiliza para conectar el cable de masa a la pieza de trabajo. Se puede conectar directamente a la pieza, a la mesa o al portapieza. Como parte del circuito de soldadura, la pinza de masa debe ser capaz de transportar la corriente de soldadura sin riesgo de sobrecalentamiento debido a la resistencia eléctrica.

4.2.3.5.-Pasos para efectuar una soldadura SMAW:

Una vez elegido el electrodo revestido a utilizar, que dependerá del tipo y espesor de la pieza de trabajo, así como de la posición de soldadura, conexión en directa o inversa y las características de la soldadura que deseamos obtener, tenemos que limpiar perfectamente la pieza de trabajo mediante un cepillo de acero, eliminando las partículas de suciedad, grasa, pintura u óxido. Con la pieza limpia y las conexiones correctamente efectuadas, seguimos una serie de pasos. Los pasos son los siguientes:

Paso 1: Cebado del arco:

El primer paso para realizar la soldadura SMAW es la operación de establecer o encender el arco, conocida como "cebado". El principio del cebado se basa en el choque de la punta del electrodo con el metal base o pieza de trabajo. Este choque puede realizarse de dos maneras: por golpe o por raspado. En el cebado mediante golpe el electrodo se golpea con el metal base y se levanta hasta crear el arco, y en el cebado mediante raspado el electrodo se desliza por el metal base con una leve inclinación como si de encender un fósforo se tratase.



En los dos casos, el arco debe formarse y permanecer estable. Cuando se logra la estabilidad, ya está cebado y puede comenzarse la soldadura.

Paso 2:

Para trazar el cordón de soldadura, dirigimos el electrodo al punto de inicio de la soldadura, tratando de que la distancia entre el electrodo y la pieza sea constante y de aproximadamente el diámetro del electrodo. La elección de cordones rectos u oscilantes dependerá de las exigencias del procedimiento y del tipo de cordón.

Paso 3:

La longitud del arco debe ser siempre lo mas constante posible (entre 2 a 4 mm de longitud, dependiendo del espesor del electrodo) acercando uniformemente el electrodo, a medida que se va consumiendo, hacia la pieza y a lo largo de la junta en la dirección de la soldadura.

Paso 4:

Si queremos reforzar la soldadura, debemos depositar varios cordones paralelos, separados entre si por 8-10mm, luego retirar la escoria y depositar una nueva pasada entre los cordones.

Paso 5:

El avance del electrodo siempre debe ser uniforme, ya que de esto depende el buen aspecto y la calidad de la soldadura, así como la distribución uniforme del calor. Para obtener una buena soldadura es necesario que el arco esté sucesivamente en contacto a lo largo de la línea de soldadura, ya que si se desplaza de modo irregular o demasiado rápido se obtendrán partes porosas con penetración escasa o nula. La penetración depende también de la intensidad de la corriente empleada: si esta es baja, la pieza no se calienta lo suficiente; si es demasiado elevada, se forma un cráter excesivamente grande con riesgo de quemar o perforar la pieza.

Paso 6:

Cuando terminamos de soldar o tenemos que reemplazar el electrodo consumido, nunca debemos interrumpir el arco de manera brusca, ya que se podrían producir defectos en la soldadura. Existen varias maneras de interrumpir correctamente el arco.

- Acortar el arco de forma rápida y luego apartar el electrodo lateralmente fuera del cráter. Esta técnica se emplea cuando se va a reemplazar el electrodo ya consumido para continuar la soldadura desde el cráter

- Detener el movimiento de avance del electrodo, permitir el llenado del cráter y luego retirar el electrodos

- Dar al electrodo una inclinación contraria a la que llevaba y retroceder unos 10-12mm, sobre el mismo cordón, antes de interrumpir el arco; de esta forma se rellena el cráter.

Paso 7:

Cuando reemplazamos el electrodo debemos observar siempre los siguientes pasos:

- Interrupción del arco

- descascarillado o remoción de la escoria con un martillo apropiado.

- Limpieza con un cepillo de acero para permitir la correcta deposición del cordón o soldadura.

- Reemplazo del electrodo.

- Nueva operación de cebado del arco..... y así sucesivamente.

4.2.4.-Soldadura por arco eléctrico bajo gas protector y electrodo consumible (MIG MAG)

Es la soldadura de fusión por arco eléctrico, de alimentación de hilo automática y protección por gas inerte (MIG) o activo (MAG). Su uso se da en soldaduras de alta producción.

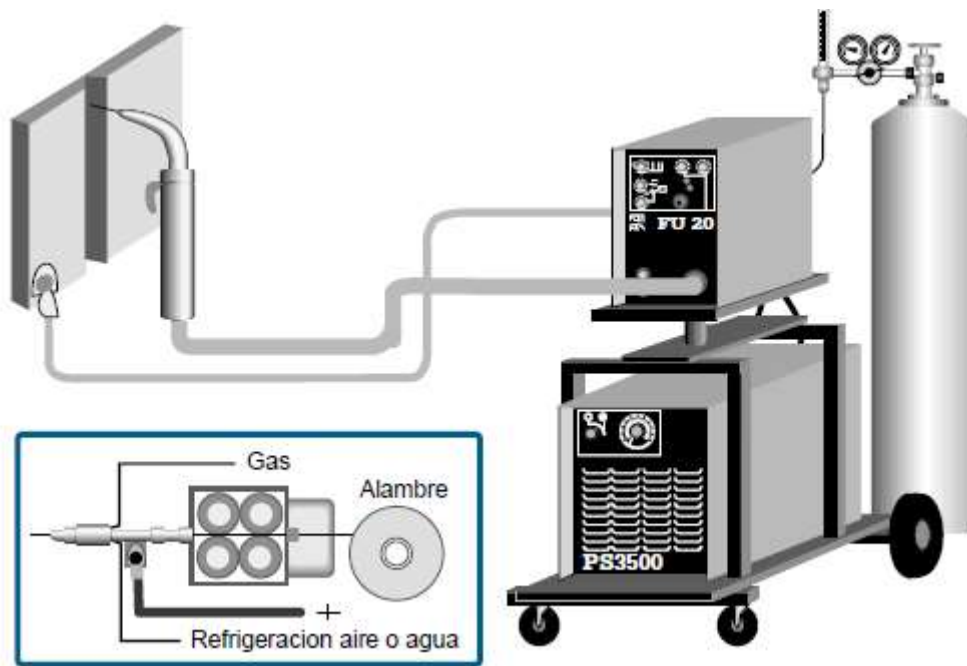
MIG: Metal Inert Gas

(Gas de protección Inerte: Argón, Helio o mezcla de Argón con Helio)

MAG: Metal Active Gas

(Gas de protección Activo: Dióxido de Carbono, Oxígeno, Hidrógeno, Nitrógeno y mezclas entre estos gases inertes).

4.2.4.1.- Equipo de soldadura básico en soldadura MIG / MAG:



Este equipo básico esta formado por:

- Equipo para soldadura por arco con sus cables.
- Suministro de gas inerte/activo para la protección de la soldadura con sus respectivas mangueras.
- Mecanismo de alimentación automática de electrodo/hilo continuo.
- Electrodo/hilo continuo.
- Pistola para soldadura, con sus mangueras y cables.
- Opcional: equipo de refrigeración por agua

4.2.4.2.-Tipos de corriente en soldadura MIG/MAG:

En la soldadura MIG / MAG se suelda en inversa DC +
(Transferencia cortocircuito para intensidades bajas y transferencia en spray para intensidades elevadas)

Raras veces se trabaja en DC- directa. Transferencia globular de calidad baja.

4.2.4.3.-Clasificación del electrodo en soldadura MIG/MAG bajo normativa AWS :

La norma inglesa AWS, recoge los tipos de electrodos en la AWS A5.18, la cual trae los requisitos del material de aporte para procesos con protección gaseosa (MIG/MAG, TIG y plasma) denomina los electrodos de la siguiente forma:

ER70-S6

donde:

E: Indica electrodo para soldadura por arco (para MIG/MAG);

R: Indica varilla

70: La resistencia a la tracción nominal (en ksi). Pueden ser 3 cifras.

S: Indica el electrodo sólido; para tubular seria T

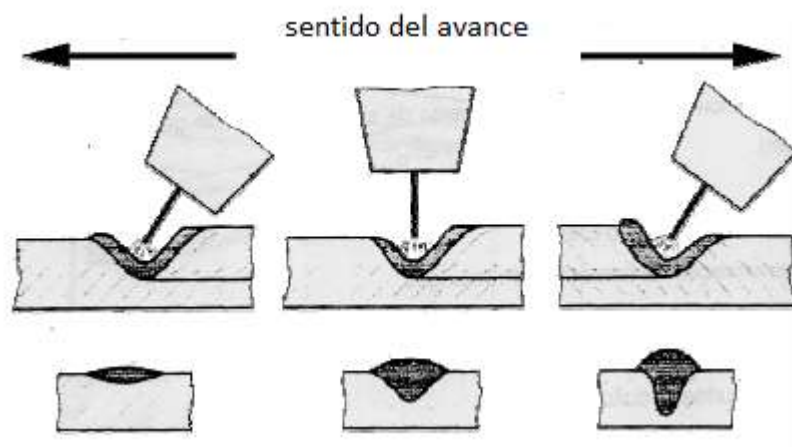
6: Es un número que indica la composición química del electrodo;

Los diámetros habituales son: 0,6 – 0,8 – 1 – 1,2 – 1,6

4.2.4.4.-Caudal del gas protector:

El caudal será aprox. 10 veces el diametro del hilo (0,8=8 litros/min)

4.2.4.5.-Inclinación de la boquilla:



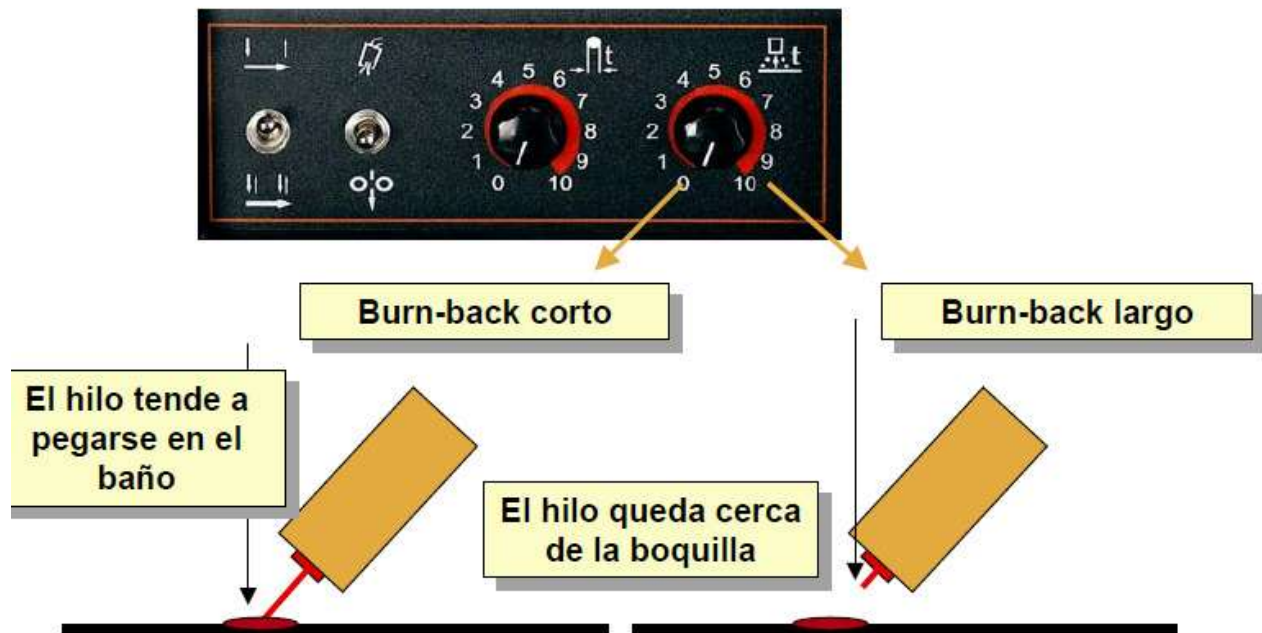
4.2.4.6.- Parámetros principales de regulación:

-Tensión y velocidad de hilo. Serán acordes al espesor y tamaño de pieza. A mayor tensión, mayor velocidad de hilo necesitaremos.

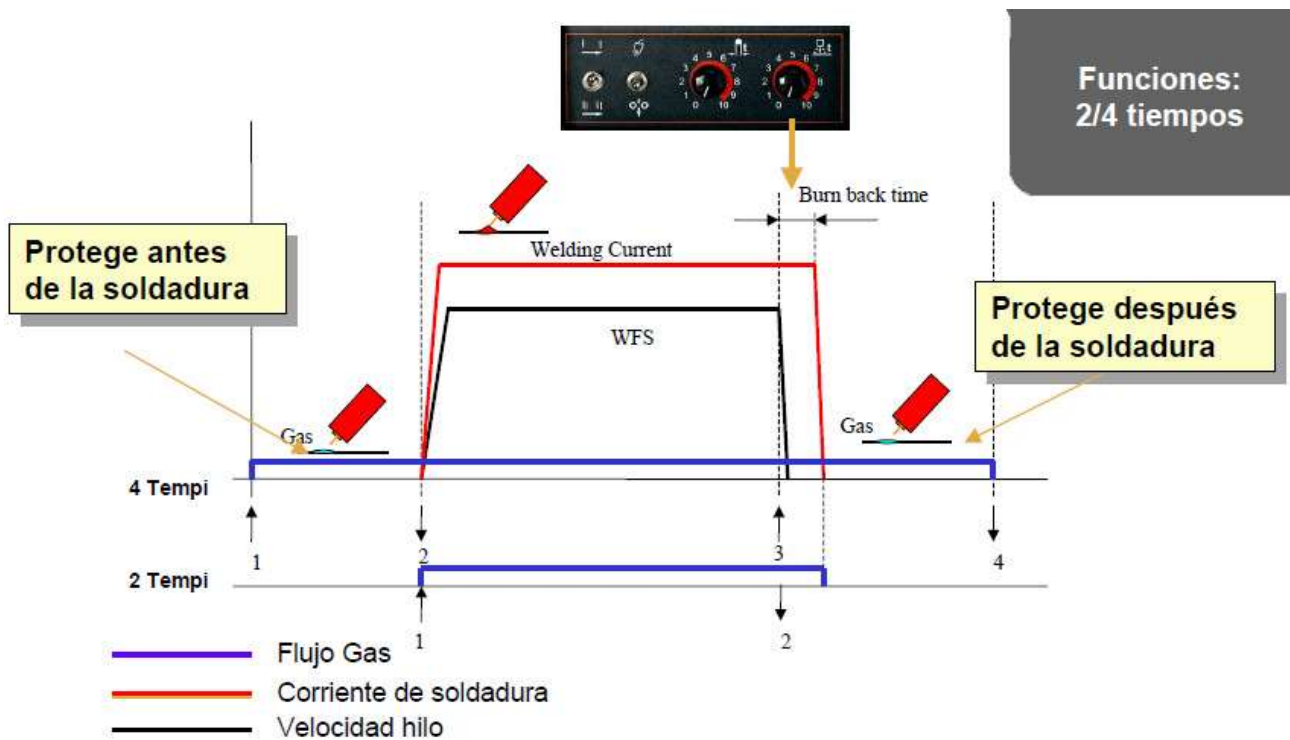
-Burn-back: Una vez terminado el proceso de soldeo, hay un tiempo extra de intensidad sin avance de hilo. Evita que se quede el hilo pegado a la pieza.

-2 tiempos-4 tiempos: en 2 tiempos está activo todo el proceso mientras se mantiene apretado el gatillo. En 4 tiempos controlamos los tiempos de pregas y postgas cuando tenemos el gatillo presionado, y está activo todo el proceso cuando dejamos de presionar el gatillo.

BURN-BACK



2 TIEMPOS 4 TIEMPOS:

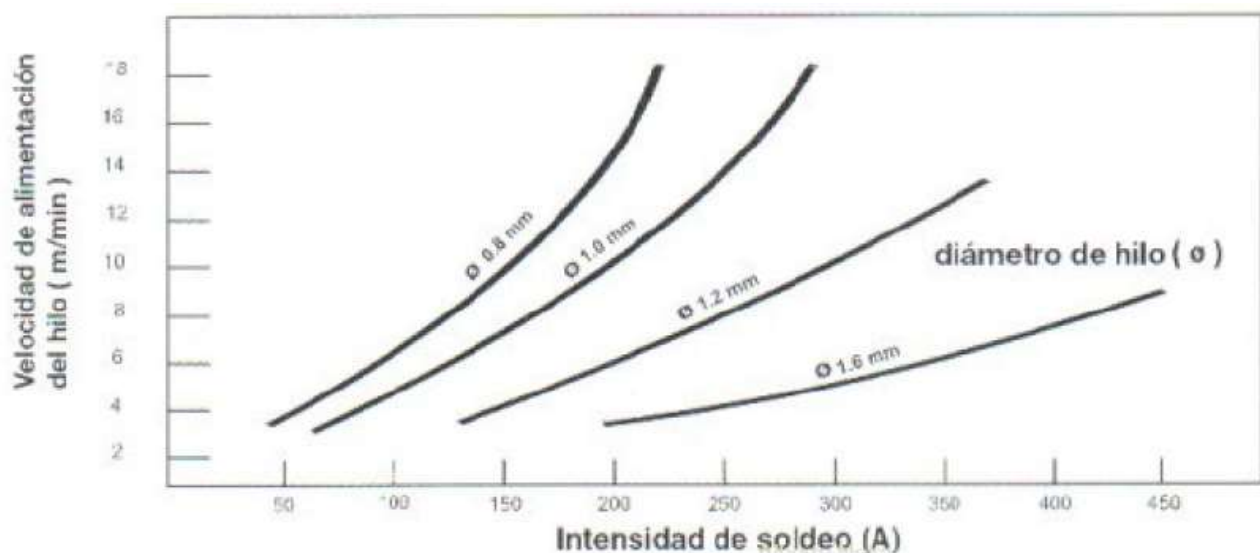


4.2.4.7.- Tipos de gases según material base:

El siguiente cuadro indica aplicaciones, características y mezclas más comunes empleadas en soldadura por sistema MIG:

Metal Base	Transferencia Spray	Transferencia Corto-Circuito
Acero Inoxidable	Argón + 2% CO ₂ Argón + 1% O ₂ Argón + 2% O ₂	90% Helio + 7,5% Argón + 2,5% CO ₂
Aceros al Carbono y Baja Aleación	Argón + 2% O ₂ Argón + 20% CO ₂ Argón + 5% CO ₂ Argón + 8% CO ₂	CO ₂ Argón + 20% CO ₂ Argón + 8% CO ₂ Argón + 5% CO ₂
Aluminio y Magnesio	Argón Helio Argón + 25% He Argón + 75% He	
Cobre	Helio Argón + 25% He Argón + 50% He Argón + 75% He	

4.2.4.8.-Intensidad de soldeo:

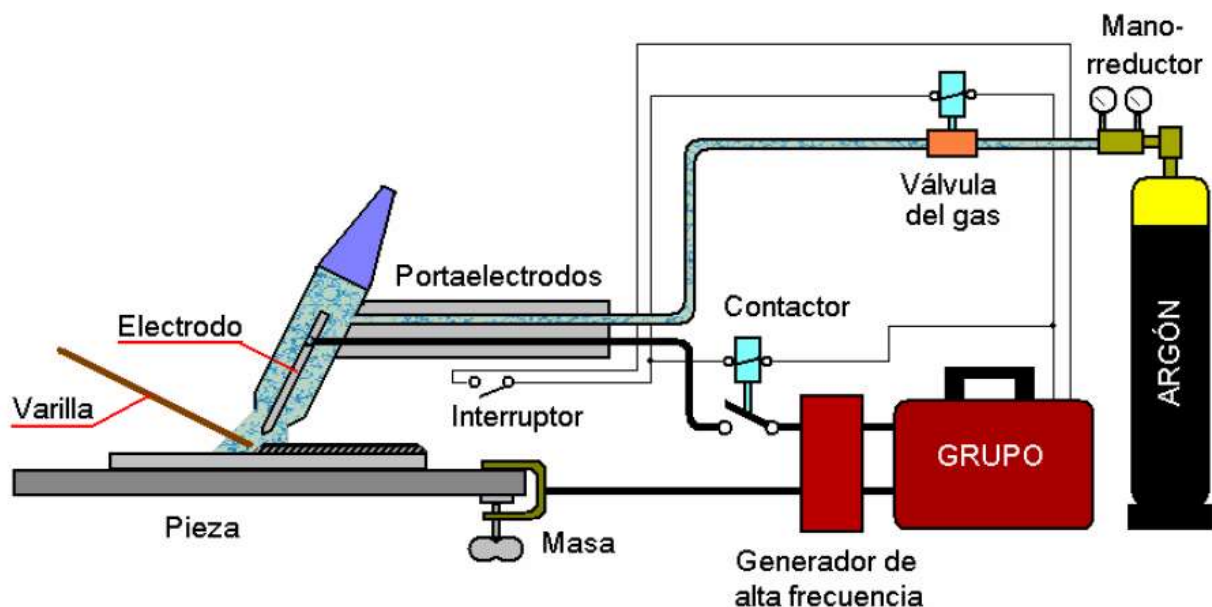


4.2.5.- Soldadura por arco bajo gas protector y electrodo no consumible (TIG)

La soldadura TIG, es un tipo de soldadura de fusión por arco eléctrico, con electrodo de tungsteno no consumible, de alimentación de varilla manual y protección por gas inerte, con una elevada calidad de cordón de soldadura. También es llamada GTAW (Gas Tungsten Arc Welding)

TIG: Tungsten Inert Gas

(Gas de protección inerte: Argón, Helio o mezcla de ambas)



4.2.5.1.- Equipo básico para soldadura TIG o GTAW:

- Equipo para soldadura por arco con sus cables respectivos
- Provisión de un gas inerte, mediante un sistema de mangueras y reguladores de presión.
- Pistola para soldadura TIG. Puede poseer un interruptor de control desde el cual se comanda el suministro de gas inerte y el de energía eléctrica (y el agua si lo hubiera).
- Opcional (equipo de refrigeración de agua)

4.2.5.2.-Tipos de corriente en soldadura TIG o GTAW:

- Aceros: En corriente continua directa DC -
- Aluminio: En corriente alterna AC

NUNCA EN CORRIENTE CONTINUA INVERSA DC + (Afecta demasiado al electrodo de tungsteno)

Metal a soldar	Fuente de alimentación
Aluminio	CA (Alta frecuencia)
Latón y aleaciones	CC directa
Cobre y aleaciones	CC directa
Acero al carbono	CC directa
Acero inoxidable	CC directa

4.2.5.3.-Clasificación del electrodo en soldadura TIG bajo normativa AWS:

Es la misma que la de electrodos MIG y MAG. Recojida anteriormente en el punto 4.2.4.3.

4.2.5.4.- Caudal del gas de protección:

El caudal será entre 5 y 15 l/min para Argón, dependiendo de la intensidad del trabajo.

4.2.5.5.-Electrodo de tungsteno:

Forma puntiaguda en DC y redondeada en AC.

Diámetro (mm)	Intensidad (A)
1,0	$I < 80 \text{ A}$
1,6	$70 < I < 150 \text{ A}$
2,0	$100 < I < 200 \text{ A}$
2,4	$150 < I < 250 \text{ A}$

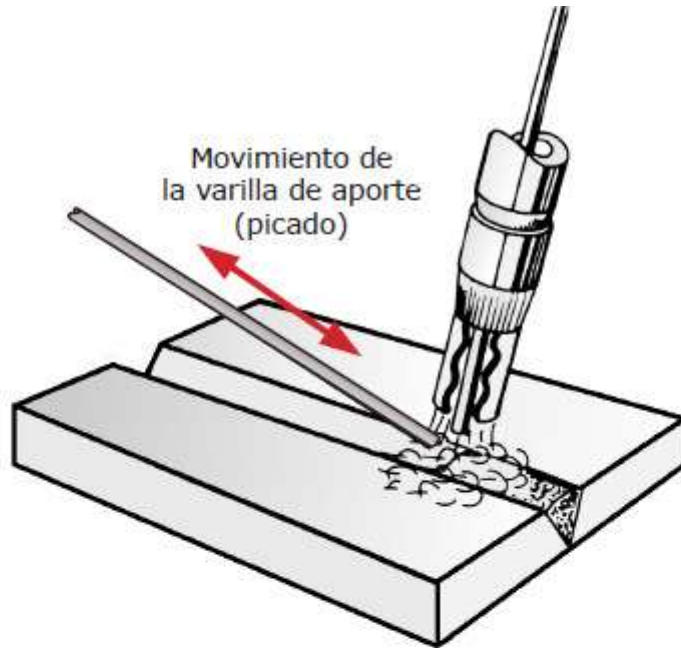
Para soldar en corriente alterna, lo más recomendable es usar electrodo de tungsteno puro, color verde.

Para soldar en continua utilizaremos electrodos de tungsteno con aleación de otro material. El más habitual era el torio, pero es radioactivo, por lo que se usan cada vez más otras aleaciones (cerio, lantano, circonio,)

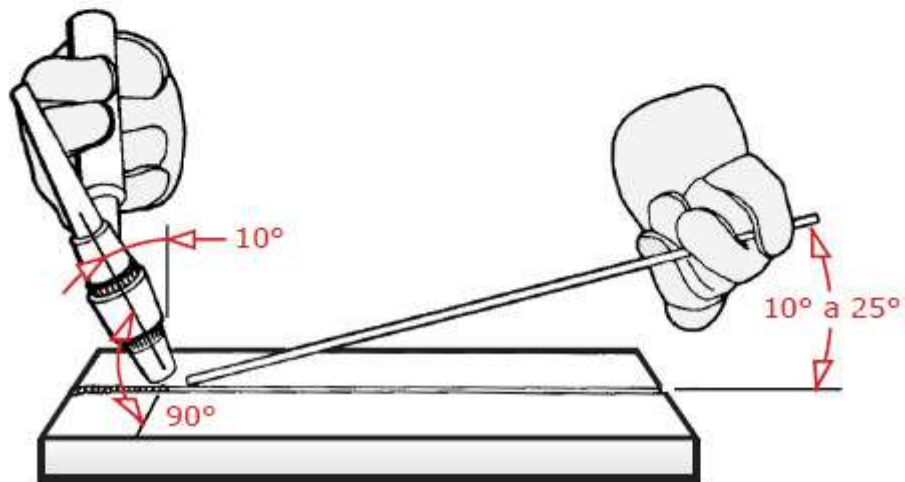
4.2.5.6.- Material de aporte:

Normalmente varillas de 1,1 ; 1,6 ; 2 ; 2,4 ; 3,2 ; 4 y 4,8 mm

4.2.5.7.- Posición de la pistola:



Esquema ilustrando la ubicación de la varilla de aporte



Ángulos de la varilla de aporte y del soplete

4.2.5.8.- Intensidades requeridas por milímetro de chapa para diferentes materiales:

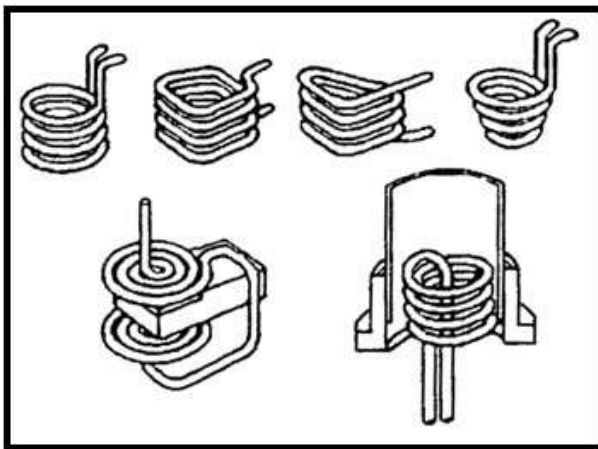
Material	Intensidad por mm de espesor
Acero de baja aleación	30-40 A
Aluminio	45-50 A
Cobre	75-80 A
Acero inoxidable	30-40 A

4.3.- Soldadura por inducción:



Es una soldadura fuerte (temperatura superior a 450°C) y método de realización muy parecida a la soldadura a gas debido a que se suele utilizar para soldar tuberías de cobre pero el suministro de calor se realiza mediante electricidad por inducción.

Se aplica fundente o flux y el material de relleno a la superficie de las piezas. Se coloca una bobina de inducción con una configuración que se adapte a las piezas que se quieren unir.



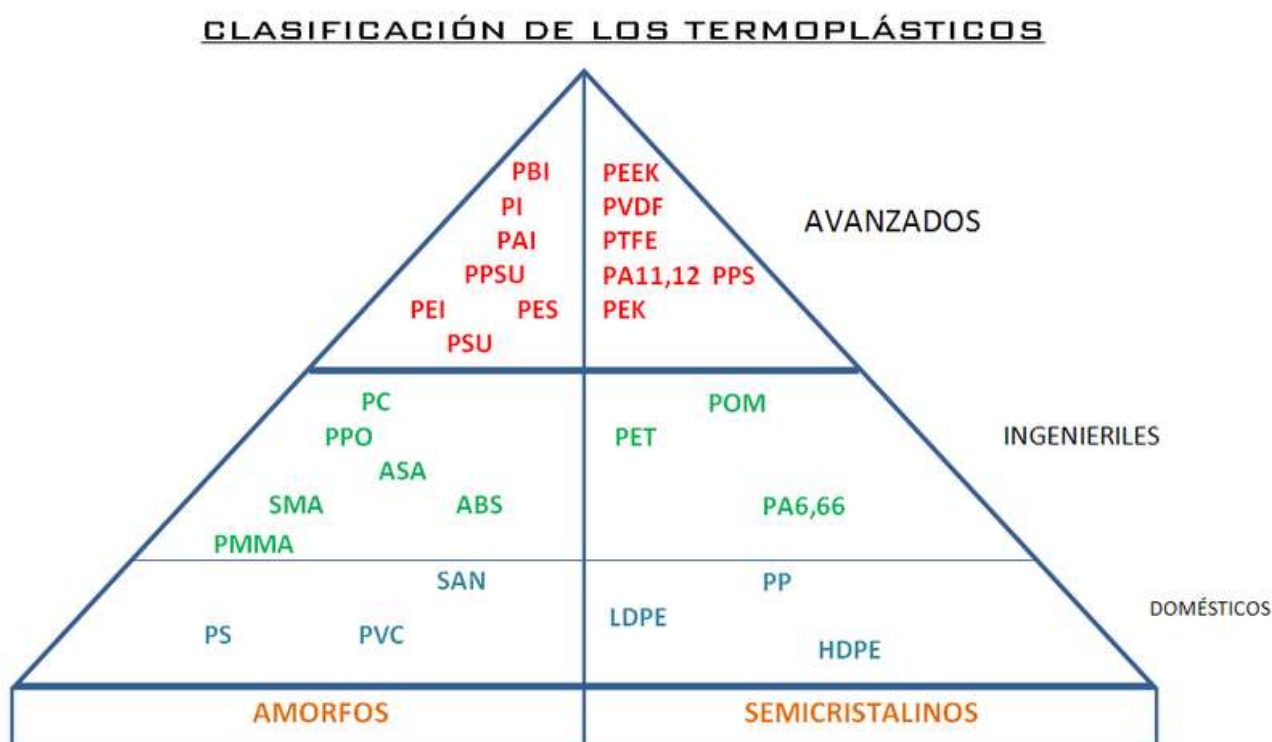
Por esta bobina se pasa una corriente alterna con altas frecuencias que varían entre 5KHZ a 5MHZ. La corriente que pasa por las bobinas se induce sobre las piezas de trabajo lo que genera una corriente que encuentra gran resistencia en las partes a unir. Allí se genera calor que varía en proporción a la conductividad del material, la corriente inducida y la frecuencia aplicada.

4.4.-Soldadura por fusión o termo plásticos:

En la soldadura de los metales, se llama soldadura por fusión a la técnica que consiste en calentar dos piezas de metal hasta que se derriten y se funden entre sí. Puede ser con aporte de material o sin el. Con lo cual cualquiera de los procesos anteriores (soldadura SMAW, TIG, MIG_MAG, etc.) es una soldadura por fusión. En este caso estudiaremos la soldadura de termo plásticos.

Los termo plásticos son materiales que a temperaturas relativamente altas, se vuelven deformables o flexibles, se derriten cuando se calientan y se endurecen en estado de transición vítrea cuando se enfrían lo suficiente. Pudiendo ser soldables fundiéndolos.

Los más utilizados son el polietileno (PE), el polipropileno (PP), el Polibutileno (PB), el poliestireno (PS), el polimetilmetacrilato (PMMA), el policloruro de vinilo (PVC), el politereftalato de etileno (PET), el teflón (PTFE) y el nailon. Pero existen muchos más.



Se diferencian de los termoestables o termofijos en que estos últimos no funden al elevarlos a altas temperaturas, sino que se queman, siendo imposible volver a moldearlos.

Los fenómenos físicos necesarios para que se produzca una unión por soldadura son una combinación de temperatura – tiempo – presión. La temperatura y tiempo aplicados en una zona del material a unir producen una fusión o reblandecimiento local en los sustratos que quedan perfectamente unidos una vez aplicada la presión necesaria. El proceso de soldadura consta de las siguientes etapas que se explicarán posteriormente: preparación superficial, calentamiento, consolidación y enfriamiento.

Existen diversos métodos de soldadura de los termoplásticos que atienden principalmente al modo en que se consigue la temperatura de proceso requerida, siendo unos más convenientes que otros dependiendo del material a soldar. Los métodos son:

- Fricción: Vibración o ultrasonidos
- Electromagnetico/ electrico: inducción o resistencia
- Radiación: Laser, infrarrojos, dielectrico y microondas
- Acceso directo: placa caliente o espejo y gas caliente.

Pudiendo estar de este modo esta soldadura en cualquiera de los tipos de soldadura que existen (estado solido, gas, eléctrica o por rayo de energía). Pero los métodos más usuales para fontanería son eléctricos o por acceso directo siendo en ellos su fuente de calor la electricidad, por ende, se han clasificado en este apartado.

