

# **LA SOLDADURA**

**INDICE.**

**INTRODUCCION.**

**TIPOS DE SOLDADURA**

**SOLDADURA POR ARCO ELECTRICO**

EL ARCO ELECTRICO

EL CORDON DE SOLDADURA

CLASIFICACIÓN DE LOS CORDONES DE SOLDADURA

RECOMENDACIONES PARA LA EJECUCIÓN DE LOS CORDONES DE SOLDADURA

PREPARACIÓN DE BORDE. EJECUCIÓN DE UNIONES SOLDADAS

**TRATAMIENTOS TERMICOS DE LAS SOLDADURAS**

**PATOLOGIAS DE LAS UNIONES SOLDADAS**

**INSPECCION Y ENSAYOS DE LAS SOLDADURAS**

**SIMBOLOGIA DE LA SOLDADURA**

**SOLDADURA POR ARCO CON ELECTRODO REVESIDO**

**SOLDADURA MIG-MAG**

**SOLDADURA TIG**

**SOLDADURA POR GAS Y ACETILENICA**

**ANEXOS:**

**CLASIFICACIÓN DE LOS ELECTRODOS PARA LA SOLDADURA.**

**PAUTAS PARA LA ELECCIÓN SISTEMÁTICA DE LOS PROCESOS DE SOLDADURA**

**SOLDADURA EN ACERO INOXIDABLE.**



## INTRODUCCION

La soldadura se puede definir como la técnica de unir perfectamente dos piezas de igual o distinta naturaleza.

El informe técnico UNE-CEN/TR 14599 IN (2006) define soldeo como el "proceso de unión en el que dos o más piezas se unen produciendo una continuidad en la naturaleza de los materiales de las piezas por medio de calor o presión, o ambas cosas, y con o sin la utilización de material de aportación".

En la actualidad y para los "metales" existe un gran número de procedimientos de soldaduras de unión.



En el proceso de soldadura interviene una serie de factores previos a la realización de los trabajos que habrá que tener en cuenta, a la vez que se deriva una problemática específica a este procedimiento una vez finalizada la tarea.

Entre los factores a tener en cuenta antes de comenzar los trabajos de soldadura se destacan los siguientes:

- Tipos de materiales a unir y su soldabilidad;
- Elección del procedimiento de soldeo a emplear en función del material, diseño de la unión, uso posterior, medios disponibles...
- Cualificación de los operarios;
- Propios del desarrollo del proceso (estabilización del arco, reacciones químicas presentes, desarrollo de la transferencia del material...).

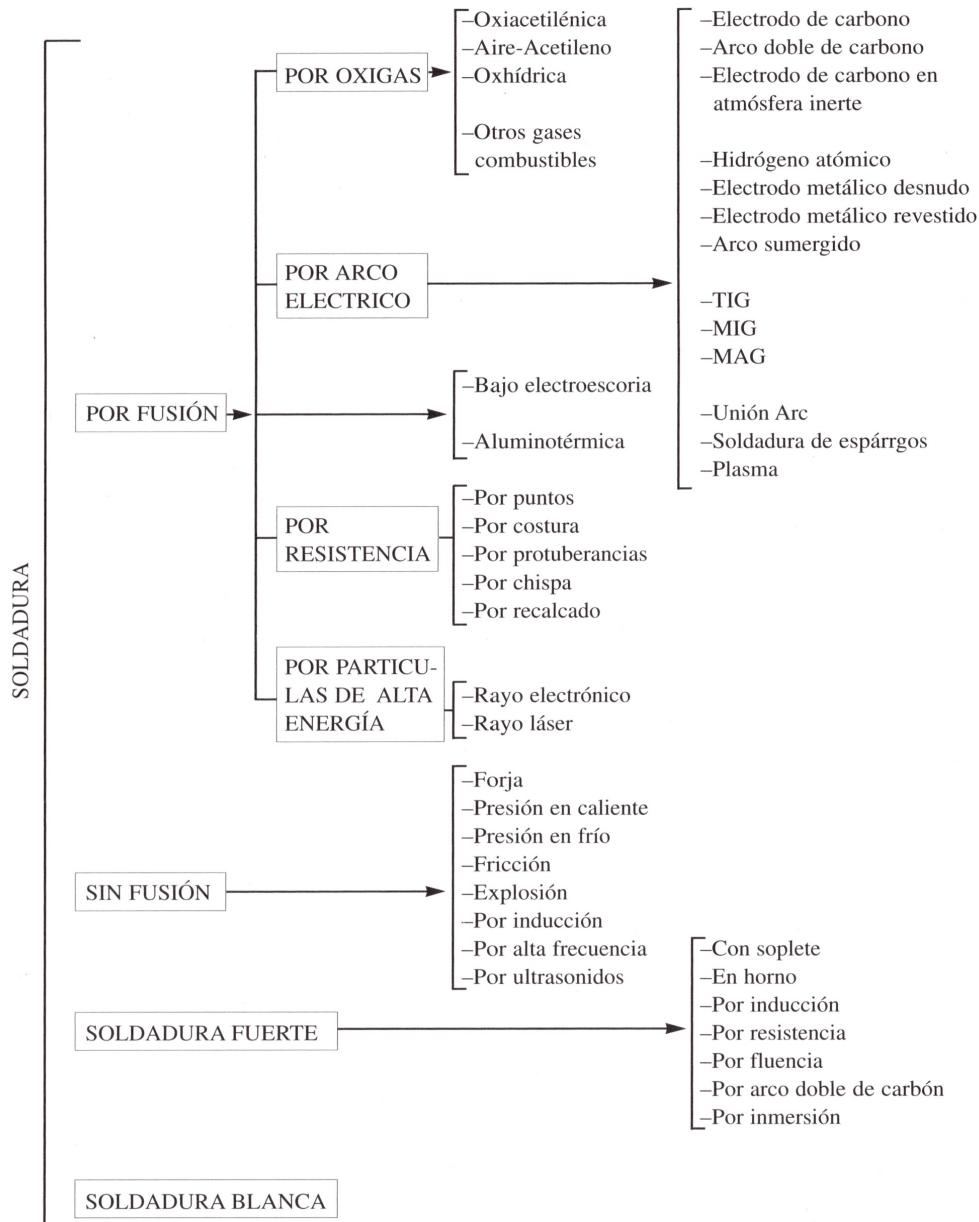
Una vez finalizado los trabajos se debe comprobar la calidad y estado de los mismos, a la vez que se deberá tener en cuenta otros aspectos que son propios al proceso de soldadura, como son:

- Aparición de tensiones térmicas durante el proceso de soldadura, y de tensiones residuales una vez finalizado los trabajos;
- Problemas de fatiga, que pueden llevar a la rotura de la unión ante solicitudes cíclicas;
- Aparición de agrietamientos y de nuevas estructuras metalúrgicas en la zona donde se produce la unión y el área limítrofe afectada térmicamente;

- Necesidad de llevar a cabo labores de inspección una vez efectuado los trabajos, a fin de comprobar su integridad.

En las siguientes páginas se resumen y definen los distintos procedimientos de soldadura que se emplean con mayor frecuencia en la industria.

# TIPOS DE SOLDADURA



## **SOLDADURA POR FUSIÓN**

### **1. SOLDADURA POR OXIGÁS (OFW - OXYFUEL GAS WELDING).**

#### **a) Soldadura oxiacetilénica.**

En este procedimiento, la fuente de energía calorífica que funde el metal es la llama oxiacetilénica producida por la combustión de la mezcla de acetileno con oxígeno. El oxígeno y el acetileno se suministran al soplete a través de conductos distintos a presiones y volúmenes adecuados. La mezcla se efectúa dentro del soplete y, a través de la boquilla, sale en condiciones de utilización. Prendiendo fuego a dicha mezcla se produce la combustión, aprovechándose su calor para fundir el metal base y el de aportación.

#### **b) Soldadura por aire-acetileno.**

Es idéntica a la del caso anterior, sólo que el oxígeno es sustituido por aire.

#### **c) Soldadura oxhídrica.**

Idéntica a los casos anteriores, sólo que como gas combustible se utiliza el hidrógeno.

#### **d) Otros gases combustibles.**

Se diferencian únicamente en el empleo de gases combustibles que pueden ser: Butano, propano, gas natural, gas ciudad, o mezclas de diferentes gases combustibles.

## **2. SOLDADURA POR ARCO ELÉCTRICO.**

#### **a) Soldadura con electrodo de carbono.**

Este procedimiento aprovecha para fundir el metal la energía calorífica producida por el arco eléctrico que se establece entre un electrodo de carbono y el metal base. El electrodo de carbono está alimentado por una fuente de energía eléctrica de corriente continua de baja tensión y elevada intensidad. La elevada temperatura del arco funde tanto el material base como el metal de aportación que se introduce aparte.

#### **b) Soldadura por arco doble de carbono.**

En este procedimiento la soldadura se realiza con el arco que salta entre dos electrodos de carbono. Se puede soldar con o sin metal de aportación, generalmente se emplea para recargas.

#### **c) Soldadura por arco con electrodo de carbono en atmósfera inerte.**

Es idéntico al procedimiento descrito en a), con la diferencia de que el arco está protegido con gas argón o helio.

#### **d) Soldadura por arco con electrodo metálico desnudo.**

Procedimiento idéntico al descrito en a), únicamente que en este caso el electrodo de carbono queda sustituido por una varilla metálica que, al mismo tiempo, sirve como metal de aportación.

**e) Soldadura por arco con electrodo metálico revestido (S.M.A.W).**

Procedimiento idéntico al descrito en d), con la diferencia de que el electrodo metálico está revestido con una mezcla de fundente y elementos de aleación. La protección se produce por la descomposición del revestimiento durante la fusión del electrodo.

**f) Soldadura por arco sumergido (S.A.W).**

El hilo o cable en bobina que sirve en este caso de electrodo está sumergida dentro de un polvo fundente, y el arco salta entre éste y el metal base. Debido a que el arco se produce dentro del polvo fundente, no es visible.

**g) TIG. (Soldadura en atmósfera inerte con electrodo de tungsteno).**

En este procedimiento de soldadura, el arco salta entre un electrodo refractario de tungsteno rodeado de atmósfera inerte (argón o helio) y el metal base. Se puede emplear con o sin metal de aportación.

**h) MIG. (Soldadura en atmósfera inerte con hilo, alambre metálico).**

Procedimiento de soldadura igual al g), donde el electrodo de tungsteno ha sido sustituido por un rollo de varilla metálica. que avanza continuamente para compensar la fusión en su extremo producida por el arco y mantener la longitud de éste constante.

**i) MAG. (Soldadura en atmósfera de CO<sub>2</sub> con hilo metálico).**

Este procedimiento es idéntico al MIG, únicamente que debido al elevado precio de los gases inertes, para la soldadura de aceros, aquellos han sido sustituidos por el CO<sub>2</sub> con excelentes resultados en la industria. Se conoce corrientemente como la «soldadura en atmósfera de CO<sub>2</sub>».

**j) Soldadura por hidrógeno atómico.**

El procedimiento de soldadura consiste en disociar el hidrógeno dentro del arco que se produce entre dos electrodos metálicos en atmósfera de hidrógeno. El hidrógeno atómico arde después. al contacto del aire, proporcionando además protección a la soldadura. Se puede emplear con o sin metal de aportación.

**k) Soldadura de espárragos por descarga de condensadores (S. W. - Pression).**

El procedimiento de soldadura consiste en el calentamiento del extremo de un espárrago y del lugar donde éste tiene que ser soldado mediante el arco eléctrico producido por la descarga de una batería de condensadores que almacena gran cantidad de energía y que suministra después a baja tensión (40-150 V) y elevada intensidad A/mm<sup>2</sup>). A continuación se aplica una presión.

**l) Soldadura de espárragos en atmósfera inerte (PEW).**

Igual procedimiento al descrito en k). donde el arco está protegido adicionalmente por atmósfera inerte.

**m) Unión Arc.**

El procedimiento de soldadura consiste en fundir el metal por un arco que se establece entre una varilla que avanza a una velocidad constante para compensar su fusión por el arco y mantener su longitud constante. El arco está protegido parcialmente por el anhídrido carbónico que se inyecta dentro de una tolva con polvo fundente magnético, arrastrando a éste hacia la boquilla. donde se

adhiere al extremo saliente de la varilla, formando una especie de revestimiento que también protege parcialmente el arco.

**n) Soldadura por chorro plasmático (PAW).**

En este procedimiento la fusión del metal se produce por el chorro plasmático establecido entre un electrodo de tungsteno rodeado de un chorro de gas argón, helio o mezcla de ambos. u otros gases. Por su efecto térmico se comporta de manera semejante a la llama oxigas, pero alcanza temperaturas de hasta diez veces superiores a ésta, alrededor de 30000º C. El vapor metálico ionizado del arco alcanza velocidades de 1.000 m/s en dirección a la pieza.

### **3. SOLDADURA BAJO ELECTROESCORIA Y ALUMINOTERMICA.**

**a) Soldadura bajo electroescoria (ESW).**

Este procedimiento se emplea para la soldadura de espesores grandes. a partir de 25 mm. La soldadura se realiza en posición vertical y la fusión del metal se efectúa mediante la electroescoria. La electroescoria ofrece gran resistencia al paso de la corriente eléctrica. El punto de fusión de la electroescoria funde el metal que tiene mayor densidad y se deposita en el fondo, mientras la electroescoria va ascendiendo y funde nuevas zonas del metal.

**b) Soldadura aluminotérmica.**

En este procedimiento de soldadura la fusión del metal base se produce mediante el metal líquido sobrecalentado y escorias, que son el resultado de una reacción química entre el óxido ferroso férrico y el aluminio.

### **4. SOLDADURA POR RESISTENCIA ELÉCTRICA (ERW - ELECTRICAL RESISTANCE WELDING).**

Es el grupo de procedimientos de soldadura donde la fusión del metal se efectúa mediante el calor que produce la resistencia del metal al paso de la corriente eléctrica en un circuito donde la pieza a soldar forma parte de éste, y por la aplicación de presión.

**a) Soldadura por puntos (RSW - Resistance Spot Welding),**

Es el procedimiento de soldadura donde la fusión del metal se efectúa por el calor que se produce por resistencia al paso de la corriente eléctrica a través de las piezas sujetas mediante dos electrodos que están bajo presión. El tamaño y la forma de los núcleos soldados dependen del tamaño y forma de los electrodos.

**b) Soldadura por costura (RSEW).**

Procedimiento de soldadura donde la fusión del metal se efectúa por el calor que se produce por resistencia al paso de la corriente en las piezas a soldar, sujetas una contra otra mediante electrodos circulares que están bajo presión. La soldadura por costura es el resultado de una serie de núcleos soldados que se solapan progresivamente a lo largo de la unión, mediante el giro de los electrodos.

**c) Soldadura por protuberancias (RPW).**

Procedimiento parecido al descrito en a), con la diferencia de que antes de la soldadura, en las piezas a soldar, se estampan una serie de protuberancias y los electrodos se colocan, precisamente, sobre estas protuberancias.

d) **Soldadura por chispa (FW).**

El calentamiento y fusión del metal se produce debido a la resistencia que ofrecen las piezas al paso de la corriente eléctrica y a una serie de pequeños arcos, que se forman entre las piezas, cuando entre éstas existe una pequeña separación. Seguidamente se aplica la presión.

e) **Soldadura por recalcado.**

En este procedimiento la fusión se produce simultáneamente en toda la superficie a soldar debido a la resistencia que ofrecen las piezas al paso de la corriente eléctrica, o, progresivamente, a lo largo de la unión. La presión se aplica antes del paso de la corriente eléctrica y se mantiene durante el período de calentamiento.

## **5. SOLDADURA POR PARTÍCULAS DE ALTA ENERGÍA.**

a) **Soldadura por rayo electrónico (EBW - Electron Beam Welding).**

En este procedimiento la fusión del metal se realiza mediante un chorro de electrones animados a gran velocidad y concentrados sobre el punto del metal donde se pretende realizar la operación de soldadura. El proceso se realiza dentro de una campana de gran vacío.

b) **Soldadura por rayo láser (LBW - Laser Beam Welding).**

La fusión del metal, necesaria para la soldadura en este procedimiento, se realiza mediante el rayo de luz, producido por emisión estimulada de radiación. Esta luz es coherente y monocromática, lo que posibilita una fácil focalización y obtención de altas densidades de energía capaces de cortar y soldar metales.

## **SOLDADURA SIN FUSIÓN.**

La soldadura sin fusión es el procedimiento de soldeo en el cual la característica principal es la ausencia de la fase líquida, típica en otros procedimientos de soldadura. Si bien en algunos procedimientos de este grupo emplea energía calorífica, ésta tiene por misión elevar la temperatura del metal hasta que éste alcance el estado plástico, pero sin fundir. En este proceso se obtiene la unión metalúrgica entre dos piezas del metal como consecuencia de la acción de las fuerzas de atracción interatómicas, lo que clasifica ésta unión como una soldadura y no como una pegadura (caso de los adhesivos), donde las fuerzas que entran en juego son del tipo de las fuerzas de Van der Waals.

Actualmente existen dos teorías para explicar la soldadura sin fusión. La primera afirma que si dos superficies de metal perfectamente limpias se ponen en contacto íntimo, se produce espontáneamente la soldadura por acción de las fuerzas de atracción interatómicas. Para realizar prácticamente esta clase de soldadura es necesario provocar una deformación de las piezas sin desgarrar el metal, originando un flujo o desplazamiento del mismo, que rompiendo la capa superficial, ponga en contacto íntimo las dos superficies vírgenes del metal y establezca así la unión metalúrgica.

La segunda teoría es la ampliación de la anterior y propugna que, si bien la soldadura se realiza tal como se ha descrito, es necesario superar un determinado grado mínimo de energía en las superficies activas para que se produzca la unión.

En cualquier caso, la realización industrial del proceso consiste en producir en las superficies a soldar una deformación plástica, a escala macro o microscópica, suficiente para la obtención de las soldaduras y según la forma de aplicación de la energía necesaria se distingue:

- a) La soldadura por forja.
- b) La soldadura por presión en caliente.
- c) La soldadura por presión en frío.
- d) La soldadura por fricción.
- e) La soldadura por explosión.
- f) La soldadura por inducción.
- g) La soldadura por alta frecuencia.
- h) La soldadura por ultrasonidos.

**a) La soldadura por forja.**

Es el procedimiento de soldadura más antiguo. Consiste en calentar los extremos de las piezas a soldar hasta que lleguen al estado plástico y, seguidamente, se las golpea con un martillo o un macho hasta conseguir la unión.

**b) La soldadura por presión en caliente (HPW).**

La unión se consigue calentando las superficies a unir con cualquier fuente de energía calorífica hasta que éstas alcancen el estado plástico y a continuación se aplica la presión.

**c) Soldadura por presión enfrío (HPCW).**

Este procedimiento se emplea generalmente para soldar metales de gran deformabilidad plástica, como aluminio y sus aleaciones y cobre y sus aleaciones. Consiste en aplicar la presión fuerte sobre las piezas a soldar hasta que se produzca una elevada deformación. Debido a las grandes tensiones de compresión, el metal fluye, provocando la destrucción de los óxidos que están en la superficie, obteniéndose una soldadura.

**d) Soldadura por fricción (FRW).**

El procedimiento consiste en calentar las superficies de las piezas a soldar mediante la fricción giratoria de sus superficies hasta que éstas alcancen el estado plástico. Seguidamente se aplica la presión.

**e) Soldadura por explosión (EXW - Explosion Welding).**

Es un procedimiento bastante reciente y se basa en la obtención de una unión metalúrgica entre dos superficies metálicas por medio de la energía de una onda explosiva, que se propaga longitudinalmente en la dirección de la soldadura.

**f) Soldadura por inducción (HFIW).**

El calentamiento de las superficies a soldar hasta el estado plástico, se realiza mediante el calor que produce la resistencia de la pieza a soldar al paso de las corrientes inducidas en ellas. Seguidamente se aplica la presión.

**g) Soldadura por alta frecuencia (HFRW).**

El calentamiento de las superficies a soldar hasta el estado plástico se consigue en este caso con corrientes de frecuencia muy elevada. A continuación se aplica la presión.

**h) Soldadura por ultrasonidos (USW)F**

Este procedimiento de soldadura consiste en la aplicación, en el punto de unión, de una energía mecánica en forma de vibración de muy alta frecuencia y poca amplitud, bajo la acción de una presión que se aplica simultáneamente.

## **SOLDADURA FUERTE**

La soldadura fuerte comprende el grupo de procedimientos de soldeo donde la unión de los metales se efectúa mediante la adherencia del metal de aportación líquido a las superficies de metal base calentando a una temperatura de, aproximadamente, 450º C. El metal de aportación son aleaciones binarias o ternarias de metales no ferrosos y que tienen el punto de fusión muy por debajo de el del metal base. El metal de aportación líquido penetra dentro del espacio muy estrecho de la junta por el efecto de capilaridad.

**a) Soldadura fuerte con soplete (TB).**

Es el procedimiento de soldadura fuerte más antiguo y se le suele llamar «artesano». No es apropiado para la producción en serie. Se utiliza el mismo equipo que en la soldadura oxigás, así como toda clase de gases combustibles. Con preferencia se emplea el acetileno por su elevado poder calorífico, ya que a mayor velocidad de soldadura se produce menor deformación. En primer lugar se precaliente la junta a soldar hasta que se licúe el fundente y, seguidamente, se funde una gota del metal de aportación, que se extiende con la llama a lo largo de la unión.

**b) Soldadura fuerte dentro de un horno (FB).**

Es el procedimiento de soldadura fuerte en serie. Se realiza, generalmente, en hornos continuos eléctricos donde la regulación de temperatura debe ser del orden de C. Consiste en introducir dentro de éste las piezas limpias y preparadas con el fundente y el metal de aportación dentro de la futura unión. La temperatura del horno funde, en primer lugar, el desoxidante y limpia las superficies a unir y, seguidamente, el metal de aportación. A continuación se produce el enfriamiento de las piezas soldadas.

**c) Soldadura fuerte por inducción (IB).**

En este procedimiento la fusión del metal de aportación se efectúa mediante las corrientes inducidas. El inductor se construye de tubo de cobre o aluminio, con una o más espiras, según la superficie a calentar y la potencia necesaria. La pieza a soldar se coloca limpia y desengrasada con fundente y metal de aportación dentro del inductor y, seguidamente, deja pasar la corriente a través de éste. El control de temperatura es electrónico.

**d) Soldadura fuerte por resistencia (RB).**

En este procedimiento, que se emplea casi exclusivamente para la soldadura de piezas planas a solape, las juntas con el fundente y el metal de aportación se sujetan entre dos bloques o electrodos de carbón. y se hace pasar la corriente eléctrica que calienta los dos bloques de carbón y la pieza, que alcanza la temperatura de fusión del metal de aportación. Como variante de este método se puede utilizar una máquina de soldadura por resistencia.

**e) Soldadura fuerte por inmersión (5n (DS)).**

Consiste en sumergir las piezas preparadas con metal de aportación en las juntas, dentro de un baño de fundente. El calor del fundente líquido funde el metal de aportación produciendo la unión de las piezas. Se emplea para la soldadura en serie de piezas de aleaciones plaqueadas con el metal de aportación.

**f) Soldadura fuerte por fluencia.**

La soldadura consiste en verter el material de aportación líquido en la ranura entre las dos piezas a unir.

Las piezas tienen que estar fuertemente sujetas dentro de un posicionador. Antes de verter el metal aportación de la forma indicada, hay que precalentar la junta para evitar un enfriamiento brusco.

**g) Soldadura fuerte por arco de carbón doble.**

En este procedimiento de soldadura, el metal de aportación se funde mediante el arco eléctrico que salta entre dos electrodos de carbono que están montados bajo un determinado ángulo, uno respecto a otro. en un soplete. El manejo de este arco exige bastante habilidad al operario para evitar la fusión parcial del metal base.

## **SOLDADURA BLANDA**

Para este procedimiento de soldadura se emplea el metal de aportación cuya temperatura de líquidus es inferior a 425 °C. La diferencia con la soldadura fuerte es la menor temperatura de trabajo y, en consecuencia, la menor deformación del conjunto soldado, y metales de aportación de distinta composición que se denominan «sueldas». Asimismo, su resistencia mecánica es inferior. Según la temperatura de trabajo, se distinguen tres tipos de soldadura blanda, a los que corresponden tres tipos de sueldas:

1. Soldadura blanda a baja temperatura (150-260°C).
2. Soldadura blanda a temperatura intermedia (260-380°C).
3. Soldadura blanda a temperatura alta (380-425°C).

Los principales elementos de composición de los metales de aportación son: Plomo, estaño, zinc y cadmio.

## SOLDADURA POR ARCO ELECTRICO

Los procedimientos de soldaduras más empleados industrialmente son aquellos donde la fuente de calor tiene su origen en un arco eléctrico.

La soldadura por arco eléctrico se basa en someter a dos conductores que están en contacto a una diferencia de potencial, por lo que termina estableciéndose una corriente eléctrica entre ambos.

Si posteriormente se separan ambas piezas, se provoca una chispa que va a ionizar el aire circundante, permitiendo el paso de corriente a través del aire, aunque las piezas no estén en contacto.

Los motivos principales de utilizar el establecimiento de un arco eléctrico son:

- Genera una concentración de calor en una zona muy delimitada;
- Se alcanzan temperaturas muy elevadas ( $> 5.000^{\circ}\text{C}$ );
- Se puede establecer en atmósferas artificiales;
- Permite la posibilidad de establecerse en forma visible (arco descubierto) o invisible (arco sumergido o encubierto);
- Permite la posibilidad de establecerse de diversas formas, estableciendo diferentes métodos de soldeo según el caso (entre la pieza y un electrodo fusible, entre la pieza y un electrodo no fusible, entre dos electrodos fusibles o no fusibles, entre las propias piezas a unir).

Existen una gran variedad de procedimientos de soldadura, donde la base de la fuente de calor es el arco eléctrico. Todos estos procedimientos se pueden agrupar en dos grandes grupos, por arco descubierto y por arco encubierto. A continuación se enumeran los distintos procedimientos agrupados en cada grupo:

- Arco descubierto:

- Soldadura por arco manual con electrodos revestidos;
- Soldadura bajo gas protector con electrodo no fusible (TIG, TIG Orbital, Plasma);
- Soldadura bajo gas protector con electrodo fusible (MIG, MAG, Oscilador, Electrogás);

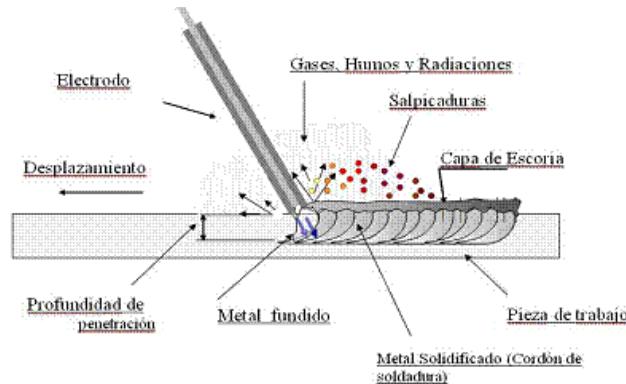
- Arco encubierto:

- Soldadura por arco sumergido;
- Soldadura por electroescoria (este procedimiento, aunque en realidad es un procedimiento de soldadura por resistencia, el comienzo del proceso se realiza mediante un arco eléctrico).

Prácticamente, para el caso de la soldadura por arco eléctrico, su aplicación acapara todo el sector industrial, debido a las opciones que presentan tanto su automatización como su gran productividad.

## EL ARCO ELECTRICO

La Soldadura por Arco Eléctrico se realiza poniendo a dos conductores en contacto; y se los somete a una diferencia de potencial, de esta manera se establece entre ellos un flujo de corriente.



Luego se los separa y se provoca una chispa para ionizar el gas o el aire que los rodea, consiguiendo de este modo el paso de corriente, aunque los conductores no se hallan en contacto.

De esta manera creamos un arco eléctrico entre ellos por transformación de la energía eléctrica en energía luminosa y calórica.

De hecho, el calor producido por el arco no solo es intenso sino que además está focalizado, lo cual resulta ideal para efectuar la soldadura. Se alcanzan así temperaturas de 3.500°C.

En el circuito eléctrico formado por los electrodos y el arco, la intensidad de corriente depende de la tensión y de la resistencia del circuito. Si los electrodos se acercan o se separan variará la resistencia y la intensidad y, por lo tanto, la energía se transformará en calor, con lo que la soldadura no será uniforme.

Por lo tanto, desde un punto de vista práctico, esto quiere decir que para obtener soldaduras uniformes es imprescindible mantener constante la separación de los electrodos durante el proceso del soldeo.

El proceso de soldadura comienza con el **cebado del arco**. Para que se origine el arco eléctrico, imprescindible para que ocurra la soldadura, hay que seguir la siguiente secuencia:

- 1º. Hacemos tocar la pieza con el electrodo. Al tocar el electrodo la pieza, se cierra el circuito y se produce un paso de corriente eléctrica. Como consecuencia se origina en el punto de contacto una elevación de la intensidad, y por ende, una elevación de la temperatura en la zona de contacto hasta la incandescencia.
- 2º. Cualquier metal en estado incandescente emite electrones, es lo que se conoce como efecto termoiónico.
- 3º. A continuación se procede a separar el electrodo de la pieza, lo que va a permitir que los electrones emitidos ionizan el aire circundante, haciéndolo conductor, es lo que se llama efecto ionización.



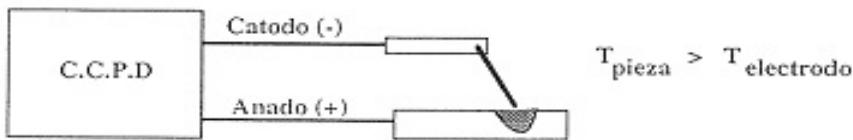
Una vez establecido el arco, éste se logra mantener.

Lo expuesto anteriormente tiene validez para el caso de uso de corriente continua. No obstante, la corriente alterna también se puede utilizar en algunos procesos para establecer el arco eléctrico, aunque su estabilidad va a ser menor.

La corriente continua permite una selección más amplia de electrodos y escalas de corriente con arco más estable, por lo que suele preferirse para trabajos en posiciones difíciles y chapas finas.

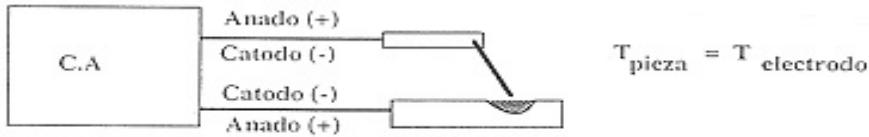
Con corriente continua, los dos tercios del calor los proporciona el polo positivo y el tercio restante el polo negativo. Los electrodos de fusión difícil, como los electrodos básicos, se funden mejor conectándolos al polo positivo.

Lo más habitual para la soldadura por arco es emplear corriente continua con polaridad directa (C.C.P.D.)



Con esta configuración se consigue una mayor penetración de soldadura, y se evita que el electrodo se deteriore más rápidamente, dado que la temperatura que alcanza el electrodo (cátodo en caso de C.C.P.D.) es inferior a la de la pieza.

No obstante, para algunos procesos se puede emplear la corriente continua polaridad inversa (C.C.P.I.).



En este caso, se alcanza una penetración menor que si se usara polaridad directa.

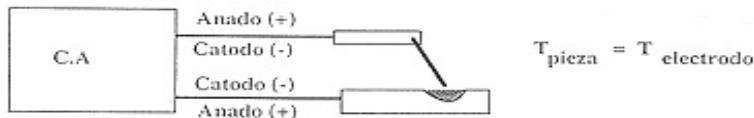
Es de aplicación sobretodo para soldar chapas finas.

También se usa para soldar aleaciones no férreas, básicamente aluminio. Ello es debido a que durante el proceso de soldadura del aluminio, tiende a formarse en la superficie del cordón una capa de alúmina (u óxido de aluminio) que es necesario romper. Para ello el empleo de la polaridad inversa supone que la pieza pase a ser el cátodo (-) y a ella se dirigen para chocar los aniones originados por

la ionización del aire, que al ser de mayor masa que los electrones, pueden romper con mayor facilidad esta capa de alúmina.

Por otro lado, en esta configuración los electrodos alcanzan mayor temperatura, por lo que su duración de vida útil disminuye.

Por último, decir que la corriente alterna (C.A.) sólo se puede emplear con electrodo revestido, dado que es lo que favorece para establecer el arco eléctrico.

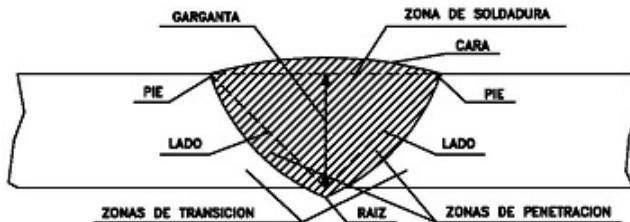


Empleando C.A. se consiguen valores intermedios de penetración y deformaciones. Su uso es también idóneo para procesos de soldeo con electrodo no fusible (TIG) para soldadura de aluminio (Al).

La corriente alterna consume menos energía y produce menos salpicaduras. También los transformadores requieren menos mantenimiento que las dinamos. La corriente alterna también se usa donde hay problemas de soplo del arco y en trabajos de soldadura en posición plana con chapas gruesas.

## EL CORDÓN DE SOLDADURA

En todo cordón de soldadura se pueden distinguir las siguientes partes que se representan en la figura siguiente:



a) Zona de soldadura: Es la parte central del cordón, que está formada fundamentalmente por el metal de aportación.

b) Zona de penetración: Es la parte de las piezas que ha sido fundida por los electrodos. La mayor o menor profundidad de esta zona define la penetración de la soldadura. Una soldadura de poca penetración es una soldadura generalmente defectuosa.

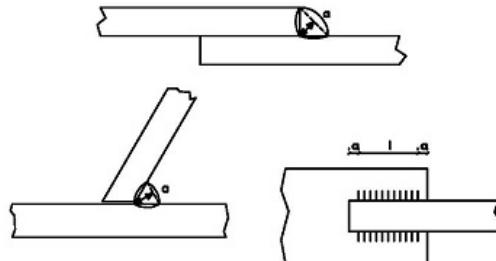
c) Zona de transición: Es la más próxima a la zona de penetración. Esta zona, aunque no ha sufrido la fusión, sí ha soportado altas temperaturas, que le ha proporcionado un tratamiento térmico con posibles consecuencias desfavorables, provocando tensiones internas.

Las dimensiones fundamentales que sirven para determinar un cordón de soldadura son la **garganta** y la **longitud**.

La garganta (a) es la altura del máximo triángulo isósceles cuyos lados iguales están contenidos en las caras de las dos piezas a unir y es inscribible en la sección transversal de la soldadura.

Por otro lado, se llama longitud eficaz (Leficaz) a la longitud real de la soldadura menos los cráteres extremos. Se suele admitir que la longitud de cada cráter es igual a la garganta.

$$L_{\text{eficaz}} = L_{\text{geométrica}} - 2 \times a$$



## CLASIFICACIÓN DE LOS CORDONES DE SOLDADURA

Los cordones de soldadura se pueden clasificar según los siguientes criterios:

- Por la posición geométrica de las piezas a unir:
  - Soldaduras a tope;
  - Soldaduras en ángulo;
  
- Por la posición del cordón de soldadura respecto al esfuerzo:
  - Cordón frontal;
  - Cordón lateral;
  - Cordón oblicuo;
  
- Por la posición del cordón de soldadura durante la operación de soldeo:
  - Cordón plano (se designa con H);
  - Cordón horizontal u horizontal en ángulo (se designa por C);
  - Cordón vertical (se designa con V);
  - Cordón en techo o en techo y en ángulo (se designa con T);

A continuación, se muestra una serie de figuras representativas de los tipos anteriormente definidos.

- Clasificación de los cordones de soldadura respecto a la posición geométrica de las piezas a unir

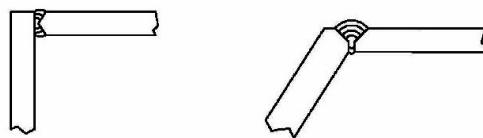
A tope en prolongación



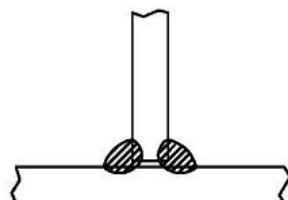
A tope en T



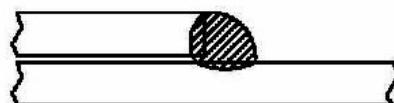
A tope en L



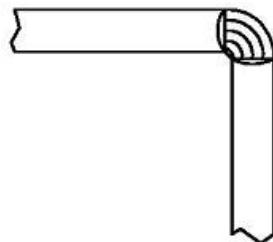
En Ángulo en rincón



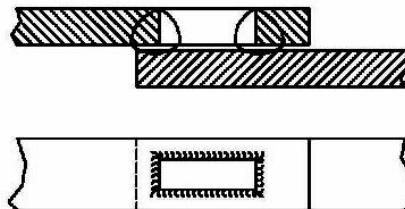
Ángulo en solape



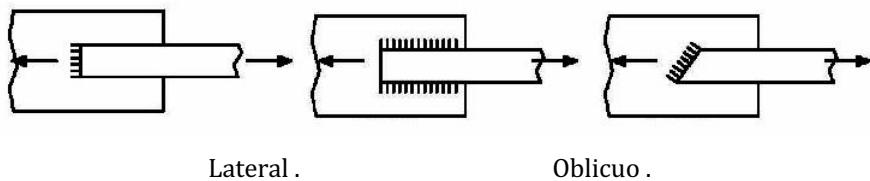
Ángulo en esquina



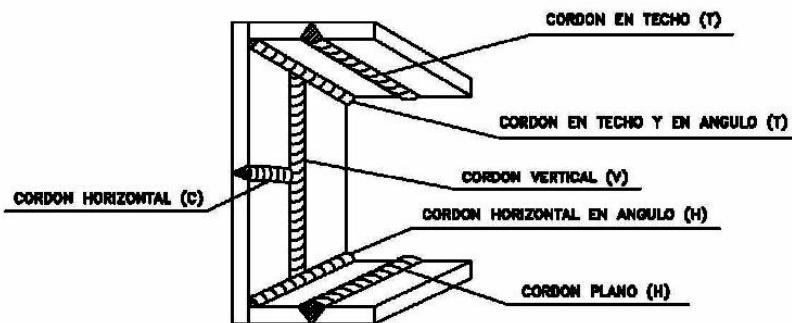
### Ángulo en ranura



- Clasificación de los cordones de soldadura respecto al esfuerzo.



- Clasificación de los cordones de soldadura según su posición durante la posición de soldeo.

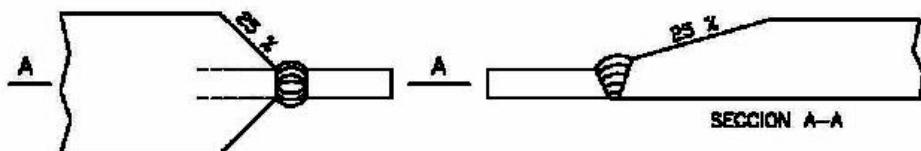


## RECOMENDACIONES PARA LA EJECUCIÓN DE CORDONES DE SOLDADURA

A continuación se exponen una serie de recomendaciones a la hora de ejecutar las uniones soldadas, a fin de garantizar una calidad aceptable en la ejecución de las mismas.

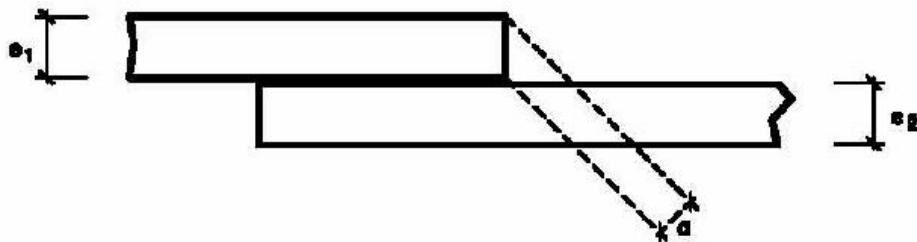
### a) Soldaduras a tope:

- Deben ser continuas en toda la longitud y de penetración completa.
- Deben sanearse la raíz antes de depositar el primer cordón de la cara posterior o el cordón de cierre.
- Cuando no sea posible el acceso por la cara posterior debe conseguirse penetración completa.
- Cuando se unan piezas de distinta sección se debe adelgazar la mayor con pendientes inferiores al 25%.



b) Soldaduras en ángulo:

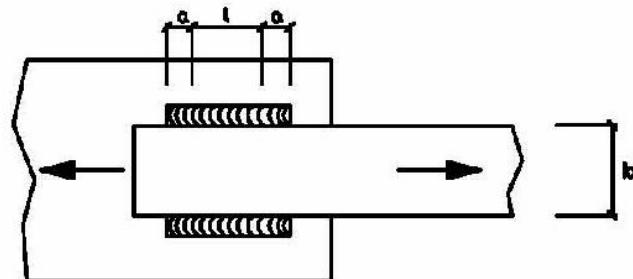
- La garganta de una soldadura en ángulo que une dos perfiles de espesores  $e_1 \leq e_2$  no debe sobrepasar el valor máximo que se indica en la Tabla que se adjunta con los valores límite de la garganta para una soldadura en ángulo. Este valor se corresponde al valor  $e_1$  y no debe ser menor que el mínimo correspondiente al espesor  $e_2$ , y siempre que este valor mínimo no sea mayor que el valor máximo para  $e_1$ .



- La longitud eficaz  $l$  de una soldadura lateral en ángulo con esfuerzo axial deberá estar comprendida entre los valores siguientes:

Como valor mínimo:  $l \geq 15 \times a$ , o bien,  $l \geq b$

Como valor máximo:  $l \leq 60 \times a$ , o bien,  $l \leq 12 \times b$



A continuación se exponen los valores límites de la garganta de una soldadura en ángulo en función de los espesores de las piezas a unir:

Valores límite de la garganta de una soldadura en ángulo		
Espesor de la pieza (mm.)	Garganta, <i>a</i>	
	Valor máximo (mm.)	Valor mínimo (mm.)
4.0-4.2	2.5	2.5
4.3-4.9	3	2.5
5.0-5.6	3.5	2.5
5.7-6.3	4	2.5
6.4-7.0	4.5	2.5
7.1-7.7	5	3
7.8-8.4	5.5	3
8.5-9.1	6	3.5
9.2-9.9	6.5	3.5
10.0-10.6	7	4
10.7-11.3	7.5	4
11.4-12.0	8	4

12.1-12.7	8.5	4.5
12.8-13.4	9	4.5
13.5-14.1	9.5	5
14.2-15.5	10	5
15.6-16.9	11	5.5
17.0-18.3	12	5.5
18.4-19.7	13	6
19.8-21.2	14	6
21.3-22.6	15	6.5
22.7-24.0	16	6.5
24.1-25.4	17	7
25.5-26.8	18	7
26.9-28.2	19	7.5
28.3-31.1	20	7.5
31.2-33.9	22	8
34.0-36.0	24	8

- Exceptuando los casos de uniones sometidas a cargas dinámicas, o estructuras expuestas a la intemperie o ambientes agresivos, o temperaturas inferiores a 0°C, o bien en uniones estancas, las uniones longitudinales de dos piezas podrán realizarse mediante soldaduras discontinuas.

En este caso, la ejecución de las uniones discontinuas pueden ser correspondientes o alternadas.

En estos casos, los valores límites recomendados son los siguientes:

- Como valor mínimo:

$$l \geq 15 \times a$$

$$l \geq 40 \text{ mm}$$

- Como valor máximo:

$$s \leq 15 \times e, \text{ para barras comprimidas}$$

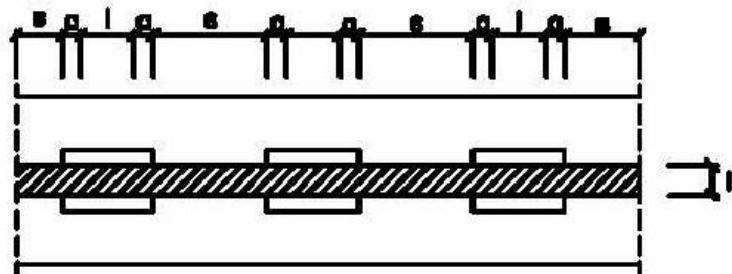
$$s \leq 25 \times e, \text{ para barras a tracción}$$

$$s \leq 300 \text{ mm, en todo caso}$$

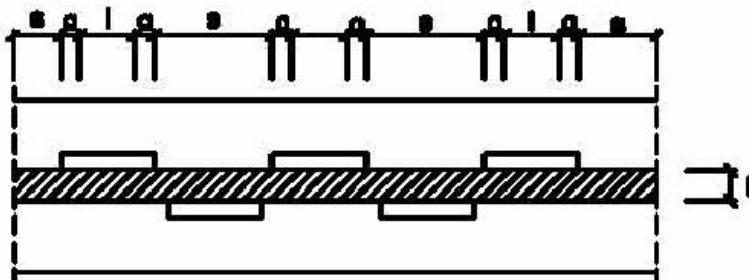
siendo  $e$  el espesor mínimo de los perfiles unidos.

## EJEMPLOS DE UNIONES LONGITUDINALES DISCONTINUAS

Unión discontinua correspondiente



Unión soldada discontinua alterna



c) Otras recomendaciones

Durante el proceso de soldeo se genera un calor que se propaga a lo largo y ancho de las piezas. Este calor origina los siguientes efectos:

- Un enfriamiento más o menos rápido de las partes de las piezas en las que la temperatura ha superado la del punto crítico del acero;
- Contracciones de las zonas calentadas al enfriarse posteriormente.

La velocidad de enfriamiento de la pieza tiene un efecto importante sobre la modificación de la estructura cristalina del metal, lo cual se traduce en una modificación de sus características mecánicas y, en especial, en un aumento de su fragilidad.

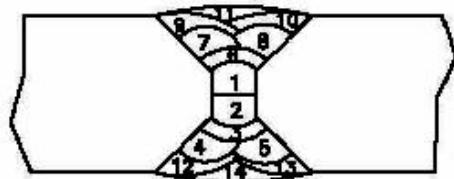
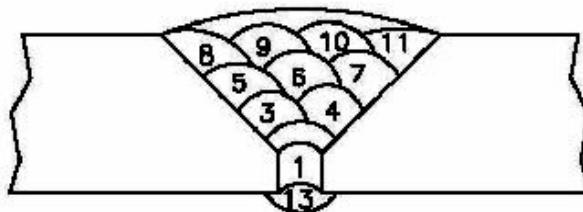
Las contracciones, si operasen sobre piezas con libertad de movimiento, sólo proporcionarían deformaciones, pero como las piezas en general tendrán ligaduras, aparecerán, además, tensiones internas, que serán mayores a medida que la producción de calor sea mayor o, lo que es equivalente, a medida que las piezas sean más gruesas.

Las deformaciones que nos aparecen pueden dividirse en deformaciones lineales y deformaciones angulares.

Se podrán eliminar estas deformaciones y tensiones internas si se siguen las siguientes indicaciones:

- Soldaduras de cordones múltiples

En general se recomienda que una soldadura de varios cordones se realice depositando éstos en el orden que aparece en la figura siguiente. El último cordón conviene que sea ancho para que la superficie de la soldadura sea lisa.

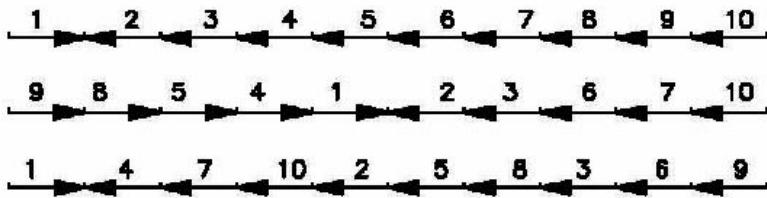


- Soldaduras continuas

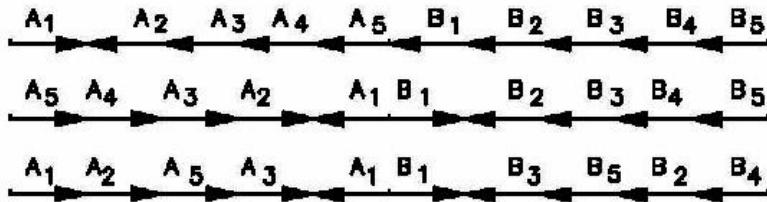
Cuando la longitud de la soldadura no sea superior a 500 mm se recomienda que cada cordón se empiece por un extremo y se siga hasta el otro sin interrupción en la misma dirección.

Cuando la longitud está comprendida entre 500 y 1000 mm se recomienda empezar por el centro de cada dirección.

Los cordones de soldadura de longitud superior a 1000 mm es conveniente hacerlos en "paso de peregrino", sistema del cual se dan diversas soluciones en las figuras siguientes:



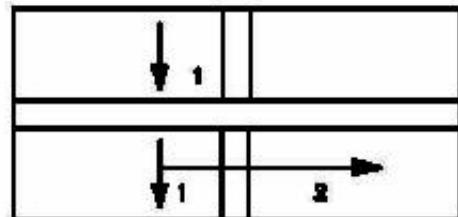
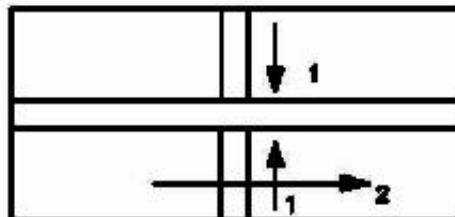
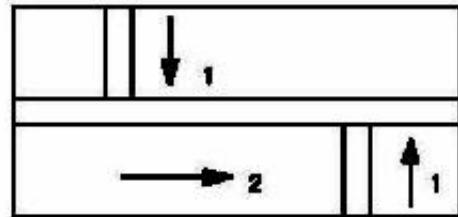
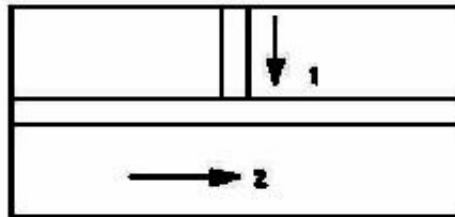
Soluciones para un solo soldador



Soluciones para dos soldadores trabajando al mismo tiempo

- Uniones planas con soldaduras cruzadas

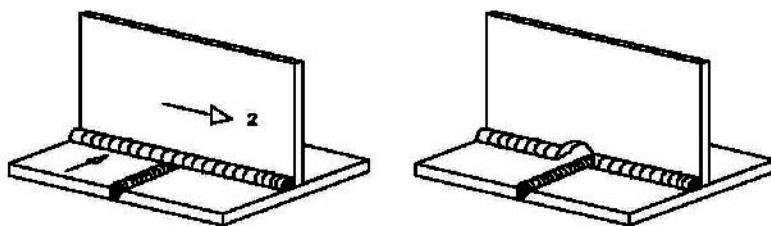
Se recomienda ejecutar en primer lugar las soldaduras transversales, según se indican en las figuras siguientes:



- Uniones en ángulo con soldaduras cruzadas

Cuando sólo son dos los cordones que se cruzan, según las figuras siguientes que se adjunta, debe seguirse la disposición que se marca como correcta, ya que aunque parece que la otra disposición

evita las tracciones biaxiales, el efecto de entalla es más desfavorable que la propia biaxialidad de tracciones.

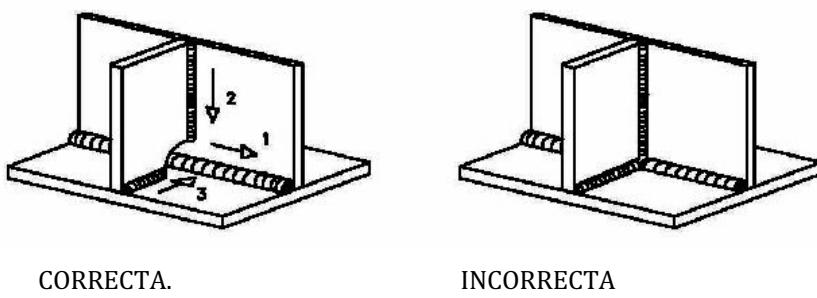


CORRECTA.

INCORRECTA

#### Uniones en ángulo con soldaduras cruzadas (dos cordones)

Cuando se trata de tres cordones como se indica en las figuras siguientes, el efecto de tracción triaxial y su consecuente peligro de rotura frágil recomienda que se utilice la configuración que se marca como correcta, en lugar de la otra, a pesar del efecto de entalla, aunque la mejor solución siempre será la de evitar la concurrencia de tres cordones en un punto.



CORRECTA.

INCORRECTA

#### Uniones en ángulo con soldaduras cruzadas (tres cordones)

### PREPARACIONES DE BORDE

Para ejecutar de forma correcta una soldadura, es necesario realizar previamente una preparación de los bordes de las piezas a unir.

Los tipos de preparaciones de borde serán función de:

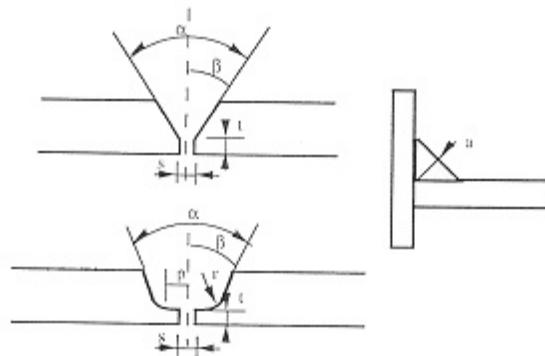
- El espesor de las piezas a unir. Para chapas de hasta 4-5 mm o menos, no es necesario realizar ninguna preparación de borde porque con estos espesores pequeños se consigue una penetración total;
- Del tipo de procedimiento de soldadura a emplear;
- De la posición de soldeo;
- De la forma y dimensiones de las piezas a unir;
- De los útiles disponibles en la zona de trabajo, y

- De las cualidades requeridas en la unión.

En todo caso, hay que tener presente que una preparación incorrecta, mal diseñada o defectuosa en su ejecución es una fuente de futuros defectos en el cordón y de posibles discontinuidades, como por ejemplo, la aparición de grietas.

Para la preparación de los bordes se recurre al oxicorte o el fresado mecánico.

Adjunto se presentan algunos esquemas representativos para la preparación de borde:



de donde,

- s, representa la separación entre chapas o también llamado gap. Su dimensión no debe ser muy estrecha, dado que impediría conseguir una buena penetración, pero tampoco demasiado ancha dado que originaría que el baño se descuelgue. Generalmente habrá que disponer una mayor separación entre chapas cuando se usa electrodo revestido, y menor cuando se emplee sumergido.

-  $\alpha$ , representa el ángulo total del chaflán. El valor de este ángulo deberá estar limitado y no ser muy elevado debido a que daría lugar a excesivas deformaciones, mientras que si es muy cerrado se podría tener problemas en función del diámetro del electrodo empleado. Como valores habituales se toman alrededor de los 50°.

-  $\beta$ , define el ángulo del chaflán a realizar en una de las piezas a unir.

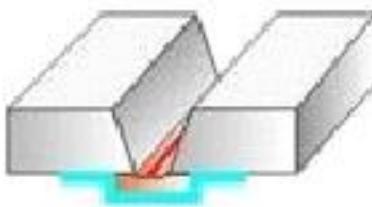
- t, es la altura de talón.

- r, el radio del talón.

- p, es la pestaña.

- a, es la garganta de la soldadura empleado para soldaduras en ángulo. Representa la distancia más corta entre la raíz de la soldadura y la cara de soldadura. La garganta es un factor que va a determinar el tamaño y resistencia de una soldadura.

Para mejorar la primera pasada o pasada de raíz en las soldaduras a tope se suele emplear una pieza de respaldo o "backing", generalmente de tipo cerámico, para sostener el baño e impedir que éste se descuelgue. Su uso también puede estar justificado cuando el espesor de las piezas a unir es demasiado fino.



Por otro lado, su uso también está justificado para evitar el contacto directo de la cara posterior de la soldadura con la atmósfera, evitando así su contaminación. Otra ventaja adicional que justifica su uso es que ayuda a moldear el baño por su cara posterior y reducir la concentración de tensiones en la zona.

### Uniones a tope

A continuación se describen las distintas preparaciones de bordes empleadas de forma común en las soldaduras a tope:

- Unión recta:

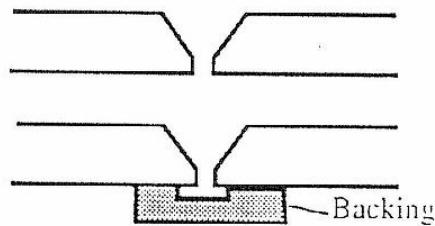


Realmente en este tipo de unión no se realiza preparación alguna de los bordes. Sólo es aplicable para piezas con espesores pequeños (< 5 mm).

El GAP o separación entre chapas se establece entre 0.5-3 mm.

- Unión en "V":

Este tipo de preparación puede ser simétrica ( $\alpha = 2\beta$ ) o no simétrica en caso contrario.



Se emplea sobretodo para espesores de entre 6 y 20 mm de las piezas a unir, y en soldaduras a una cara con backing.

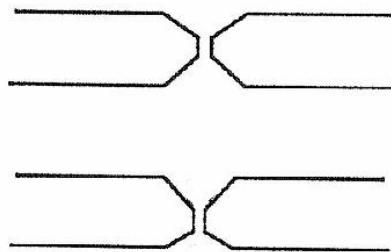
Con este tipo de preparaciones existe el peligro de presentarse una falta de penetración en el cordón de raíz. Por este motivo, el primer cordón debe ser de la mejor calidad posible, por lo que se suele ejecutar mediante procedimiento TIG.

La pieza de respaldo o "backing" se suele emplear para el caso que no sea posible voltear la pieza. En caso que se pueda tener acceso por el otro lado del cordón, se volvería a realizar una pasada por el cordón de raíz para resanarlo.

Como inconveniente en este tipo de preparación es la gran deformación angular que origina.

- Unión en "X":

Igualmente este tipo de preparación puede ser simétrica ( $\alpha = 2\beta$ ) o no simétrica.

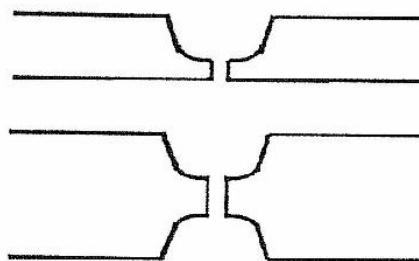


Se suele emplear para espesores mayores de 20 mm. Exige tener accesibilidad por ambas caras.

Asimismo, para corregir o compensar las deformaciones angulares que se puedan originar se suelen realizar de forma asimétricas.

Con este tipo de preparación se economiza el material de aportación.

- Uniones en "U" o en doble "U":

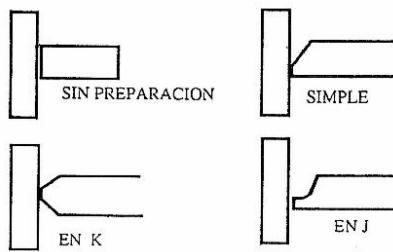


Aplicable solamente a uniones de piezas de gran espesor, donde este tipo de preparación además permite ahorrar material de aporte.

No obstante es un tipo de preparación difícil de ejecutar.

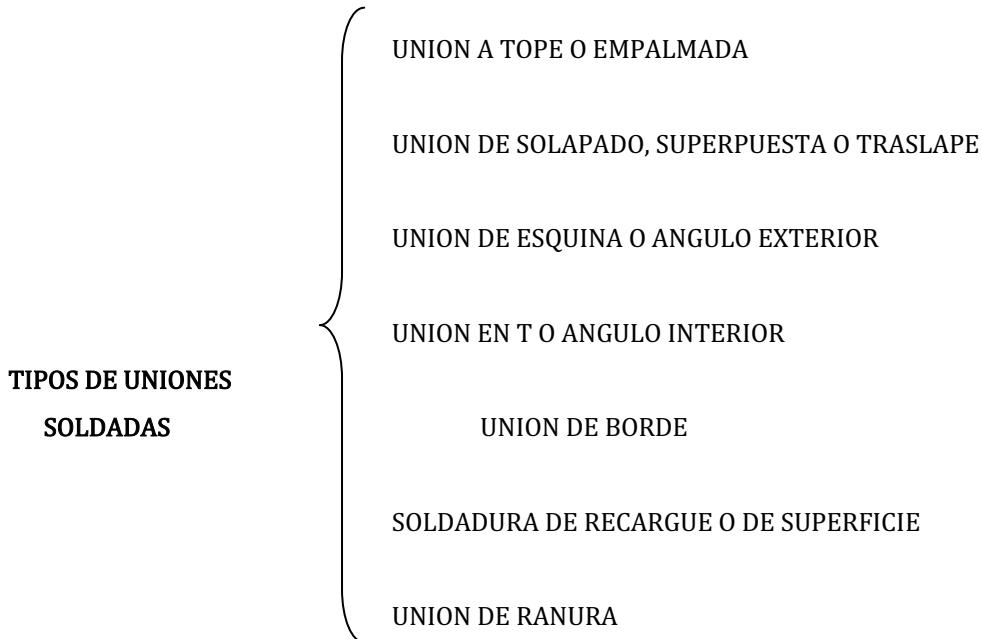
### Uniones en ángulo

A continuación se describen las distintas preparaciones de bordes empleadas de forma común en las soldaduras ejecutadas en ángulo:

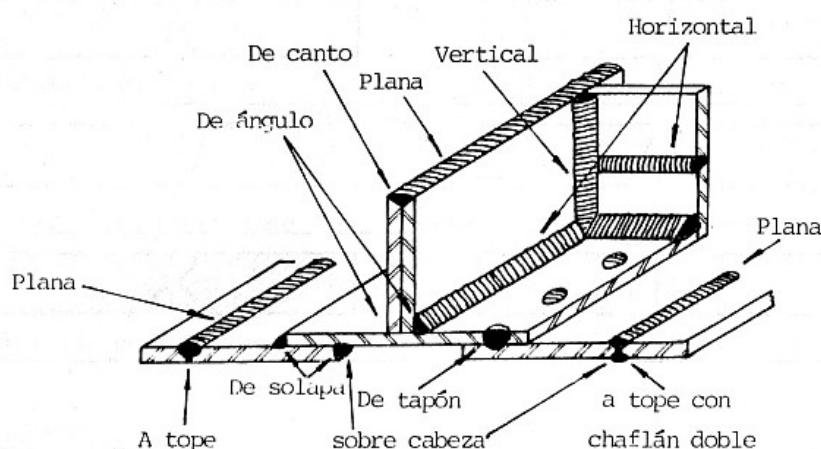


La decisión de realizar preparación o no en una unión en ángulo, y atendiendo sólo a razones económicas es función del espesor de las piezas a unir.

## EJECUCIÓN DE UNIONES SOLDADAS

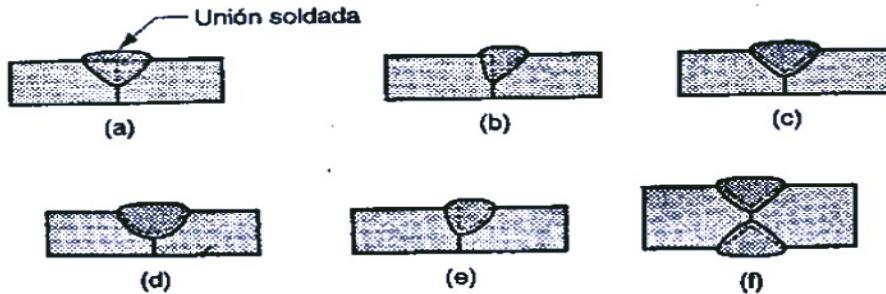


### UNION A TOPE O EMPALMADA



Es la más utilizada y consiste en unir las chapas situadas en el mismo plano para chapas superiores a 6 mm o para soldar por ambos lados, hay que preparar los bordes. El objetivo de esta

soldadura es conseguir una penetración completa y que constituya una transición lo más perfecta posible entre los elementos soldados.



Algunas soldaduras a tope típicas: (a) soldadura a tope cuadrada, un lado; (b) soldadura de bisel único; (c) soldadura a tope en V único; (d) soldadura a tope en U único; (e) soldadura con a tope único; (f) soldadura a tope en V doble para secciones más gruesas.

### Soldadura a tope sin bisel posición plana horizontal

Esta operación consiste en unir piezas por sus bordes, soldadas desde el lado superior en posición plana, siendo la más común y conveniente en todo trabajo del soldador.

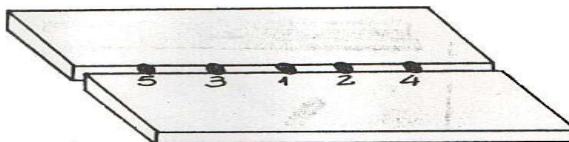
Es usada frecuentemente en las construcciones metálicas, por ejemplo: Cubiertas de barcos, fondos de estanques y carrocerías.

Proceso de ejecución.

- 1 Prepare las piezas.
- 2 Ubique y fije las piezas en posición plana.

Observación: La separación de las piezas varía de acuerdo al espesor de las mismas y al diámetro del electrodo a utilizar.

- 3 Encienda y regule la máquina.
- 4 Ejecute puntos de soldadura.

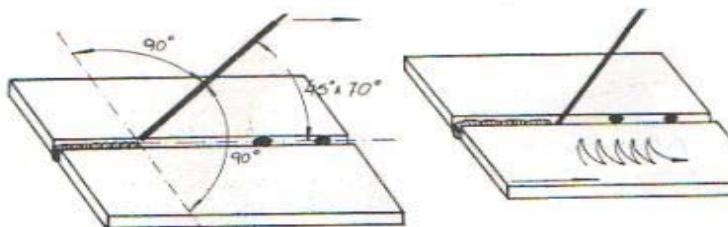


Observación:

- 1 El punteado debe ser alternado.
- 2 Mantenga la separación de las piezas durante el punteado usando cuñas. 3 Regule la intensidad.
- 4 Ejecute puntos de fijación.
- 5 Limpie los puntos con pica escoria y escobilla de acero.

Precaución: Al realizar todo tipo de limpiado de escoria de la soldadura, el operador debe proteger sus ojos con gafas para evitar la proyección de partículas cristalizadas a los ojos.

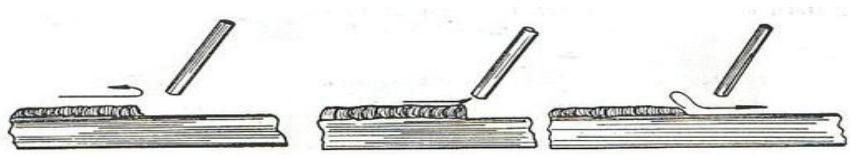
- 6 Inicie la ejecución del cordón de soldadura.
  - a) Incline el electrodo en dirección al avance ( $75^\circ$  aproximadamente).
  - b) Oscile el electrodo cubriendo los bordes.



Observación: Si la penetración es insuficiente, aumente la intensidad de la corriente.

- c) Penetrate a través de ambos bordes hasta la parte inferior manteniendo una velocidad de avance constante.
- 7 Interrumpa el cordón.
- 8 Limpie el cráter.
- 9 Reinicie el cordón.

Observación: Precaliente y rellene el cráter antes de continuar.



10 Finalice el cordón.

Observación: Al finalizar el cordón, llene el cráter depositando material.

11 Limpie todo el cordón con pica escoria y escobilla de acero.

#### Soldadura a tope con chaflán o bisel simple

Tiene por objeto unir piezas de espesores superiores a 3 mm, para lo cual se efectuará un chaflanado o bisel previo a la ejecución de la soldadura, con la finalidad de conseguir la mayor penetración lo que dará a la soldadura una mayor resistencia. Se aplica en construcciones de estanques, trenes, refinerías y construcciones de gran envergadura. Proceso de ejecución: 1 Prepare el material

a) Limpie las piezas biseladas con cepillo de acero

Observación: El talón debe tener la misma altura en ambas piezas.

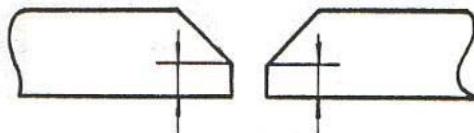


Fig. 1

b) Fije las piezas sobre la mesa de trabajo para evitar las contracciones del material.

2 Encienda y regule la máquina de soldar.

3 Ejecute puntos de fijación.

Observación: Siempre que sea posible, puntee las piezas por la parte posterior del biselado.

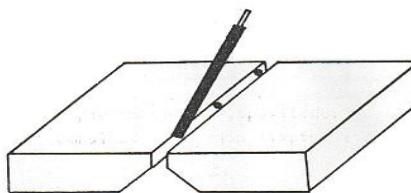


Fig. 2

Al realizar este paso es conveniente usar puntos bajos pero bien fusionados. 4 Limpie los puntos efectuados usando pica escoria y cepillo de acero.

Precaución: Al limpiar los puntos, protéjase los ojos con gafas de seguridad.

## 5 Suelde

### a) Inicie el cordón de raíz

Observación: Al iniciar el cordón, encienda el arco dentro del bisel (fig. 3)

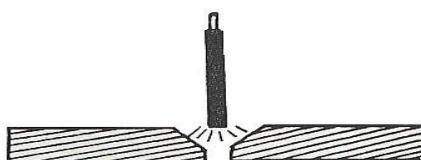


Fig. 3

### b) Incline el electrodo (fig. 4)

### c) Avance oscilando el electrodo (fig. 5)

### d) Finalice y limpie el cordón

## 6 Deposite el resto de los cordones hasta que cubran el bisel (fig. 6)

Observaciones: Después de cada pasada limpie el cordón depositado y en el caso de tener que empalmar, limpie el cráter.

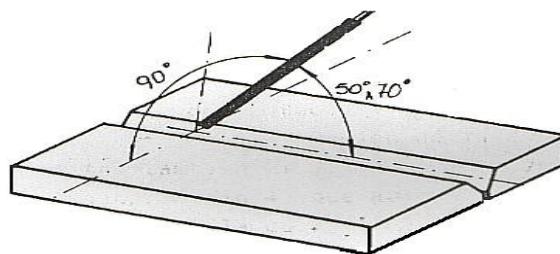


Fig. 4



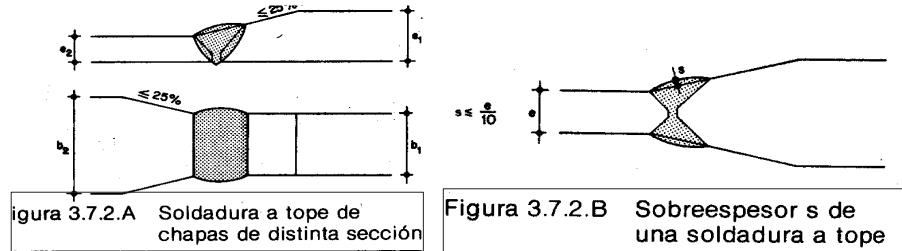
Fig. 5



Fig. 6

En una soldadura a tope de chapas de distinta sección, la de mayo sección se adelgazará en la zona de contacto, con pendientes no mayores que el 25 por 100, para obtener una transición suave de sección.

La soldadura a tope no debe producir discontinuidad en la sección, y su sobreespesor  $s$  no será mayor que el 10 por 100 del espesor  $\underline{e}$  de la chapa más delgada.



### UNION DE SOLAPADO, SUPERPUESTA O TRASLAPE

Este tipo de uniones consiste en dos partes que se sobreponen. Se utiliza normalmente para la fabricación de carrocerías de vehículos. Este tipo de unión da resultados satisfactorios en la sustitución parcial de paneles exteriores, pudiendo verificarse que esta configuración de costura cumple todas las condiciones necesarias para restablecer la resistencia original. En este método hay un solapado de las piezas a unir de unos 12 mm. en la zona de la costura. Este solapamiento se realizará por medio del escalonado de uno de los bordes de la costura, en función de la rigidez de la superficie, bien en el borde que permanece en la carrocería o bien en el de la pieza nueva. Este escalonado se realiza por medio de un alicate de filetear o por medio de una dobladora neumática. Las uniones con solape se podrán realizar mediante alguno de los siguientes métodos de soldadura:

- \_ Soldadura por resistencia eléctrica por puntos.
- \_ Soldadura MIG/MAG.



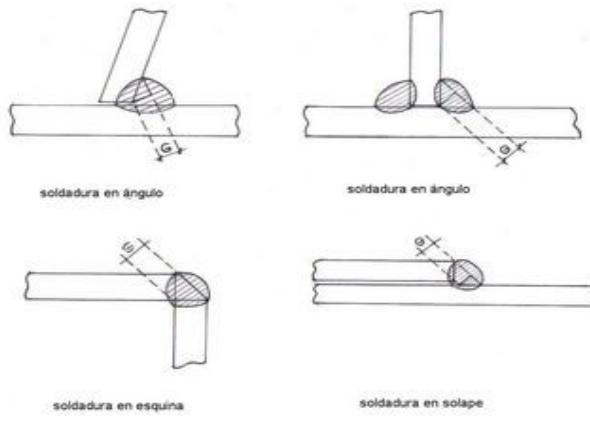
### UNION DE ESQUINA O ANGULO EXTERIOR Y EN T

Consiste en unir dos chapas situadas en distinto plano bien ortogonales o superpuestas, para llenar los bordes de las placas creadas mediante uniones de esquina, sobrepuertas y en T, igual que en la siguiente figura. Se usa un metal de relleno para proporcionar una sección transversal de

aproximadamente la forma de un triángulo. Es el tipo de soldadura más común en la soldadura con arco eléctrico y en la de oxígeno y gas combustible porque requiere una mínima preparación de los bordes; se usan los bordes cuadrados básicos de las partes. Las soldaduras de ángulo o filete pueden ser sencillas o dobles (esto es, soldarse en uno o ambos lados) y continuas o intermitentes (esto es, soldadas a lo largo de toda la longitud de la unión o con espacio sin soldar a lo largo de una orilla). La soldadura en ángulo puede ser en ángulo de esquina o en solape. Se realiza con cordón continuo de espesor de garganta **G**, siendo **G** la altura del máximo triángulo isósceles inscrito en la sección transversal de la soldadura (ver gráfico). Si la longitud del cordón no supera los 500 mm, para su ejecución se comienza por un extremo siguiendo hasta el otro. Cuando la longitud se encuentra entre 500 mm y 1000 mm, la soldadura se ejecuta en dos tramos, iniciándola en el centro. Cuando la longitud supera los 1000 mm, la soldadura se ejecuta por cordones parciales, terminando el tramo donde comienza el anterior. Las esquinas de chapas donde coinciden los puntos de cruce de cordones, debe recortarse para evitar el cruce. Nunca se ejecuta una soldadura a lo largo de otra ya realizada.

Los parámetros en cuanto al ángulo de avance suelen ser de 60 grados aproximadamente, el ángulo de posicionamiento con la pieza es de 45 grados, o sea la mitad de 90 grados que forman las piezas a unir.

Se deberá indicar en los planos del proyecto el tipo de soldadura y sus medidas (longitud y espesor de garganta **G**). Los planos de taller deben indicar la preparación de bordes.

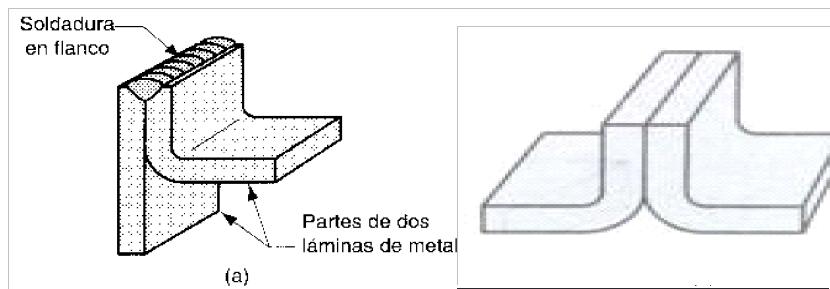


Cordón de Soldadura en Ángulo - G.

## UNION DE BORDE

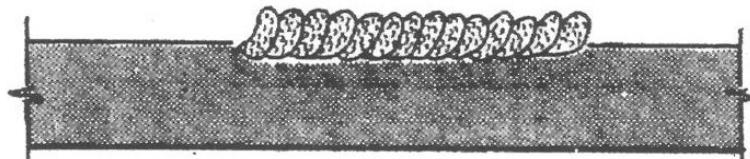
Una soldadura en flanco se hace en los bordes de dos (o más) partes, por lo general láminas metálicas o placas delgadas, en donde las partes en una unión de bordes están paralelas con al menos uno de sus bordes en común y la unión se hace en el borde común.

Se utiliza normalmente para espesores finos sin aporte de material (soldadura oxiacetilénica y TIG), el procedimiento de soldeo es crear un baño de fusión con el metal base y desplazarlo por toda la junta. Los ángulos de avance y posicionamiento son iguales que en la posición horizontal pero se realiza de derechas a izquierdas, para que la atmósfera inerte producida por la llama o el gas proteja el baño de fisión.



### SOLDADURA DE RECARGUE O DE SUPERFICIE

Una soldadura en superficie no se usa para unir partes, sino para depositar metal de relleno sobre la superficie de una parte base en una o más gotas de soldadura. Las gotas de soldadura se incorporan en una serie de pasadas paralelas sobrepuertas, con lo que se cubren grandes áreas de la parte base. El propósito es aumentar el grosor de la placa o proporcionar un recubrimiento protector sobre la superficie. Los parámetros a tener en cuenta en cuanto al ángulo de avance y de posicionamiento son los mismos que en la posición horizontal.



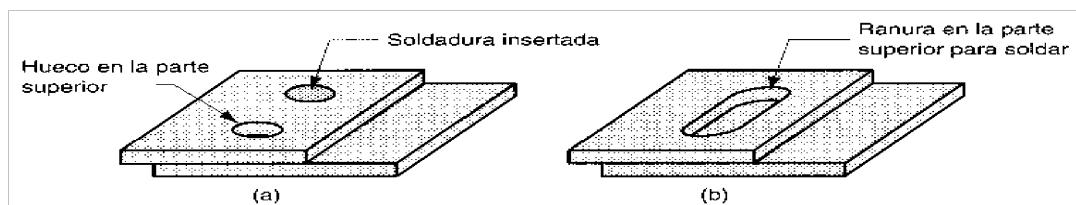
**SOLDADURA DE RECARGUE**

Se suele utilizar para el rectificado de ejes y los cordones habrá que ejecutarlos alternadamente (paso peregrino), para evitar deformaciones debido a las tensiones producidas por altas temperaturas que origina la soldadura. Al aver aumentado su diámetro con los cordones de soldadura procederíamos a su rectificado en la maquina adecuada.



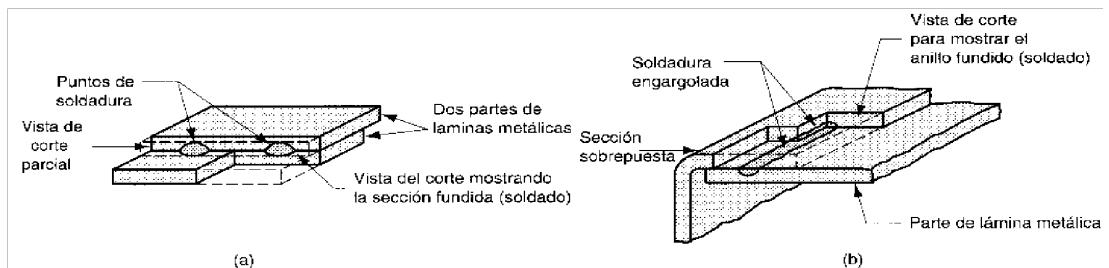
## SOLDADURA DE RANURA

Las soldaduras con insertos y las soldaduras ranuradas se usan para unir placas planas, como se muestra en la siguiente figura, usando uno o más huecos o ranuras en la parte superior, que después se llenan con metal para fundir las dos partes.



**(a) Soldadura con inserto y (b) soldadura en ranura.**

La soldadura de puntos y la soldadura engargolada, usadas para uniones sobrepuertas, se muestran en la siguiente figura. Una soldadura de puntos es una pequeña sección fundida entre las superficies de dos chapas o placas. Normalmente se requieren varias soldaduras de puntos para unir las partes. Se asocia más estrechamente con la soldadura por resistencia. Una soldadura engargolada es similar a una de puntos, excepto que consiste en una sección fundida más o menos continua entre las dos chapas o placas.



**(a) Soldadura de puntos (b) soldadura engargolada.**

## **TRATAMIENTOS TERMICOS DE LAS SOLDADURAS.**

Durante el proceso de soldadura se generan efectos indeseables en el material, los principales son:

- Generación de tensiones residuales que pueden producir fragilidad en piezas de gran espesor o distorsión en piezas de poco espesor, estas tensiones son de dos tipos: de tracción y de compresión.
- Absorción de hidrógeno en la soldadura, debido a factores ambientales o a la utilización de material de aportación en condiciones inadecuadas.
- Modificación de la estructura del metal aumentando la dureza de la zona afectada por el calor y produciendo fragilidad o favoreciendo la aparición de corrosión inducida por estrés o fisuras por la presencia de hidrógeno en la soldadura.

Con el fin de mitigar la influencia de estos efectos no deseados, las uniones soldadas requieren el calentamiento controlado tanto del metal base como del metal de soldadura. Estos procedimientos de calentamiento, mantenimiento y enfriamiento controlado, se pueden dar antes, durante y después del proceso de soldadura y afectan a las propiedades mecánicas de la unión soldada, unos parámetros erróneos en las velocidades de enfriamiento o calentamiento, o en los tiempos y temperaturas de mantenimiento, pueden ocasionar que las propiedades mecánicas de la soldadura no sean las adecuadas.

Al conjunto de técnicas consistentes en aplicar calor, de forma controlada, a la unión soldada lo llamaremos tratamientos térmicos de la soldadura.

Emplearemos dos formas de agruparlos:

- Por la temperatura alcanzada: subcríticos e hipercríticos.
- Por el momento en el que se realizan: bake-out, precalentamiento, post calentamiento y tratamiento térmico posterior a la soldadura.

### **Bake-out (desgasificado, deshidrogenado, outgassing)**

Precalentamiento con la finalidad de eliminar el hidrógeno presente en una pieza, antes de proceder a realizar un trabajo en ella, generalmente soldaduras de reparación o mecanizados. Consiste en elevar la temperatura del metal para conseguir que el hidrógeno molecular que pueda estar presente en la pieza, debido a las condiciones de servicio, pueda pasar a estado atómico y difundir fuera, para reducir el riesgo de fisuración en frío durante el proceso de soldadura.

### **Precalentamiento / Temperatura entre pasadas**

El precalentamiento implica calentar el metal de base, ya sea en su totalidad o sólo la región que rodea la junta antes de la soldadura, a una temperatura específica.

La temperatura de precalentamiento tiene como principal función disminuir la velocidad de enfriamiento de la soldadura. Debe ser alcanzada en todo el espesor y en una zona suficientemente ancha a ambos lados de la junta del material base antes de que comience el proceso de soldadura.

### **Postcalentamiento (deshidrogenado)**

El principal objetivo del postcalentamiento, consiste en reducir la cantidad de hidrógeno presente en la soldadura y el metal base adyacente con el fin de reducir el riesgo de fisuras inducidas por la presencia del hidrógeno o fisuración retardada pues esta puede aparecer al cabo de varias horas o días cuando la pieza se encuentra a temperatura ambiente. Este proceso de calentamiento tiene una gran importancia en la soldadura de aceros de alta resistencia o aleados, sobre todo cuando existe el riesgo de haber introducido hidrógeno en la zona de soldadura por no haber respetado, las temperaturas de precalentamiento o el secado del material de aporte.

Cuando se va a realizar un postcalentamiento se debe mantener la temperatura de precalentamiento, hasta que se inicie el mismo.

El postcalentamiento también se emplea cuando va a existir un periodo de tiempo entre que se acaba la soldadura y se inicia el tratamiento térmico de la soldadura.

### **Tratamiento térmico posterior a la soldadura (PWHT).**

Los tratamientos térmicos posteriores a la soldadura, en aceros al carbono y aceros de baja aleación son ciclos térmicos que se realizan a temperaturas inferiores a la temperatura crítica de transformación Ac1, son tratamientos subcríticos, puesto que no se busca una recristalización de la microestructura (pasar de una estructura cubica centrada en el cuerpo a una estructura cubica centrada en las caras).

A pesar de estos inconvenientes en algunos casos se deben realizar tratamientos térmicos localizados a temperaturas de recristalización como en el caso del Normalizado y del Hipertemper.

El tratamiento térmico posterior a la soldadura tiene efectos beneficiosos para la soldadura, como: reducción de tensiones residuales, eliminación de hidrógeno y revenido de microestructuras duras. Estos efectos beneficiosos mejoran la estabilidad dimensional, reducen el riesgo de aparición de fisuras inducidas por el hidrógeno y mejoran algunas propiedades del material como la resistencia al impacto, la ductilidad o la resistencia a la corrosión.

La necesidad de realizar un tratamiento térmico posterior a la soldadura, normalmente viene determinada por los requisitos de diversos códigos constructivos o por las condiciones de servicio a las que se verá sometido el material.

## **PATOLOGÍAS DE LAS UNIONES SOLDADAS.**

En la realización de las uniones soldadas existen distintos puntos críticos que dan lugar a la aparición discontinuidades, y que una vez ejecutadas pueden desembocar en defectos que mermen las propiedades resistentes de los propios cordones de soldadura.

La presencia de estas discontinuidades en los cordones de soldadura no son siempre visibles, por lo que requerirá del empleo de técnicas de inspección o ensayos para su detección.

La realización de estos ensayos (unas veces serán ensayos de tipo no destructivos y otras serán de tipo destructivos) permitirán la identificación de aquellos cordones que sean defectuosos para su subsanación o reemplazo. En otros casos, será suficiente una inspección visual para detectar defectos en la soldadura, por ser estos de naturaleza externa.

### **Factores que intervienen en la aparición de defectos**

Son muchos los aspectos a tener en cuenta a la hora de ejecutar una unión soldada y su falta de control puede conducir a la aparición de defectos en la soldadura. Estos factores se pueden agrupar, según la secuencia de los trabajos, en:

- Trabajos previos: la aparición de defectos en el cordón de soldadura puede ser debida, básicamente, por la falta de una correcta preparación de bordes de las piezas a unir;
- Durante el proceso de soldeo: definir y controlar los parámetros de soldeo (intensidad y tensión de corriente en el caso de soldaduras eléctricas, velocidad de avance del electrodo, caudal de gas...) es muy importante para evitar discontinuidades en el baño de fusión que terminarán por originar defectos en el cordón de soldadura.
- En la fase posterior al proceso de soldeo (post-soldadura): el ritmo de enfriamiento del conjunto soldado y el cómo se lleve a cabo este enfriamiento puede condicionar la aparición de discontinuidades en el propio cordón.

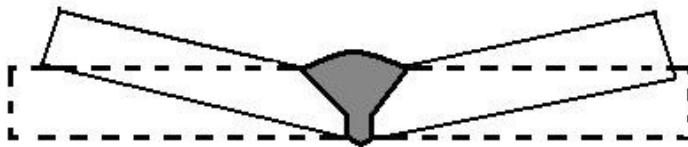
### **DEFECTOS EXTERNOS EN LA SOLDADURA**

Los defectos externos en la soldadura, en general, son los más fáciles de apreciar. A continuación se exponen los casos de defectos externos más comunes que se presentan en las uniones soldadas:

- Deformaciones y alabeos de las piezas soldadas;
- Defectos derivados de una preparación incorrecta previa al soldeo;
- Dimensiones o perfil incorrecto en la geometría del cordón de soldadura.
- Falta de alineación de las piezas soldadas;
- Presencia de defectos superficiales en el cordón de soldadura (mordeduras, formación de cráteres, poros...);
- Imperfecciones externas derivadas de un mal cebado del arco;
- Descuelgues del cordón de soldadura.

## **Deformaciones y alabeos**

La presencia de deformaciones y alabeos del conjunto soldado tiene su origen en la presencia de tensiones residuales que se genera por el aporte de calor durante la ejecución de la soldadura para mantener fluido el baño de fusión.



Este tipo de defecto, una vez que ocurre, es difícil de eliminar por lo que es muy conveniente prevenir la aparición de tales deformaciones antes que intentar recuperar la geometría inicial del conjunto una vez que éste se ha deformado.

En general, una adecuada elección de la secuencia de soldeo y seguir cierta simetría en la distribución y el diseño de los cordones de soldadura ayudará a limitar la aparición de deformaciones y alabeos en el conjunto soldado.

En cuanto a la manera de detectar este tipo de imperfecciones, en algunos casos una inspección visual determina la presencia de deformaciones y defectos en la geometría final del conjunto soldado, en otros, es necesario emplear aparatos de medidas para detectar las desviaciones producidas respecto a la geometría inicial de las piezas.

## **Preparación incorrecta**

Una preparación incorrecta previa a la ejecución de la unión soldada, puede ser el origen de otras discontinuidades o defectos que pueden invalidar el propio cordón una vez realizado.

Aspectos como cuidar la separación entre las piezas a unir, o la elección correcta del tipo de cordón a ejecutar en función del espesor y del procedimiento de soldadura, ayudarán a prevenir la aparición futura de defectos.

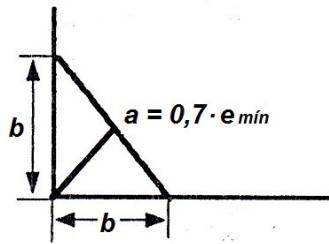
Por último, recordar la importancia de disponer de aparatos de medidas (calibrador, etc.) que permitirán una inspección y control de las variables que rigen los trabajos de preparación previa de una soldadura.

## **Geometría incorrecta del cordón de soldadura**

Se entiende como geometría incorrecta del cordón de soldadura a la debida tanto a unas dimensiones incorrectas dadas al cordón de soldadura como a una forma geométrica no adecuada de su perfil.

- Dimensiones incorrectas de la soldadura:

Básicamente se refiere a un cuello o espesor de garganta inadecuado, problemas por sobre-espesor o su contrario, falta de espesores del cordón, así como a los descuelgues que se produzcan del cordón de soldadura.



El origen para que se produzcan dimensiones incorrectas del espesor de garganta de la soldadura pueden ser:

- Un avance lento en la ejecución del cordón;
- Empleo de electrodos demasiado gruesos;
- Manejo inadecuado de la pinza portaelectrodos;
- Emplear una secuencia de deposición de cordones inadecuada.

Un espesor de garganta diferente del que debiera tener influye en la capacidad resistente del cordón.

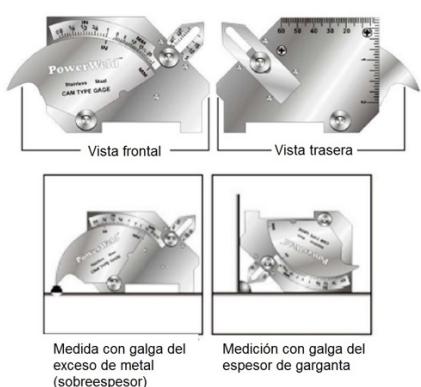
Para los casos de sobre-espesor del cordón de soldadura por un aporte excesivo de material, su origen se debe a factores como:

- Velocidad de avance excesivamente lenta;
- Empleo de electrodos demasiado gruesos;
- Número de pasadas excesivas

Para los casos contrarios de falta de espesor, las causas serían las contrarias a las mencionadas anteriormente.

Ante un defecto por dimensión incorrecta del cordón, puede actuarse rellenando con una nueva soldadura sobre la anterior hasta alcanzar el espesor final deseado para casos de falta de espesor. En otros casos, la solución pasa por eliminar completamente la soldadura ejecutada y volver a soldar.

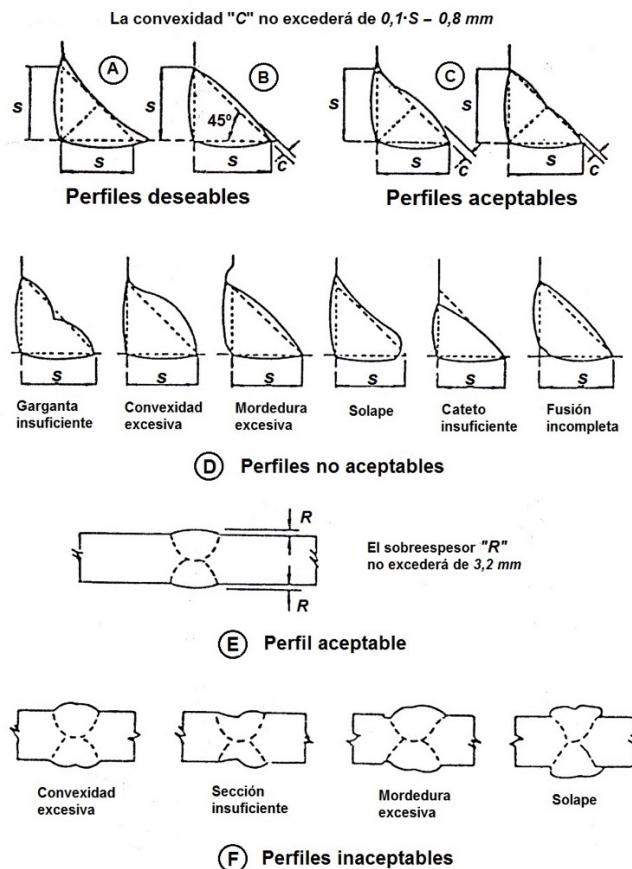
Para comprobar las dimensiones alcanzadas en los cordones de soldadura una vez ejecutados se emplean galgas de soldadura.



- Perfil incorrecto:

La forma del perfil del cordón que se consigue en soldadura manual depende mucho de la pericia del soldador. Soldadores más experimentados ejecutarán cordones de mejor aspecto y con el perfil adecuado. Pero no sólo de la experiencia del soldador depende la forma conseguida de la soldadura. Así si los parámetros de soldeo no son los adecuados también pueden dar lugar a un perfil incorrecto del cordón.

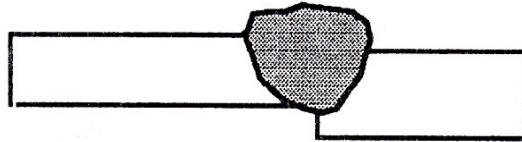
Un perfil incorrecto del cordón de soldadura tiene influencia sobre el comportamiento mecánico que ofrezca el cordón. En efecto, geometrías defectuosas en la realización del perfil del cordón puede producir concentración de tensiones que terminan mermando la capacidad resistente del propio cordón y su agotamiento prematuro por fatiga ante cargas dinámicas.



Ante un defecto por perfil incorrecto del cordón, puede actuarse amolando la superficie exterior de la soldadura hasta conseguir la forma deseada si se trata de un cordón final, y si se trata de un cordón entre pasadas se puede corregir controlando de una forma más exhaustiva los próximos cordones a ejecutar, o bien eliminando el cordón defectuoso antes de depositar los siguientes sobre él.

## Falta de alineación

En este caso los bordes a unir de las distintas piezas no están en el mismo plano, por lo que existe una falta de alineación entre bordes enfrentados.



El origen por el cual se puede producir una falta de alineación entre bordes puede ser debido a:

- Una mala preparación previa, no prestando especial atención en el posicionamiento inicial de las piezas a soldar;
- Por producirse una deformación excesiva originada durante el proceso de soldadura, relacionada con una elección errónea de la secuencia de soldeo o un deficiente diseño ligado a una mala simetría en la distribución de los cordones de soldadura.

Este tipo de defectos tiene una incidencia sobre el comportamiento mecánico y resistente de la soldadura, debido a que suelen generar puntos de concentración de tensiones que terminan por fragilizar la soldadura. Además puede servir de origen a otros defectos que pueden producirse, como por ejemplo, que exista una mala fusión del cordón.

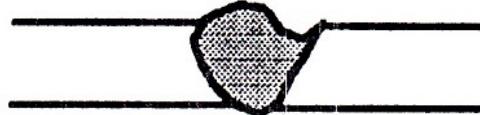
Para evitar este tipo de defectos se recomienda emplear un tiempo inicial en labores de preparación previa, controlando, mediante inspección inicial, una correcta alineación de bordes.

## Defectos superficiales

Dentro de los llamados defectos superficiales de la soldadura se engloba a una serie patologías que afectan al aspecto visual de la superficie del cordón, como son, mordeduras, cráteres, poros y otras irregularidades. A continuación se estudian cada una de ellas.

### - Mordeduras:

En la figura adjunta se puede apreciar el aspecto que presenta un cordón de soldadura con mordedura.



El origen por el cual se puede producir este tipo de defectos puede ser muy diverso, como:

- Empleo de una intensidad elevada de corriente eléctrica;
- Uso del electrodo empleando una velocidad incorrecta en su avance;
- Uso de un electrodo con diámetro excesivo;

- Un manejo incorrecto de la pinza porta-electrodos.

Este tipo de defectos tiene una incidencia sobre el comportamiento mecánico y resistente de la soldadura, debido a que suelen generar puntos de concentración de tensiones que terminan por fragilizar la soldadura. Además puede servir de origen a otros defectos de naturaleza interna que pueden producirse en el cordón.

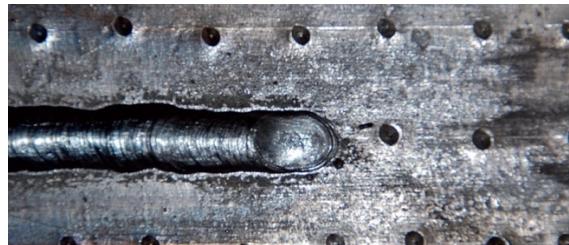
Este tipo de defecto es muy típico que se presente cuando existe un mal control de los parámetros de soldeos, así como cuando las soldaduras han sido ejecutadas por operarios poco cualificados.

Como norma general, cuando aparecen mordeduras en el cordón su remedio pasa por la eliminación completa del cordón y se nueva ejecución.

- Cráteres:

Los cráteres en la soldadura tienen su origen en los momentos de interrupción brusca del arco.

Cada vez que se interrumpe el establecimiento del arco, se provoca una especie de hondonada, similar a un cráter, en el metal base.



Cada vez que se origina un cráter, es recomendable volver a llenar con deposiciones de soldadura, pues de lo contrario puede dar origen a la formación de agrietamientos, e incluso otros defectos de naturaleza interna.

También se pueden eliminar mediante amolado de la zona y volviendo a verter un cordón que comience en un punto anterior al cráter, para dar uniformidad. En todo caso, siempre es aconsejable un adecuado manejo de la pinza porta-electrodo para evitar interrupciones no deseadas del arco eléctrico que den origen a la formación de cráteres.

- Poros:

Los poros son defectos que se producen en la superficie del cordón en forma de pequeños agujeros. Su origen puede ser muy diverso, por ejemplo, por soldar con una intensidad de corriente más elevada de lo que corresponde, por separar en demasiado el electrodo del baño de fusión originando un arco demasiado largo que fomenta la presencia de aire, por emplear electrodos húmedos, etc.

Si los poros se originan en la superficie de cordones interiores que van a ser rellenados por otros en sucesivas pasadas, pueden dar origen a discontinuidades internas, por lo que se recomienda su eliminación.

En definitiva, factores como falta de habilidad por parte del operario soldador, de un control inadecuado de los parámetros de soldeo (intensidad de corriente, polaridad, velocidad de avance...), establecimiento de un arco errático o inestable, o fallos en la elección del electrodo, son determinantes para que aparezcan irregularidades en el aspecto final del cordón de soldadura.

## **Cebado inadecuado del arco**

El proceso de soldadura por arco eléctrico comienza con el cebado o establecimiento del arco, operación mediante la cual se forma el arco eléctrico entre el extremo del electrodo y la pieza a soldar.

Este instante mientras dura el "arranque" del arco es especialmente crítico, dado que si no se hace de forma adecuada terminará con la formación de picaduras en la pieza del metal base.

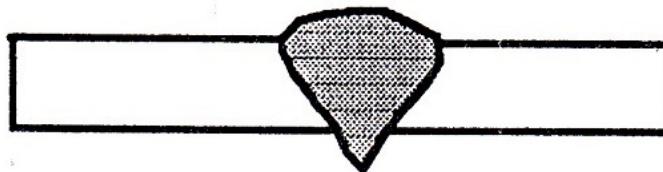
Corresponde al operario y su pericia conseguir un establecimiento del arco correcto que evite la formación de irregularidades, como son las picaduras en la superficie de la pieza.

Estas picaduras superficiales que se forman por un mal cebado del arco pueden dar lugar a defectos que afecten al comportamiento mecánico del conjunto soldado.

Generalmente, estas picaduras superficiales se suelen eliminar mediante un esmerilado y posterior aporte de soldadura para restablecer el espesor final del cordón.

## **Descuelgues**

Los descuelgues en los cordones de soldaduras se originan principalmente por un exceso de fusión del baño de soldadura.



Un exceso de fusión puede originarse si los parámetros de soldeo (velocidad e intensidad de corriente) no son los adecuados. De hecho, una velocidad lenta en el avance del electrodo, o emplear un nivel de intensidad de corriente alta, producen un exceso de fusión del baño, y por tanto, un mayor riesgo que se produzcan descuelgues en el cordón.

Pero además, los defectos por descolgaduras son también muy común en determinadas posiciones de soldeo, como son las posiciones en cornisa, en techo y en vertical.

Las irregularidades superficiales que constituyen los descuelgues del cordón pueden dar lugar a defectos que afecten al comportamiento mecánico del conjunto soldado, por lo que se aconseja su eliminación una vez producidos.

## **DEFECTOS INTERNOS EN LA SOLDADURA**

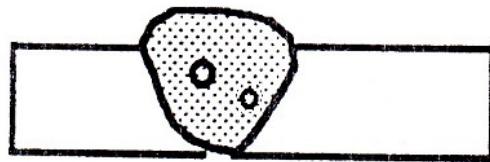
Los defectos internos suelen necesitar de instrumentos de inspección (como rayos X) o de ensayos metalográficos para su detección. A continuación se exponen los casos de defectos internos más comunes que se presentan en las uniones soldadas:

- Presencia de porosidades internas;

- Inclusiones de elementos no metálicos en el interior del cordón;
- Falta de fusión;
- Falta de penetración;
- Grietas.

## Porosidades

Comenzamos el estudio de las discontinuidades internas en las soldaduras con las porosidades en el interior de los cordones.



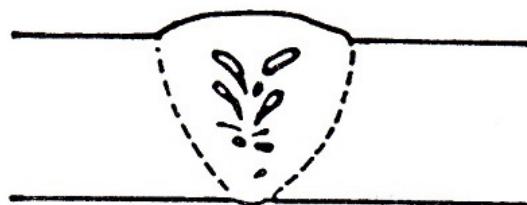
Las porosidades suelen ser consecuencia de reacciones químicas que se producen en el baño de fusión y que dan lugar a la formación de gases.

Este hecho, unido a un posible enfriamiento rápido del cordón, hace que estos gases interiores no tengan tiempo suficiente para evacuarse hacia el exterior, quedándose recluidos y formando pequeñas burbujas o porosidades en el interior.

Estas porosidades internas merman la resistencia mecánica del cordón, dado que son el origen de futuras grietas que terminan propagándose hasta la superficie produciendo el colapso de la soldadura por fatiga ante la acción de cargas dinámicas.

En las zonas donde se produce una interrupción y posterior reanudación del arco suelen aparecer también porosidades internas en el cordón. Generalmente va acompañado de falta de penetración o fusión del baño.

Hay un tipo de porosidad con forma alargada, denominada de tipo vermicular, que aparece cuando queda atrapado gran cantidad de gases en el interior del baño de fusión. Suelen ser típicas cuando se emplean electrodos básicos con revestimiento húmedo.



En general, las causas para que aparezcan porosidades internas en el cordón de soldadura suelen ser las siguientes:

- Empleo de electrodos inadecuados;
- Flux húmedo;
- Metal base con un alto contenido en C y S;
- Velocidad de soldeo excesivamente alta;
- Presencia de impurezas superficiales;
- Alto voltaje;
- Uso de bajo caudal de CO<sub>2</sub>;
- Oxidación de los alambres;
- Mala preparación de bordes.

Por último, reseñar que para detectar este tipo de discontinuidades se hace necesario el empleo de ensayos de inspección no destructivos.

### **Inclusiones de escorias**

Este tipo de discontinuidad consiste en que partículas de escorias quedan aprisionadas durante la solidificación del baño.

Generalmente, las partículas de escorias que quedan ocluidas en el interior provienen del revestimiento del electrodo, y en otras ocasiones son el resultado de reacciones químicas que tienen lugar en el baño de fusión.

Las hay de varios tipos: escorias aisladas, escorias alineadas e incluidas en la raíz.

Las escorias aisladas que aparecen en el baño tienen su origen en:

- Una deficiente preparación del chaflán;
- Un manejo incorrecto del electrodo;
- Empleo de baja intensidad de corriente;
- Uso de un electrodo de diámetro excesivamente grande;
- Falta de limpieza en el proceso.

En otras ocasiones aparecen las escorias alineadas. Esto es típico en soldaduras que se han realizado con pasadas múltiples, y donde las escorias quedan ocluidas entre los cordones de sucesivas pasadas.

En este caso, las causas más comunes por las que aparecen escorias alineadas son:

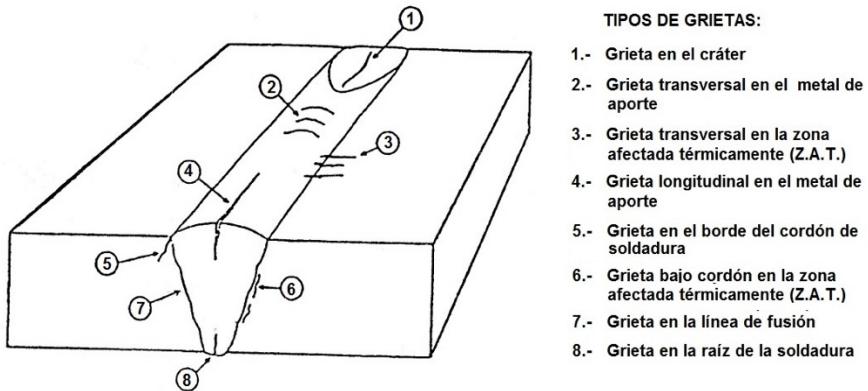
- Falta de limpieza en el proceso;
- Chaflán demasiado cerrado;
- Empleo de baja intensidad de corriente;
- En general, una mala preparación de borde.

Por último, hay otro tipo de escoria que aparece atrapada en el fondo del cordón. Este tipo de escorias se producen cuando se emplean electrodos de diámetro incorrecto o se hace un manejo inadecuado

del mismo, o cuando hay una mala preparación previa (poca separación entre piezas, o un ángulo de chaflán muy agudo).

## Grietas

Las grietas son discontinuidades producidas por una rotura localizada, debido a que en ese punto las tensiones locales que se producen son superiores a la carga de rotura del material.



Básicamente se pueden distinguir dos tipos de grietas atendiendo a su localización: grietas localizadas en el metal de aporte y grietas localizadas en el metal base.

### - Grietas en el material de aporte

Estas grietas tienen que ver mucho con la calidad que tenga el metal de aporte, y si tiene defectos o falta de homogeneidad. También dependerá mucho de las condiciones de ejecución de la soldadura. Por ello, una forma de reducir el riesgo de producir grietas es cuidando la manipulación del electrodo, evitar velocidades excesivamente altas de avance del electrodo o dando un precalentamiento previo a la pieza a soldar.

Un tipo de grietas que aparece en el metal de aporte son las grietas transversales (ver figura). Estas grietas son perpendiculares al eje de la soldadura, de ahí su nombre y pueden llegar a penetrar en el metal base. Pueden producirse debido a la presencia de un contenido excesivo de Mn en el baño. Se originan por tensiones elevadas y/o estructuras de temple, y por lo general son difíciles de reparar.

Las grietas longitudinales (ver figura) se producen en el centro de la soldadura en dirección paralela a su eje. Tienen mucha probabilidad de aparecer cuando el conjunto soldado tiene una rigidez excesiva. Típicas en aceros aleados o con excesivo C, y en aceros con elevado contenido en P y S, apareciendo cuando se emplean electrodos que son inadecuados o con presencia de humedad en su revestimiento. Además pueden aparecer cuando se utiliza una lenta velocidad de soldeo o una mala secuencia. También existe riesgo de aparecer este tipo de grietas cuando se produce un enfriamiento muy rápido del baño.

La presencia de grietas en el cráter también es muy común. Como sabemos los cráteres se forman en aquellos puntos donde ocurre una interrupción brusca en el establecimiento del arco entre electrodo y pieza. Los cráteres son zonas donde se produce una concentración de tensiones, y por lo tanto, esto puede ser causa de generación de grietas. Para aliviar este estado tensional en los cráteres se le puede someter a la pieza a un precalentamiento previo, además de un mayor control de la velocidad de enfriamiento para que esta sea menor. Además también se puede actuar depositando una mayor cantidad de material de aporte sobre el cráter, para lo cual es imprescindible un adecuado manejo del electrodo.

- Grietas localizadas en el metal base:

Estas grietas aparecerán en la zona afectada térmicamente (Z.A.T.) del metal base y su aparición está muy relacionada con la soldabilidad del metal base.

Por lo tanto, son causas metalúrgicas las que más van a influir en la formación de grietas en el metal base, como puede ser el tipo de aleación que se trate y que influya de manera notable en su mayor o menor grado de soldabilidad.

Para mejorar las condiciones de soldabilidad del metal base conviene someterlo previamente a un precalentamiento, y reducir la velocidad de enfriamiento del conjunto soldado. Es importante también la elección correcta del tipo de electrodo en función de la calidad del metal base.

## **INSPECCIÓN Y ENSAYOS DE LAS SOLDADURAS**

Los procesos de soldeo están presentes en nuestro entorno en cualquier tipo de construcción, ya sea de máquinas, de barcos, de trenes, aviones, de puentes, de coches, o en cualquier tipo de unión formado por diferentes piezas, subconjuntos, conjuntos, etc. Las piezas y elementos soldados requieren de la verificación de cómo se elaboró el proceso de fabricación y también sirven para mantenimiento preventivo a nivel industrial, pues la presencia de grietas, nudos, escoria e imperfecciones puede causar la rotura de las piezas.

Los métodos de comprobación de soldaduras pueden agruparse en tres categorías.

### **ENSAYOS DESTRUCTIVOS**

Implican la destrucción total de algunas muestras extraídas de un lote de piezas idénticas. Por ejemplo, depósitos pequeños inflados hidráulicamente hasta rotura, la cual ha de producirse en un sitio que no sea la soldadura.

Toma de porciones de soldadura para someterlas a ensayos mecánicos: tracción, fragilidad, dureza, fatiga, doblado; o a exámenes micrográficos o macrográficos.

**OBSERVACIÓN:** Estas tomas de muestras se efectúan frecuentemente en prolongaciones previstas al efecto de ese modo, el ensayo no destruye la pieza.

### **ENSAYOS SEMIDESTRUCTIVOS**

Se realizan con muestras extraídas en la junta soldada, pero sin llegar a destruirlas, permitiendo la posibilidad de tornarlas de nuevo. Se emplean tres métodos.

Método Schmuckler que consiste en practicar una ranura en la soldadura con una fresa.

Se vierte en la ranura un reactivo apropiado que hace aparecer defectos, tales como poros, grietas, pegados, falta de penetración, inclusiones de escoria.

Toma de pequeños trozos de soldadura de los que se extraen microprobetas.

(Longitud 7,5 mm., diámetro 1,5 mm.) para someterlas a ensayos de laboratorio (micromáquina de Chevenard), a fin de conocer sus cualidades mecánicas.

Toma de muestras de metal y determinación de su densidad.

Esta varía con la presencia de escoria, poros y burbujas, incluso microscópicas.

### **ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS**

Se denomina **ensayo no destructivo** (también llamado END, o en inglés NDT de nondestructive testing) a cualquier tipo de prueba practicada a un material que no altere de forma permanente sus propiedades mecánicas, físicas, dimensionales o químicas.

La recopilación de datos es menos exacta que en los ensayos destructivos a la hora de tomar la medición. Su propósito es detectar discontinuidades superficiales e internas en materiales, soldaduras, componentes y partes fabricadas. Los materiales que se pueden inspeccionar son muy

diversos, entre metálicos y no-metálicos, utilizados en procesos de fabricación como: laminados, fundidos, forjados y otras conformaciones. Los ensayos no destructivos suelen ser más baratos para el propietario de la pieza a examinar, ya que no implican la destrucción de la misma y el daño causado a la pieza a analizar, es imperceptible o nulo y buscan únicamente verificar la homogeneidad y continuidad del material analizado, por lo que se complementan con los datos provenientes de los ensayos destructivos.

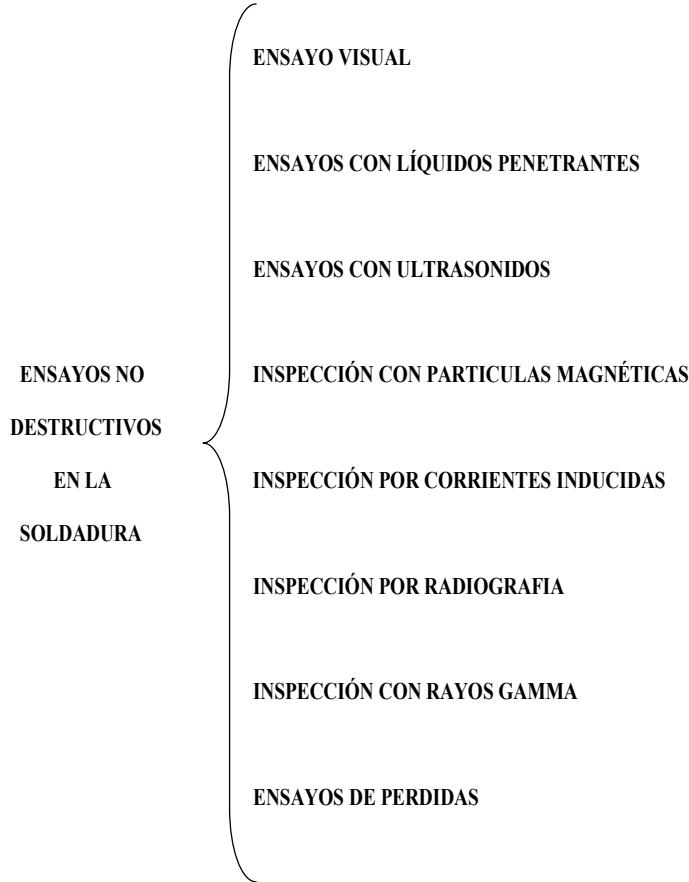
METODO DE INSPECCION	SIMBOLO
RAYOS X	
ULTRASONIDOS	
CORRIENTES INDUCIDAS	
LIQUIDOS PENETRANTES	
RESONANCIA MAGNETICA	
PARTICULAS MAGNETICAS	
INSPECCION VISUAL	

Si comparamos, los métodos de los ensayos no destructivos, con los métodos de los ensayos destructivos, diremos, que los ensayos no destructivos aplicados a un control de calidad estadístico, permiten comprobar con un cierto grado de seguridad el nivel de calidad de una producción.

Los diferentes métodos de ensayos no destructivos se basan en la aplicación de fenómenos físicos tales como ondas acústicas, elásticas, electromagnéticas, emisión de partículas subatómicas, capilaridad, absorción y cualquier tipo de prueba que no implique un daño considerable a la muestra examinada.

La aplicación de los métodos de ensayos no destructivos en materiales se resume en tres grupos:

- **La metroología:** es el control de espesores, medidas de espesores por un solo lado, medidas de espesores de recubrimiento, niveles de llenado.
- **La defectología:** nos permite la detección de discontinuidades, evaluación de la corrosión y deterioro por agentes ambientales, determinación de tensiones, detección de fugas.
- **La caracterización:** es la evaluación de las características químicas, estructurales, mecánicas y tecnológicas de los materiales, propiedades físicas (elásticas, eléctricas y electromagnéticas), transferencias de calor y trazado de isotermas.



### **ENSAYO VISUAL (VT)**

La **inspección visual** es una secuencia de operaciones que se realizan a lo largo de todo el proceso productivo y que tiene como fin asegurar la calidad de las uniones soldadas. Se inicia con la recepción de los materiales en el almacén, continúa durante todo el proceso de soldadura y finaliza cuando el inspector examina y marca, si es necesario, las zonas a reparar y completa el **informe de inspección**. Se caracteriza por:

1. Identificar materiales que incumplen su especificación.
2. Debe realizarse siempre, incluso cuando está prevista la ejecución de otro tipo de ensayos.
3. Reduce la necesidad de ensayos no destructivos posteriores.
4. Facilitar la corrección de defectos que se producen durante el proceso de fabricación, evitando de este modo su posterior rechazo.

Para facilitar la inspección visual, es necesario el empleo de ciertos instrumentos como pueden ser: cintas métricas, reglas, falsas escuadras, calibres, galgas, equipos de medición de temperaturas o presiones, dispositivos de iluminación y medios ópticos auxiliares (comprobadores de superficies, sistemas fotoeléctricos, proyectores de perfiles, lupas y endoscopios).

La inspección visual es una secuencia de operaciones que se realizan a lo largo de todo el proceso productivo, con el fin de:

1. Revisar las especificaciones de los procesos, procedimientos y consumibles.
2. Inspeccionar las superficies para detectar posibles defectos que interfieran en la operación de soldadura.
3. Verificar que los metales base y de aportación cumplen lo indicado en los planos y especificaciones de construcción.
4. Medir los materiales para verificar que las longitudes, diámetros anchos y espesores cumplen con los requisitos.
5. Verificar las secciones punteadas para soldadura comprobando que se cumplen las especificaciones relativas a preparación de bordes, dimensiones y acabados superficiales.

Las soldaduras deberán reunir los siguientes requisitos visuales después de la ejecución del cordón de soldadura:

1. La soldadura deberá estar libre de grietas.
2. Todas las grietas deben rellenarse a través de toda la sección de la soldadura.
3. La cara de la soldadura deberá estar al ras con la superficie del metal base, y el cordón deberá fusionarse suavemente con el metal base. El socavamiento no deberá exceder 1mm. El reforzamiento de la soldadura no deberá exceder de 3mm.
4. La raíz de la soldadura será inspeccionada y no deberá haber evidencia de grietas, fusión incompleta, o penetración inadecuada en la unión. Una raíz de superficie cóncava es permitida dentro de los límites normalizados, de manera que el espesor total de la soldadura sea igual o mayor al del metal base.

VENTAJAS	DESVENTAJAS	APLICACIONES
<ul style="list-style-type: none"><li>- Simple de usar en áreas donde otros métodos son impracticables</li><li>- Ayudas ópticas mejoran el método</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>- Fiabilidad dependiente de la habilidad y la experiencia del operario</li><li>- Requiere accesibilidad para visibilidad directa de la zona</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>- Detección de daños superficiales, discontinuidades o daños estructurales en todos los materiales</li></ul>

## ENSAYOS CON LÍQUIDOS PENETRANTES (PT)

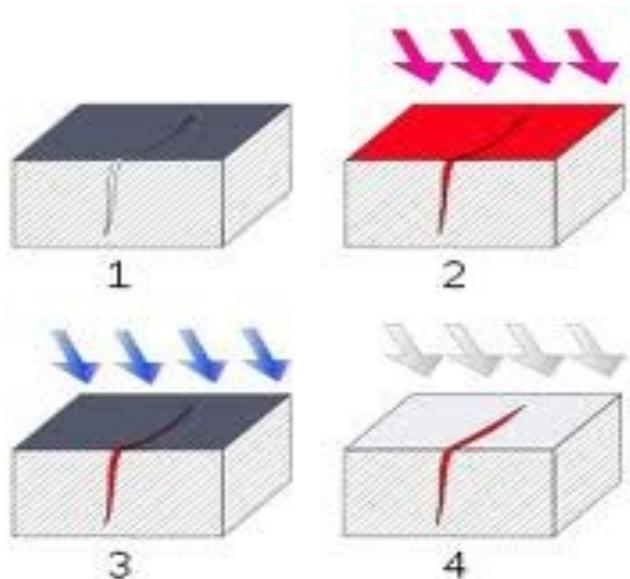
Los **ensayos con líquidos penetrantes** consisten en la aplicación de un líquido sobre la superficie del cuerpo a examinar, que penetra por capilaridad en las imperfecciones de la soldadura. Una vez limpiado el exceso, nos revelará el que ha quedado retenido en la imperfección (poros, fisuras, etc.). Existen dos tipos de líquidos penetrantes, los **fluorescentes** y los **no fluorescentes**, aunque los más utilizados son los no fluorescentes. La característica distintiva principal entre los dos tipos es:

1. Los **líquidos penetrantes fluorescentes** contienen un colorante que fluye bajo la luz negra o ultravioleta.
2. Los **líquidos penetrantes no fluorescentes** contienen un colorante de alto contraste bajo luz blanca.



Ambos líquidos se aplican igual y constan de las siguientes fases:

- Limpieza inicial de la pieza.
- Aplicación del líquido penetrante.
- Medida del tiempo de penetración.
- Eliminación del líquido sobrante.
- Aplicación del líquido revelador.
- Examen de la pieza.
- Limpieza final de la pieza.



#### Limpieza inicial de la pieza

Las piezas a examinar han de estar limpias de sustancias extrañas como grasas, óxidos, aceites, escorias, pinturas, etc., para dicha limpieza se utilizan diferentes detergentes, disolventes, decapantes, etc. Una vez terminado el proceso de limpieza hay que dejar la pieza a examinar totalmente seca.

#### Aplicación del líquido penetrante

El líquido penetrante se puede aplicar de tres maneras distintas, como pueden ser por inmersión en un baño, pulverizando el líquido sobre la pieza (spray) y extendiéndolo sobre la pieza con una brocha, usándose normalmente un pigmento rojo. El penetrante ideal para fines de inspección deberá reunir las siguientes características:

1. Resistencia a la evaporación.
2. De fácil aplicación en la superficie.
3. Habilidad para penetrar orificios y aberturas muy pequeñas y estrechas.
4. Habilidad para permanecer en aberturas amplias.
5. Habilidad de mantener color o la fluorescencia.
6. De difícil eliminación una vez dentro de la discontinuidad.
7. Habilidad de extenderse en capas muy finas.
8. De fácil absorción de la discontinuidad.
9. Atoxico, incoloro, no corrosivo, anti-inflamable, estable bajo condiciones de almacenamiento y de costo razonable.

### **Medida del tiempo de penetración**

Hay que dejar el tiempo suficiente para que el líquido penetrante y se introduzca en las imperfecciones de la pieza a analizar, por lo que será muy importante controlar el tiempo, que viene especificado en los botes del producto.

### **Eliminación del líquido sobrante**

La limpieza de la pieza para eliminar el líquido sobrante se puede realizar de varias formas; por inmersión, por pulverización o por rociado de la pieza en un baño de líquido limpiador.

### **Aplicación del líquido revelador**

El líquido revelador que es normalmente blanco, es aplicado por inmersión, rociado o pulverizado, con mucho cuidado ya que son líquido muy volátiles. Una vez aplicado las zonas de la pieza que contengan restos de líquido penetrante, resaltarán a simple vista, siendo muy fácil su observación.

### **Examen de la pieza**

Las imperfecciones aparecen marcadas de forma clara y exacta a lo largo de la pieza a examinar, la observación se hará para los líquidos fluorescentes bajo lámparas de mercurio o tubos de luz violeta y para los líquidos normales se hará bajo la luz natural apareciendo puntos rojos en las zonas con imperfecciones.

### **Limpieza final de la pieza**

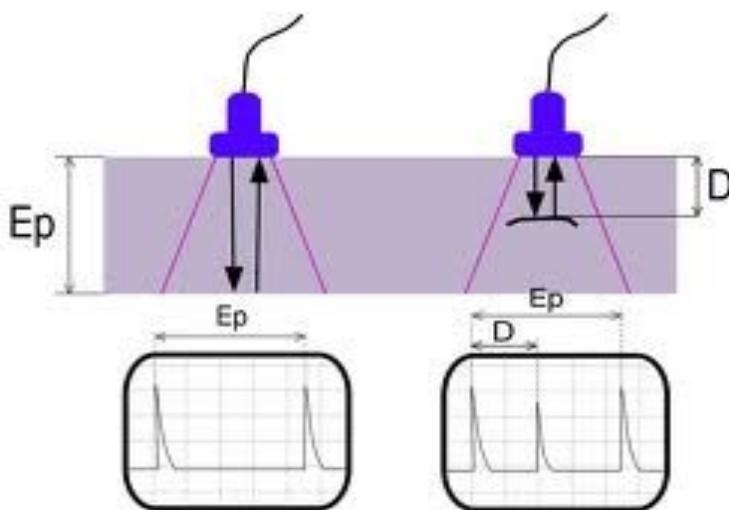
Hay que eliminar todo tipo de resto de líquidos, ya sean penetrantes o reveladores, limpiándolos con disolventes, detergentes, etc.

<b>VENTAJAS</b>	<b>DESVENTAJAS</b>	<b>APLICACIONES</b>
- Simple de usar, preciso y fácil de interpretar		- Detección de grietas superficiales en todos los metales

## **ENSAYOS CON ULTRASONIDOS (UT)**

El equipo utilizado para la aplicación de estas técnicas es capaz de generar, emitir y captar haces de ondas muy bien definidas sujetas a las leyes de reflexión al encontrar en su trayectoria un cambio en las propiedades físicas del medio en el cual se propagan. Al ser captadas, son analizadas según el

objetivo del equipamiento y con la determinación del tiempo transcurrido desde su emisión hasta su recepción, puede conocerse la distancia recorrida, al ser la velocidad previamente establecida.



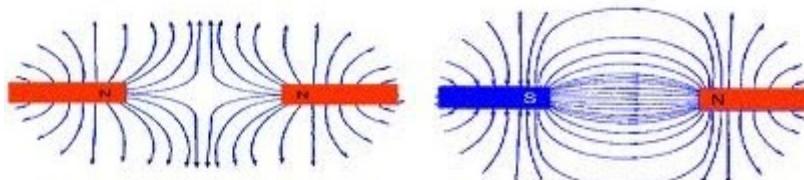
Es un método en el cual un haz sónico de alta frecuencia (125 KHz a 20 MHz) es circulado en el material a ser inspeccionado con el objetivo de detectar discontinuidades internas y superficiales (fisuras, inclusiones, etc.). El sonido que recorre el material es reflejado por las interfaces y es detectado y analizado para determinar la presencia y localización de discontinuidades.

VENTAJAS	DESVENTAJAS	APLICACIONES
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Alta precisión, transportable y alta sensibilidad</li> <li>- Rápido y fácil de operar</li> <li>- Resultados inmediatos</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Se requieren patrones para ajustar el instrumento</li> <li>- Se requiere operadores entrenados</li> <li>- Requiere corriente externa</li> <li>- La orientación de la grieta debe ser conocida para seleccionar el tipo de onda usada</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Detección de discontinuidades en la superficie y cerca de la superficie mediante técnicas de pulsos y ecos</li> </ul>

### INSPECCIÓN CON PARTICULAS MAGNÉTICAS (MT)

El **ensayo con partículas magnéticas** consta de tres fases: **magnetización de la zona a observar, repartición de las partículas magnéticas y la observación de las indicaciones**. Consiste en someter a la pieza a inspeccionar a una magnetización adecuada y espolvorear sobre la misma finas

partículas de material ferromagnético. Así es posible detectar discontinuidades superficiales y subsuperficiales en materiales ferromagnéticos. Cuando un material ferromagnético se magnetiza, aplicando a dos partes cualesquiera del mismo los polos de un imán, se convierte en otro imán, con sus polos situados antagónicamente respecto del imán original.



mismos polos se repelen

distintos polos se atraen

La formación del imán en la pieza a ensayar implica la creación en su interior de unas líneas de fuerza que van desde el polo del imán inductor al otro, pasando por una zona inerte denominada línea neutra. Estas líneas de fuerza forman un flujo magnético uniforme, si el material es uniforme, pero cuando existe alguna alteración en el interior del material, las líneas de fuerza se deforman o se producen polos secundarios. Estas distorsiones o polos atraen a las partículas magnéticas que se aplican en forma de polvo o suspensión en la superficie a inspeccionar y que por acumulación producen las indicaciones que se observan visualmente de manera directa o bajo luz ultravioleta.

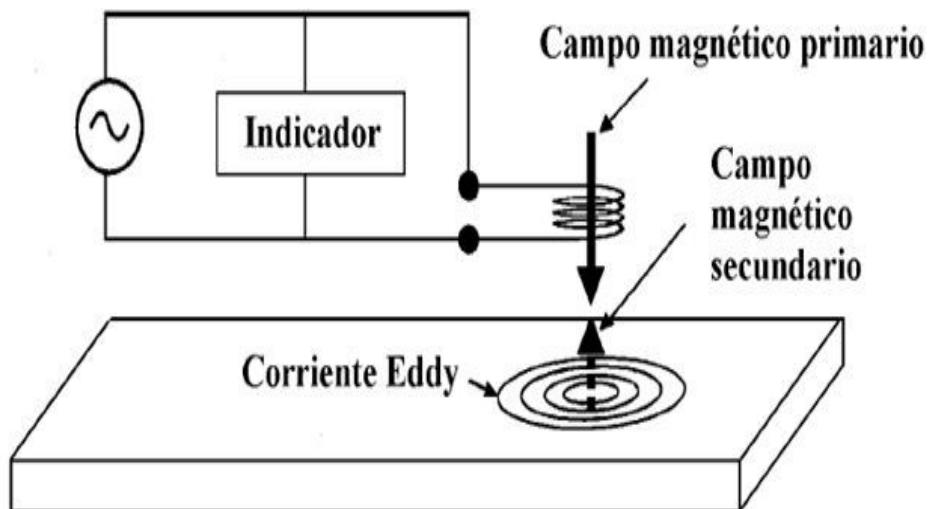


La magnetización de las piezas a examinar se puede realizar de dos formas diferentes como son: magnetización **por imanes** (utilizando potentes imanes o electroimanes), o **por corriente eléctrica** (puede ser por corriente eléctrica circular o longitudinal). La aplicación de las partículas magnéticas puede aplicarse **por vía seca** (en forma de polvo) o **por vía húmeda** (con medios acuosos o por disolventes sintéticos).

VENTAJAS	DESVENTAJAS	APLICACIONES
<ul style="list-style-type: none"> <li>- El flujo magnético debe ser normal al plano del defecto</li> <li>- Las piezas deben ser limpiadas antes y desmagnetizadas después</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Método simple, fácil, portátil y rápido</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Detección de discontinuidades en materiales ferromagnéticos de cualquier tipo, en la superficie o cerca de ésta</li> </ul>

### INSPECCIÓN POR CORRIENTES INDUCIDAS (ET)

El **ensayo por corrientes inducidas** (corrientes de Eddy) se basa en la medida de los cambios de impedancia inducidos en un material conductor eléctrico. Consiste en hacer pasar una corriente alterna por un solenoide, la cual genera un campo magnético. Al colocar la pieza a inspeccionar en dirección perpendicular al campo magnético creado por el solenoide, se generan corrientes inducidas circulares en la pieza. Las corrientes eléctricas inducidas van a producir un campo magnético (secundario), que se va a oponer al campo magnético del solenoide (primario) y modificará la impedancia de la bobina. La consiguiente variación de la corriente eléctrica que circula por la bobina es el parámetro que se mide y registra. Los defectos existentes en la pieza interrumpen las corrientes inducidas, lo que provoca que el campo magnético producido por dichas corrientes sea menor.



Es una prueba superficial, detectando defectos sub-superficiales cercanos a la superficie y evaluando agrietamientos en las zonas afectadas por soldadura. El patrón de corrientes inducidas y el campo magnético que necesariamente está asociado a ellas, están influenciados por diferentes características del material bajo prueba. Estas características pueden agruparse en tres grupos:

**detección de discontinuidades, medición de propiedades de los materiales y mediciones dimensionales.**

**Detección de discontinuidades:** La detección de discontinuidades se refiere a la localización de grietas, corrosión, erosión y/o daños mecánicos en la superficie de las piezas.

**Propiedades de materiales:** Utilizando las corrientes inducidas, se pueden determinar propiedades de materiales, se incluyen mediciones de conductividad, permeabilidad, dureza, clasificación de aleaciones y otras condiciones metalográficas que requieren junto con las propiedades ya mencionadas equipos y arreglos de bobinas especiales.

**Mediciones dimensionales:** Las mediciones dimensionales comúnmente realizadas mediante la aplicación de corrientes inducidas, son la medición de espesores, con buena exactitud para espesores pequeños teniendo la desventaja de no ser precisos en espesores grandes, medición de espesores de revestimientos como pinturas o películas aislantes.

Este ensayo depende de varios factores relacionados con las propiedades del material que va a ser inspeccionado, con las características de los sensores empleados e incluso con el procedimiento de inspección y que influyen en la sensibilidad del método. Entre estos factores cabe destacar la **conductividad eléctrica** y la **permeabilidad magnética**:

**Conductividad eléctrica:** este es el parámetro principal que define el fenómeno de las corrientes inducidas. A mayor conductividad del material mayor sensibilidad del método, pero con menor capacidad de penetración superficial.

**Permeabilidad magnética:** la capacidad de una sustancia o medio para atraer y hacer pasar a través de sí los campos magnéticos, la cual está dada por la relación entre la inducción magnética existente y la intensidad de campo magnético que aparece en el interior de dicho material.

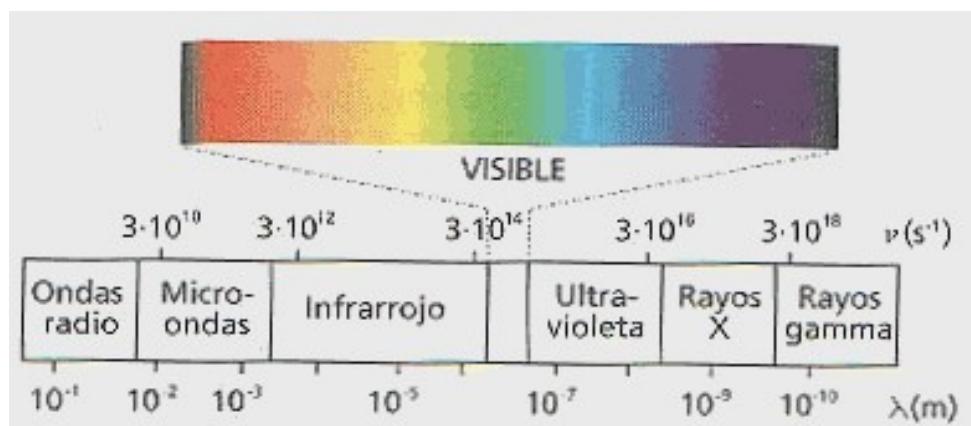
Se utiliza en la detección de defectos superficiales en piezas metálicas cuya conductividad eléctrica está comprendida entre 0,5 y 60 ( $\text{m}/\Omega \text{ mm}^2$ ), y está basado en el principio de inducción magnética. Con este ensayo, es posible determinar la profundidad de la discontinuidad. En un material aislante no se induce las corrientes de Eddy, sin embargo el campo magnético de la bobina atraviesa dicho material no conductor.

VENTAJAS	DESVENTAJAS	APLICACIONES
<ul style="list-style-type: none"><li>- Sistema rápido, sensible y portable</li><li>- Útil para chequeo de taladros de unión para la localización de grietas</li><li>- Detecta fácilmente fisuras</li><li>- Se puede actuar a tiempo y de forma precisa</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>- Sensible a combinaciones y variaciones en el material</li><li>- Requiere de probetas especiales para cada aplicación</li><li>- El equipo es complejo</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>- Medida de la conductividad para determinar áreas dañadas por el fuego</li><li>- Detección de discontinuidades en superficies metálicas, grietas, corrosión intergranular y tratamientos térmicos</li><li>- Intercambiadores de Calor ferromagnéticos</li><li>- Fuselaje de aviones</li></ul>

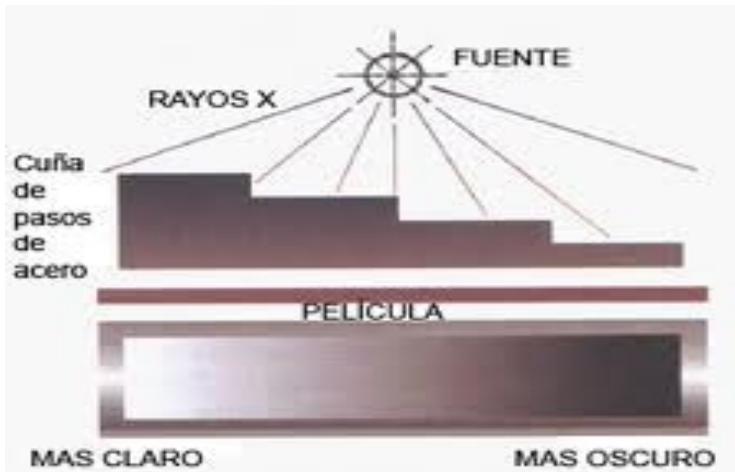
## INSPECCIÓN POR RADIOGRAFIAS (RT)

La **inspección por radiograffa** (rayos X), es un método de inspección no destructiva que consiste en la absorción diferenciada de radiación penetrante por la pieza que está siendo inspeccionada. Esta variación en la cantidad de radiación absorbida, detectada mediante un medio, nos indicará, entre otras cosas, la existencia de una falla interna o defecto en el material. La radiografía industrial es entonces usada para detectar variaciones de una región de un determinado material que presenta una diferencia en espesor o densidad comparada con una región vecina (es un método capaz de detectar con buena sensibilidad defectos volumétricos).

Se trata de una radiación electromagnética penetrante, con una longitud de onda menor que la luz visible, que produce un bombardeo en un blanco generalmente de wolframio, con electrones de alta velocidad. Los rayos X fueron descubiertos de forma accidental en 1895 por el físico alemán Wilhelm Conrad Roentgen mientras estudiaba los rayos catódicos en un tubo de descarga gaseosa de alto voltaje. A pesar de que el tubo estaba dentro de una caja de cartón negro, Roentgen vio que una pantalla de platinocianuro de bario, que casualmente estaba cerca, emitía luz fluorescente siempre que funcionaba el tubo. Tras realizar experimentos adicionales, determinó que la fluorescencia se debía a una radiación invisible más penetrante que la radiación ultravioleta. Roentgen llamó a los rayos invisibles "rayos X" por su naturaleza desconocida. Posteriormente, los rayos X fueron también denominados rayos Roentgen en su honor.



Son radiaciones electromagnéticas que se propagan a la velocidad de la luz (300.000 km s<sup>-1</sup>), aunque tienen menor longitud de onda, mayor energía y más penetración. Estos rayos no sufren desviación alguna por efecto de campos magnéticos o eléctricos (no son partículas cargadas, ni sus espines están orientados); se propagan por tanto en línea recta, excitan la fosforescencia e impresionan placas fotográficas. Atravesan los cuerpos opacos sin reflejarse ni refractarse, siendo absorbidos en mayor o menor grado según el espesor y la densidad del material, y la longitud de onda de la radiación. Alcanzan así a impresionar una película o placa fotográfica, situada en el lado opuesto del material.



Los defectos de los materiales como grietas, bolsas, inclusiones, etc. de distintas densidades, absorben las radiaciones en distinta proporción que el material base, de forma que estas diferencias generan detalles de contraste claro-oscuro en la placa fotográfica colocada detrás de la pieza. Esto es lo que permite identificar defectos en la inspección de una soldadura por radiografía. Para facilitar la labor se usan colecciones de radiografías patrón, en las cuales los defectos están claramente identificados para unas condiciones dadas de tipo de material y tipo de soldadura.

VENTAJAS	DESVENTAJAS	APLICACIONES
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Es muy sensible y proporciona una impresión en película</li> <li>- No requiere de desarmado de piezas</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Requiere de corriente externa</li> <li>- Peligro de radiación</li> <li>- Requiere equipamiento especial para situar el tubo de rayos X y la película</li> <li>- Se necesita personal entrenado y equipos de tratamiento de imágenes</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Detección de flujos internos y discontinuidades como grietas, corrosión, variaciones de espesor o inclusiones</li> </ul>

### INSPECCIÓN POR RAYOS GAMMA (GT)

Los rayos gamma cuyos efectos son similares a los de los rayos X, se producen por transiciones de energía en el interior de núcleos de átomos radiactivos. Las emisiones alfa y beta suelen ir asociadas con la emisión gamma. Los rayos gamma no poseen carga ni masa, la emisión de rayos gamma por parte de un núcleo no conlleva cambios en su estructura, sino simplemente la pérdida de una determinada cantidad de energía radiante.

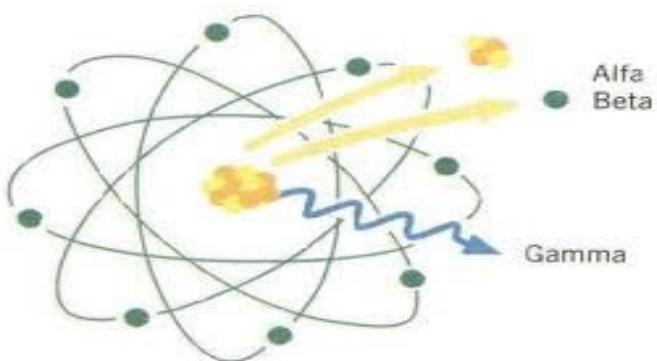
Con la emisión de estos rayos, el núcleo compensa el estado inestable que sigue a los procesos alfa y beta. La partícula alfa o beta primaria y su rayo gamma asociado se emiten casi simultáneamente. Esta emisión gamma pura tiene lugar cuando un isótopo existe en dos formas diferentes, los llamados isómeros nucleares, con el mismo número atómico y número másico pero distintas energías. La emisión de rayos gamma acompaña a la transición del isómero de mayor energía a la forma de menor energía.

Los indicadores de calidad de imagen consisten en alambres o plaquetas escalonadas del mismo material que el objeto a radiografiar, cuyos diámetros o espesores oscilan del 1%, 2%, 3% de espesor máximo del objeto, permitiendo evaluar por comparación la calidad radiográfica.

El indicador se coloca sobre la cara del objeto que enfrenta la radiación en la parte más alejada del film (zona de mayor espesor) y en la posición geométricamente más desfavorable. El espesor del hilo o escalón más delgado que sea visible en la radiografía, es el que permite evaluar la calidad de la técnica radiográfica cesada. En el desarrollo del ensayo se utilizarán dos tipos de indicadores de calidad de imagen: **indicadores DIN** y los **indicadores ASME**.

**Indicadores DIN:** De acuerdo a la norma DIN 54.109, la calidad de imagen se caracteriza por el alambre más delgado de una serie de alambres de diversos diámetros que varían según la progresión geométrica adoptada por el I.I.W. / I.I.S... Estos van embutidos en un material plástico transparente.

**Indicadores ASME:** Este indicador de calidad de imagen responde a las especificaciones de la American Society of Mechanical Engineers. El espesor normal del indicador es igual al 2 % del espesor a radiografiar, este espesor se indica con números de plomo cuya altura no ha de ser inferior a 2,4 mm.



VENTAJAS	DESVENTAJAS	APLICACIONES
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Tiene una lectura directa</li> <li>- No requiere preparación de la superficial ni remover la pintura</li> <li>- Puede ser realizada desde una superficie</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Requiere corriente externa</li> <li>- Peligro de radiación</li> <li>- Pierde sensibilidad con el incremento de espesor del material</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Detección de laminaciones, roturas del núcleo en materiales compuestos y huecos</li> </ul>

### ENSAYOS DE PÉRDIDAS O FUGAS (LT)

Los **ensayos de pérdidas o fugas** consisten en comprobar un circuito cerrado de tubería que va a transportar un líquido o un gas para ver si este tiene fuga, metiendo carga en dicho circuito durante un periodo de tiempo determinado, para comprobar su estanquidad.



Son técnicas no invasivas para determinar la integridad de un material, componente o estructura o para medir cuantitativamente características de un objeto. Estos ensayos no afectan a las propiedades, dimensiones y uso de las piezas ensayadas.

La inspección de la calidad de las soldaduras mediante pruebas no destructivas en acero, titanio y aluminio permiten la detección de grietas, porosidades, penetraciones incompletas, inclusiones, así como las discontinuidades y otros defectos que pudieran comprometer la resistencia de la soldadura.

## SIMBOLOGÍA DE LA SOLDADURA

La representación simbólica de las uniones soldadas en los planos técnicos está definida en la norma UNE-EN ISO 2553:2014 “Soldeo y procesos afines. Representación simbólica en los planos. Uniones soldadas”, y de igual forma siguiendo las recomendaciones de AWS (Sociedad Americana para la Soldadura).

**El símbolo de soldadura** consiste en una **línea de referencia** unida a una **línea de flecha** sobre la que se pueden incluir los **símbolos elementales**, **símbolos suplementarios**, dimensiones y demás indicaciones que indican el tipo de soldadura y sus características.

La línea de flecha indica la localización de la unión soldada, debiendo de estar en contacto con una línea sólida visible que sea parte de la unión.

La línea de referencia se ha de dibujar preferentemente paralela al lado inferior del dibujo, es decir, horizontalmente.

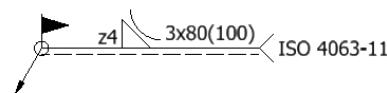
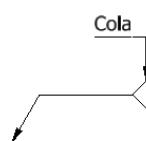
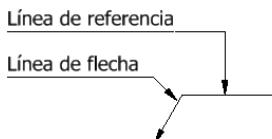
Si al símbolo de soldadura solamente se le añade una **cola**, se tiene el símbolo de soldeo básico. Este símbolo se usa cuando los detalles de la unión no están especificados y solamente se quiere indicar que la unión a la que se hace referencia va a ser soldada.

La línea de referencia suele ser una línea de referencia doble, en la que una de las líneas es de trazos discontinuos y sirve para proporcionar información sobre el otro lado de la soldadura, o lado opuesto. La línea discontinua se puede dibujar encima o debajo de la línea continua (preferentemente debajo).

### Símbolos elementales.

Indican el tipo de soldadura a realizar desde el punto de vista geométrico. Estos símbolos se sitúan sobre la línea de referencia, generalmente en su punto medio.

Estos símbolos elementales pueden ser completados mediante la adición de símbolos suplementarios, dimensiones y/o información complementaria.



a)Símbolo de soldadura

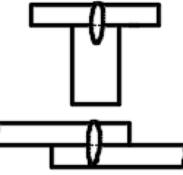
b)Símbolo de soldeo básico

c) Ejemplo de símbolo de soldadura completo

Estos símbolos elementales pueden combinados para representar configuraciones de soldadura particulares.

En las siguientes tablas se muestran los símbolos elementales normalizados.

Nº	Designación	Representación	Símbolo
1	Soldadura a tope con los flancos rectos		
2	Soldadura a tope en V simple		
3	Soldadura a tope en V simple con talón de raíz amplio		
4	Soldadura a tope en bisel simple		
5	Soldadura a tope en bisel simple con talón de raíz amplio		
6	Soldadura a tope en U simple		
7	Soldadura a tope en J simple		
8	Soldadura con bisel doble redondeado		
9	Soldadura con bisel redondeado		
10	Soldadura en ángulo		
11	Soldadura de tapón (en ojal o botón)		
12	Punto de resistencia (incluyendo el soldeo por protuberancias en el sistema A)		

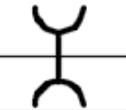
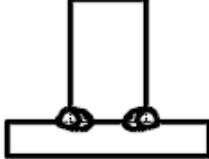
Nº	Designación	Representación	Símbolo
13	Punto de fusión (incluyendo el soldeo por protuberancias en el sistema B)		
14	Soldadura por costura		
15	Soldadura por fusión		
16	Soldadura de espárrago		
17	Soldadura a tope en V simple con flancos empinados		
18	Soldadura a tope en bisel simple con flancos empinados		
19	Soldadura de canto		
20	Soldadura a tope rebordeada y uniones en esquina rebordeada		
21	Recargue		
22	Soldadura en puntal	 	

### Soldaduras a tope simétricas

En el caso de soldaduras simétricas (simetría de forma y también de dimensiones) por ambos lados de la unión, los símbolos elementales se han de situar opuestos unos de otros sobre la línea de referencia incluyendo toda la información requerida. En la tabla 2 se representan combinaciones de símbolos elementales para representar soldaduras simétricas.

En las uniones soldadas simétricas se debe eliminar la línea de referencia discontinua. En el caso de soldaduras asimétricas (mismo tipo de soldadura pero diferentes dimensiones), no se puede suprimir la línea discontinua.

En la siguiente tabla se recogen los símbolos elementales combinados para soldaduras simétricas

Nº	Designación	Representación	Símbolo
1	Soldadura a tope en V doble (soldadura en X)		
2	Soldadura a tope con bisel doble		
3	Soldadura a tope en U doble		
4	Soldadura a tope en bisel simple		
5	Soldadura a tope en bisel simple con talón de raíz amplio		

## Símbolos suplementarios

Los símbolos suplementarios sirven para proporcionar información adicional, generalmente relacionada con la forma del cordón del soldadura o sobre cómo debe ser realizada la soldadura. En la siguiente tabla están representados los símbolos suplementarios.

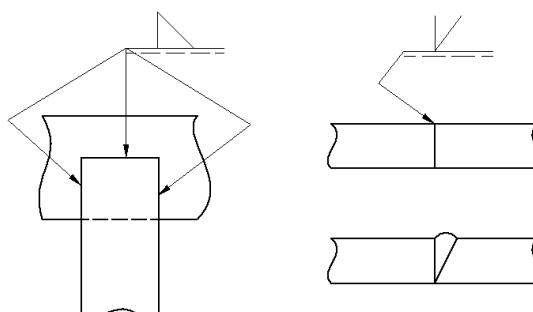
Nº	Designación	Símbolo	Ejemplo de aplicación	Representación de la soldadura	Nº	Designación	Símbolo	Ejemplo de aplicación	Representación de la soldadura
1	Plano (normalmente acodado a palf)	—			9	Inserto consumible	—		
2	Convexa	~			10	Soldadura perimetral	○		
3	Concava	~			11	Soldadura entre dos puntos	↔		
4	Acuedos de transición suave	↑			12	Soldadura en campo	旗		
5	Plana de reverso (realizada después de una soldadura a tope en V simple) Soldadura de respaldo (realizada antes de una soldadura a tope en V simple)	—			13	Soldadura intermitente alternada	—		
6	Refuerzo de raíz especificado (soldadura a tope)	—							
7a	Respaldo (sin especificar)	—							
7b	Respaldo permanente	M							
7c	Respaldo temporal/eliminable	MR							
8	Separador	—							

## Líneas de flecha múltiples

Se pueden combinar dos o más líneas de flecha partiendo de una única línea de referencia para indicar diferentes localizaciones de soldaduras idénticas.

### Línea de flecha quebrada

La línea de flecha quebrada se usa en soldaduras a tope en las que solo de los elementos a unir requiere una preparación previa (por ejemplo, soldadura en bisel simple o en J simple) y el otro componente no. En estos casos la línea de flecha ha de ser quebrada y apuntar hacia el componente al que se ha de aplicar la preparación previa.



## Líneas de flecha múltiples

## Línea de flecha quebrada

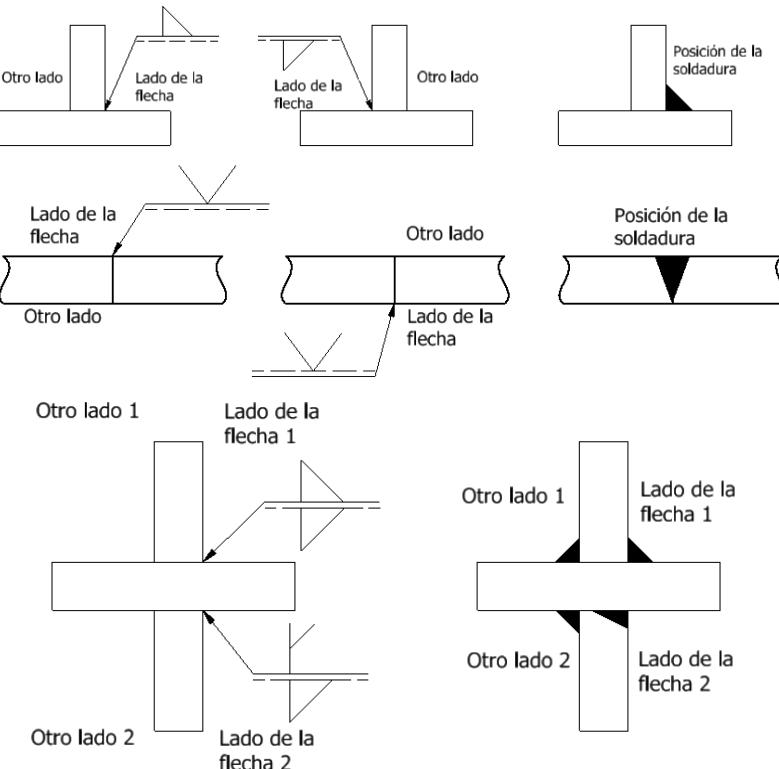
### Posición de la unión soldada. “Lado y otro lado” de la flecha.

Una unión soldada está formada por dos lados: el lado en el que se realiza la soldadura y el lado opuesto, formando ambos parte de la misma unión.

Se denomina “lado de la flecha” al lado de la unión al cual señala la punta de la flecha. El “otro lado” es el lado opuesto de la unión al que señala la punta de la flecha.

Como se ha indicado la línea de referencia del símbolo de soldadura es una línea doble, formada por una línea continua y por otra línea de trazos. La línea continua hace referencia al “lado de la flecha” y la línea discontinua al “otro lado” de la flecha. Cuando la soldadura se realiza en el lado de la flecha los símbolos que definen la soldadura deben de estar situados en la línea continua. Si la soldadura se realiza en el otro lado, los símbolos han de situarse en la línea discontinua. La línea discontinua puede estar situada debajo o encima de la línea continua.

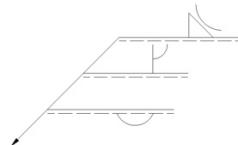
En la siguiente figura se muestran ejemplos de localización de la soldadura



### Líneas de referencia múltiple

Se pueden emplear dos o más líneas de referencia para indicar una serie de operaciones de soldeo consecutivas. La primera operación a realizar será indicada en la línea de referencia más cercana a la

punta de la flecha. El resto de operaciones se indican consecutivamente en las otras líneas de referencia, realizando en primer lugar aquellas que estén más cercanas a la flecha.

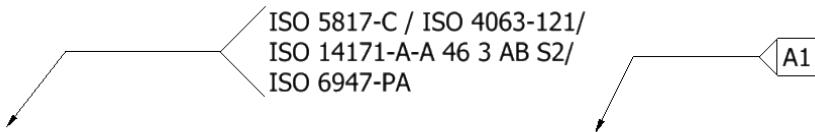


## Cola

La cola es un elemento opcional que se añade al final de la línea de referencia cuando es necesario incluir información adicional en el símbolo de soldadura. Dicha información puede ser:

- • Nivel de calidad. Normas ISO 5817, ISO 10042, ISO 13919...
- • Proceso de soldeo, con numero de referencia de acuerdo a la norma ISO 4063
- • Material de aportación. Normas ISO 14171, ISO 14341...
- • Posición de soldeo. Norma ISO 6947.
- • Información suplementaria

Una cola cerrada se emplea para indicaciones referentes a una instrucción precisa.



## Dimensionamiento de uniones soldadas

Las dimensiones de las uniones soldadas se especifican en la línea de referencia, al lado del símbolo de soldadura. Generalmente (no en todos los casos) es necesario especificar dos dimensiones:

- Dimensión de la sección transversal, que se ha de situar a la izquierda del símbolo elemental.
- Dimensión longitudinal, que se sitúan a la derecha del símbolo elemental.

Las unidades de estas dimensiones han de ser las mismas que las unidades del plano.

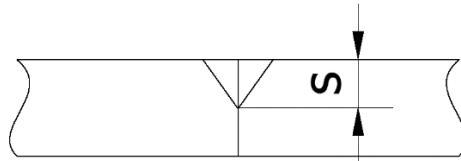
### Dimensión de la sección transversal

Dependiendo del tipo de soldadura las dimensiones que definen su sección son diferentes. A continuación se indican las medidas a indicar en los tipos de soldadura más habituales.

#### a) Soldaduras a tope.

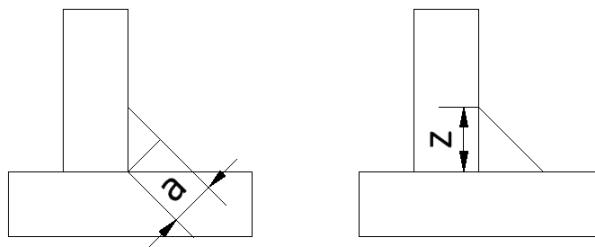
En las soldaduras a tope la dimensión de la sección transversal queda definida por la profundidad de penetración de la soldadura ( $s$ ). Si no se indica ninguna dimensión, la soldadura a tope ha de ser a penetración completa.

En el caso de soldaduras por ambos lados cada soldadura ha de estar dimensionada por separado.



#### b) Soldadura en ángulo.

En las soldaduras en ángulo se ha de especificar las dimensiones del triángulo resultante de la soldadura indicando el espesor de garganta (letra  $a$ ) o la longitud del lado (letra  $z$ ) delante del valor numérico de dicha dimensión. En el caso de longitudes de lado desiguales se han de incluir las dimensiones de cada lado, por ejemplo  $z_1$  4  $z_2$  6.



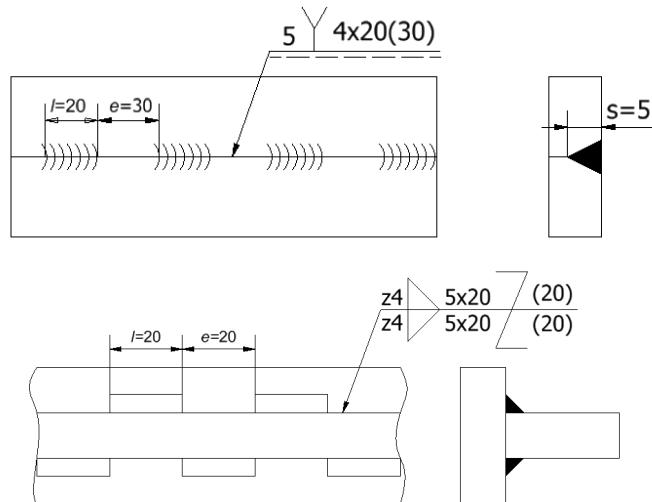
### Dimensión longitudinal.

La longitud del cordón de soldadura se ha de especificar a la derecha del símbolo elemental. Cuando el cordón es continuo a lo largo de toda la longitud de la unión no se indica dimensión alguna.

En el caso de soldaduras intermitentes (cordón no continuo) se deben indicar las siguientes dimensiones, y en el siguiente orden:

1. 1) Número de elementos de la soldadura (número de cordones),  $n$
2. 2) Longitud de cada elemento de la soldadura,  $l$
3. 3) Espacio entre cada elemento,  $e$ . Este valor ha de situarse entre paréntesis.

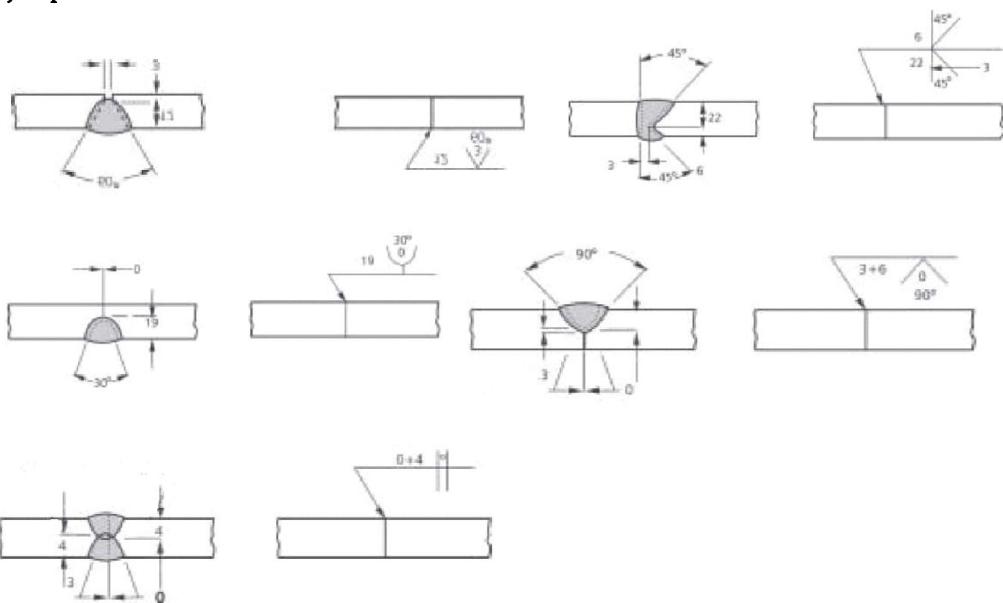
La representación final de la longitud de la soldadura es la siguiente:  $n \times l (e)$ , por ejemplo  $4 \times 20$  (30)



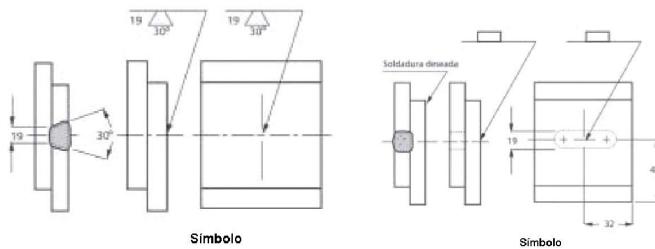
En la siguiente tabla se muestran ejemplos de dimensionamiento de soldaduras

Nº	Designación	Representación	Símbolo	Nº	Designación	Representación	Símbolo
1	Soldadura a tope. Penetración completa			8	Soldadura de tapón		
2	Soldadura a tope. Penetración parcial			9	Soldadura de tapón intermitente		
3	Soldadura a tope intermitente			10	Soldadura de puntos		
4	Soldadura con bisel doble redondeado			11	Soldadura de costura		
5	Soldadura en ángulo						
6	Soldadura intermitente alternada						
7	Soldadura intermitente enfrentada						

## Ejemplos de acotado



- Ejemplos de símbolos para soldaduras de tapón y de ranura:



## SOLDADURA POR ARCO CON ELECTRODO REVESTIDO

El desarrollo del arco revestido va a permitir solventar todas estas cuestiones, y tendrá una aplicación fundamental para la soldadura de metales férreos.

El fundamento de la soldadura por arco eléctrico es la diferencia de potencial que se establece entre el electrodo que pende de la pinza y la pieza a soldar o metal base que se conecta a masa.

Esta diferencia de potencial ioniza la atmósfera circundante, por lo que el aire pasa a ser conductor, cerrándose el circuito y estableciéndose un arco eléctrico entre el electrodo y la pieza a soldar.

El calor del arco eléctrico va a fundir el extremo del electrodo y parcialmente el metal base, creando el baño de fusión, donde se irá depositando el electrodo fundido originando así el cordón de soldadura.

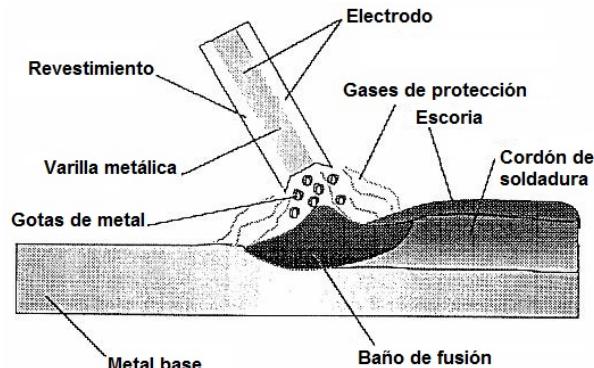
A continuación se resume a grandes rasgos los principios de la soldadura por arco eléctrico:

- Fuente de calor: arco eléctrico;
- Tipo de protección: revestimiento del electrodo;
- Aportación: con el propio electrodo;
- Aplicaciones: todos los metales férreos principalmente;
- Tipo de proceso: manual, automático (soldadura por gravedad).

## PRINCIPIOS DEL PROCESO

El proceso de la soldadura manual por arco eléctrico con electrodo revestido (SMAW, del inglés Shielded Metal Arc Welding) comienza con el cebado o establecimiento del arco entre el extremo del electrodo y la pieza a soldar.

Una vez conseguido el mantenimiento y estabilización del arco, el calor generado funde el revestimiento y la varilla metálica del electrodo, a la vez que la combustión del revestimiento sirve para originar una atmósfera protectora que impide la contaminación del material fundido.

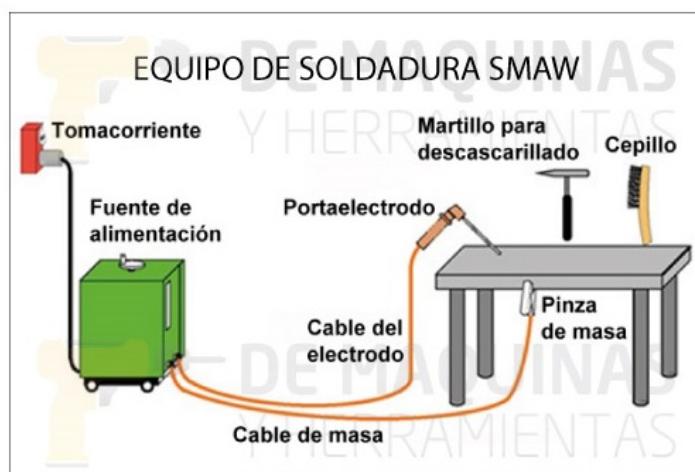


Así, las gotas de metal fundido procedentes de la varilla metálica del electrodo van a depositarse en el baño de fusión rodeadas de escoria. Esta escoria, por efecto de la viscosidad, flota en el baño protegiéndolo contra un enfriamiento rápido y de la contaminación del aire circundante.

Una vez frío el cordón, se procede a eliminar esta escoria que queda como una especie de costra en la superficie del cordón.

Básicamente, el equipo de soldadura está compuesto por los siguientes elementos:

- una fuente de corriente continua o alterna;
- pinza portaelectrodo y pinza de masa;
- cables de conexión;
- electrodos revestidos.



En general, los electrodos revestidos están constituidos por un alma metálica que contiene el metal de aporte, y un revestimiento que rodea al anterior.

## EL REVESTIMIENTO

### Funciones del revestimiento

Los revestimientos de los electrodos son mezclas muy complejas de materiales que actúan durante el proceso de fusión del electrodo para cumplir las funciones que a continuación se relacionan.

Función eléctrica:

- Mejorar 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.

### 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:

#### - Revestimiento celulósico:

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				15-30%
Rutilo TiO <sub>2</sub>		10-20%	0-5%	30-55%	15-30%
Feldespato			5-20%	0-20%	0-5%
Arcilla			0-5%	0-10%	
Sílice			5-20%		
Óxido de Mn			0-20%		
Óxido de Fe			15-45%		
FerroManganeso	Desoxidante	5-10%	5-20%	5-10%	2-6%
Ferrosilicio			0-5%	5-10%	5-10%
Silicato Sódico	Aglomerante	20-30%	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 <sup>3</sup>
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

## EL ELECTRODO

### Clasificación

Para la soldadura de los aceros, los electrodos se clasifican atendiendo al tipo de revestimiento que incorporan. Así se tiene la siguiente clasificación típica:

- Electrodos Celulósicos;
- Electrodos Ácidos;
- Electrodos de Rutilo;
- Electrodos Básicos;
- Otros (electrodos de gran penetración; de gran rendimiento; de autocontacto).

### Propiedades y Aplicaciones

A continuación se va ciertas características de los electrodos en lo que se refiere a tipo de escoria generada, metal depositado, tipo de arco eléctrico, características mecánicas del cordón resultante, y sobre aplicaciones y precauciones a tener en cuenta para cada tipo.

- Electrodos Celulósicos
  - Tipo de escoria: este tipo de electrodos genera una escoria poco voluminosa y de fácil eliminación;
  - Metal depositado: el cordón depositado va a contener gran cantidad de hidrógeno ocluido;
  - Arco eléctrico: posee una gran penetración y abundantes pérdidas por salpicaduras;
  - Características mecánicas:

Carga de rotura: 48 kg/mm<sup>2</sup> ; Alargamiento en rotura: 28%

Límite elástico: 40 kg/mm<sup>2</sup> ; Resiliencia a 0º C: 75 Julios

- Aplicaciones y precauciones: este tipo de electrodos se utilizan principalmente para soldadura de tuberías, siendo su uso generalizado en soldaduras de oleoductos. Es adecuado su uso para ejecutar soldaduras en posición y producen una gran cantidad de humos.

#### - Electrodos Ácidos

- Tipo de escoria: genera una escoria poco viscosa (por el Mn) y de fácil eliminación. A su vez es de color negro y de estructura esponjosa;
- Metal depositado: el cordón va a resultar con un alto contenido en impurezas. No obstante, la presencia de hidrógeno va a ser menor que en el caso de los celulósicos. Existe peligro de figuración en caliente del cordón si el contenido de C es elevado;
- Arco eléctrico: para este tipo de electrodo normalmente se empleará corriente continua (CC) con polaridad directa, aunque debido a la buena estabilidad del arco se puede emplear también con corriente alterna (CA);
- Características mecánicas:

Carga de rotura: 48 kg/mm<sup>2</sup> ; Alargamiento en rotura: 27%

Límite elástico: 38 kg/mm<sup>2</sup> ; Resiliencia a -20º C: 50 Julios

- Aplicaciones y precauciones: este tipo de electrodos tiene un escaso uso, su consumo está en trono del 2%. Básicamente su utilización se restringe para soldaduras de aceros de construcción.

#### - Electrodos de Rutilo

- Tipo de escoria: genera una escoria con una viscosidad adecuada que se elimina con facilidad. Su aspecto es globular;
- Metal depositado: el cordón va a presentar un nivel de impurezas intermedios entre ácidos y básicos. No obstante, el contenido de hidrógeno con este tipo de electrodo puede llegar a fragilizar la unión;
- Arco eléctrico: para este tipo de electrodo se puede utilizar tanto con corriente alterna (CA) como continua (CC) en polaridad directa o inversa;
- Características mecánicas:

Carga de rotura: 48 kg/mm<sup>2</sup> ; Alargamiento en rotura: 25%

Límite elástico: 42 kg/mm<sup>2</sup> ; Resiliencia a -20º C: 50 Julios

- Aplicaciones y precauciones: este tipo de electrodos encuentra su aplicación principalmente en la soldadura de aceros. Su consumo actual se estima en un 55%. Tiene un uso generalizado en calderería, construcción naval, estructuras metálicas, etc. Es adecuado para la ejecución de soldaduras en posición.

- Electrodos Básicos

- Tipo de escoria: genera una escoria densa, pero poco abundante que sube a la superficie del cordón con rapidez. De color pardo y brillante, se elimina de una forma aceptable;
- Metal depositado: el cordón se presenta casi exento de impurezas y libre de hidrógeno;
- Arco eléctrico: para este tipo de electrodo se puede utilizar tanto con corriente alterna (CA) como continua (CC) en polaridad inversa;
- Características mecánicas:

Carga de rotura: 54 kg/mm<sup>2</sup> ; Alargamiento en rotura: 28%

Límite elástico: 44 kg/mm<sup>2</sup> ; Resiliencia a 0º C: 130 Julios

- Aplicaciones y precauciones: este tipo de electrodos están recomendado para la soldadura de aceros. Su uso está generalizado en calderería, construcción naval, estructuras metálicas, maquinaria, etc.

- Electrodos de Autocontacto o de Gran Rendimiento

En estos electrodos el revestimiento contiene Fe en polvo. El arco salta de forma espontánea, y su rendimiento gravimétrico(\*) es superior al 100%.

$$(*) \text{Rendimiento gravimétrico} = \frac{\text{Peso Metal Depositado}}{\text{Peso Varilla Metálica}}$$

- Electrodos de Gran Penetración

Estos electrodos presentan un revestimiento muy grueso con objeto de soportar una intensidad de corriente mayor.

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

Tipo de electrodo	Ventajas	Inconvenientes	Aplicaciones
<b>Ácido</b>	-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)
<b>Rutilo</b>	-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)
<b>Celulósico</b>	-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
<b>Básicos</b>	-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:

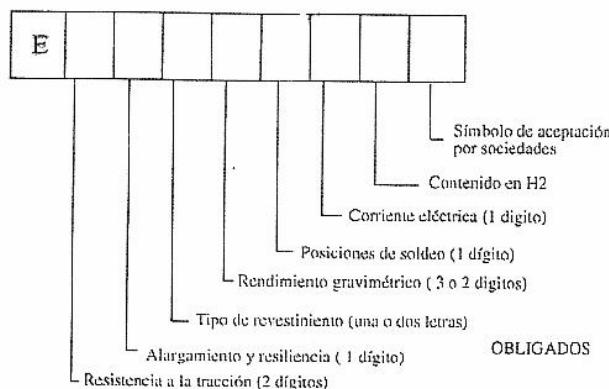
Valores medio de la Corriente (A)							
Diámetro electrodo (mm)	1,60	2,00	2,50	3,25	4,00	5,00	6,00
Electrodo Ácido	-	-	-	100-150	120-190	170-270	240-380
Electrodo Rutilo	30-55	40-70	50-100	80-130	120-170	150-250	220-370
Electrodo Celulósico	20-45	30-60	40-80	70-120	100-150	140-230	200-300
Electrodo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

#### 4.3- Normalización según UNE y AWS

A continuación se expone la forma de identificación de los electrodos revestidos empleados para soldadura por arco manual según la normativa UNE y AWS.

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/mm<sup>2</sup>:



Ejemplo:

E	43	2	R	160	1	3	H	I

Resistencia a la tracción (44-52 Kg/mm<sup>2</sup>)

Revestimiento Rutilo

22% Alargamiento y resiliencia > 27.5 J a 10°C

Todas las posiciones

Rendimiento gravimétrico del 160%

Continua Polaridad Inversa o alterna (50 V)

Contenido en H<sub>2</sub> máximo

Símbolo de aceptación por sociedades

OBLIGADOS

Por otro lado, según la American Welding Society (AWS), la clasificación e identificación de los electrodos se realiza de la siguiente manera:

Para soldadura de aceros al carbono, se emplea la especificación AWS A5.1., que trabaja con la siguiente designación para electrodos revestidos:

E XXYY 1 HZR

donde:

E: Indica electrodo para soldadura por arco, el cual por definición conduce la corriente por arco;

XX: Dos dígitos que designan la mínima resistencia a la tensión del metal depositado, en Ksi.

YY: Dos dígitos que designan las posiciones de soldadura en que puede trabajar el electrodo, el tipo de revestimiento y el tipo de corriente adecuado para el electrodo. El primer dígito indica la posición (1=todas, 2=plana y horizontal, 4 todas pero especialmente para vertical descendente), la combinación de los dos dígitos indica las otras características.

Los designadores después del guion son opcionales:

1: Designa que el electrodo (E 7016, E 7018 ó E 7024) cumple con los requisitos de impacto mejorados E y de ductilidad mejorada en el caso E 7024;

HZ: Indica que el electrodo cumple con los requisitos de la prueba de hidrógeno difusible para niveles de "Z" de 4.8 ó 16 ml de H<sub>2</sub> por 100gr 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 humedad relativa (solo para electrodos de bajo hidrógeno).

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.

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.

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.

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.

Finalmente, la especificación 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-SX

donde:

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

R: Indica aporte que funde por un medio diferente que el conducir la corriente del arco eléctrico (para TIG y plasma);

70: La resistencia a la tracción nominal del depósito de soldadura la cual es igual para todas las referencias;

S: Indica el electrodo sólido;

X: Es un número que indica la composición química del alambre;

## **APLICACIONES DE LA SOLDADURA POR ARCO CON ELECTRODO REVESTIDO**

### **En acero**

En general, si el acero es de composición fácilmente reconocible, pueden utilizarse los electrodos de rutilo, por su mayor facilidad de cebado, de soldadura y por la buena estética del cordón.

En la práctica, la soldadura de los aceros con un nivel medio o elevado de carbono ( $>0.25\%$ ) puede provocar la formación de defectos estructurales. Se aconseja la aplicación del procedimiento por electrodo sobretodo para la soldadura de juntas con espesores medios-grandes y utilizando electrodos básicos. En estos casos se obtiene una alta calidad de la soldadura junto a una buena resistencia a la rotura.

La soldadura de tubos de acero se ejecuta utilizando electrodos celulósicos, donde es necesaria una elevada penetración y que sea fácil trabajar el electrodo. Se aconseja siempre el biselado, con ángulo de bisel suficiente para una casi completa introducción del electrodo en la ranura de soldadura.

### **En materiales especiales**

En relación a los materiales especiales, como aceros inoxidables, aluminios y sus aleaciones, y fundición, se utilizan electrodos específicos.

- Los aceros inoxidables se sueldan en corriente continua (CC) con polaridad inversa. Se utilizan electrodos específicos que se diferencian por la composición metalúrgica del material a soldar (presencia de cromo (Cr) y de níquel (Ni) en porcentajes variables).
- El aluminio y las aleaciones ligeras se sueldan en corriente continua (CC) con polaridad inversa. La máquina debe estar dotada de una dinámica de cebado más bien elevada para garantizar el encendido del electrodo. Se utilizan también en este caso electrodos especiales, que se diferencian por la composición metalúrgica del material a soldar (presencia de magnesio (Mg) y del silicio (Si) en porcentajes variables).
- La fundición se suelda en corriente continua (CC) con polaridad inversa. La mayor parte de las estructuras y órganos mecánicos en fundición se obtienen por fusión, por lo tanto, la soldadura se usa para corregir posibles defectos de fusión y para reparaciones. Se utilizan electrodos especiales y el material base debe calentarse adecuadamente antes de la utilización.

# **SOLDADURA MIG-MAG**

1- Introducción

1.1- Generalidades

1.2- Evolución histórica

2- Descripción del procedimiento MIG-MAG

2.1- Principios del proceso

2.2- Equipamiento

2.3- Material de aporte

2.4- Gases de protección

2.5- Tipo de corriente eléctrica

2.6- Alimentador de hilo

2.7- Toberas

3- Modo de transferencia

3.1- Por spray ("spray transfer")

3.2- Por cortocircuito ("short arc ó "dip transfer")

3.3- Globular ("globular transfer")

4- Factores influyentes

4.1- Polaridad de corriente

4.2- Gas de protección

4.3- Intensidad de corriente

4.4- Tensión de corriente

5- Parámetros de soldadura

5.1- Intensidad de corriente

5.2- Tensión de corriente

5.3- Velocidad de arrastre de hilo

5.4- Velocidad de arrastre de pistola

5.5- Caudal de gas

6- Técnicas de soldadura

6.1- Ángulo de pistola

6.2- Técnicas de avance

## **DESARROLLO DEL CONTENIDO**

1- Introducción

## 1.1- Generalidades

Mediante la soldadura MIG/MAG se establece un arco eléctrico entre el electrodo, que tiene forma de hilo continuo, y la pieza a soldar. En esta ocasión la protección tanto del arco como del baño de soldadura se lleva a cabo mediante un gas, que puede ser activo (MAG) o inerte (MIG).

La soldadura MIG-MAG tiene ventajas respecto al procedimiento de electrodo revestido. Entre ellas cabe destacar la mayor productividad que se obtiene, debido a que se eliminan los tiempos muertos empleados en reponer los electrodos consumidos. Se estima que para el procedimiento usando electrodo revestido, el hecho de desechar la última parte del electrodo antes de reponerlo por otro, más el consiguiente proceso de cebado del arco, hace que sólo el 65% del material es depositado en el baño, el resto son pérdidas. Sin embargo, el empleo de hilos continuos en forma de bobinas, tanto del tipo sólidos como tubulares, como material de aportación para el procedimiento MIG-MAG aumenta el porcentaje de eficiencia hasta el 80-90%. Además, al disminuir el número de paradas se reduce las veces del corte y posterior cebado del arco, por lo que se generan menos discontinuidades en el cordón como son los famosos "cráteres".

## 1.2- Evolución histórica

A continuación se resume aquellos hitos que fueron concluyentes en el avance, en general de la técnica de soldar bajo gas protector, hasta nuestros días:

- 1.919: se llevan a cabo las primeras investigaciones sobre el uso de gases de protección en los procesos de soldeo. Estas investigaciones versaron principalmente sobre los dos grandes grupos de gases, a saber, inertes (caso del Helio y Argón) o activos (CO<sub>2</sub>). No obstante, el empleo de este último tipo inducía a la aparición de proyecciones y poros en el cordón una vez solidificado; pero por otro lado, el poder calorífico alcanzado por el arco bajo un gas activo es muy superior al alcanzado empleando un gas noble;
- 1.924: es el año donde aparece la primera patente TIG registrada por los americanos Devers y Hobard;
- 1.948: comienza a emplearse gas inerte con electrodo consumible, dando lugar a lo que más tarde será conocido como procedimiento MIG. Este tipo de procedimiento tenía el inconveniente que era poco el grado de penetración que se alcanzaba en los aceros;
- 1.952: es el año donde comienza a emplearse gas activo con electrodo consumible, dando lugar a lo que más tarde será conocido como procedimiento MAG;

- 1.950: se van desarrollando procedimientos de automatización de los procesos de soldeo, gracias a las mejoras conseguidas en los equipos de soldeo y en la fabricación de los materiales de aporte. Por ejemplo, para disminuir las proyecciones se empezaron a emplear como material de aporte hilos huecos llenos en su interior de revestimiento, o el empleo de mezclas de gases nobles y activos.

## 2- Descripción del procedimiento MIG-MAG

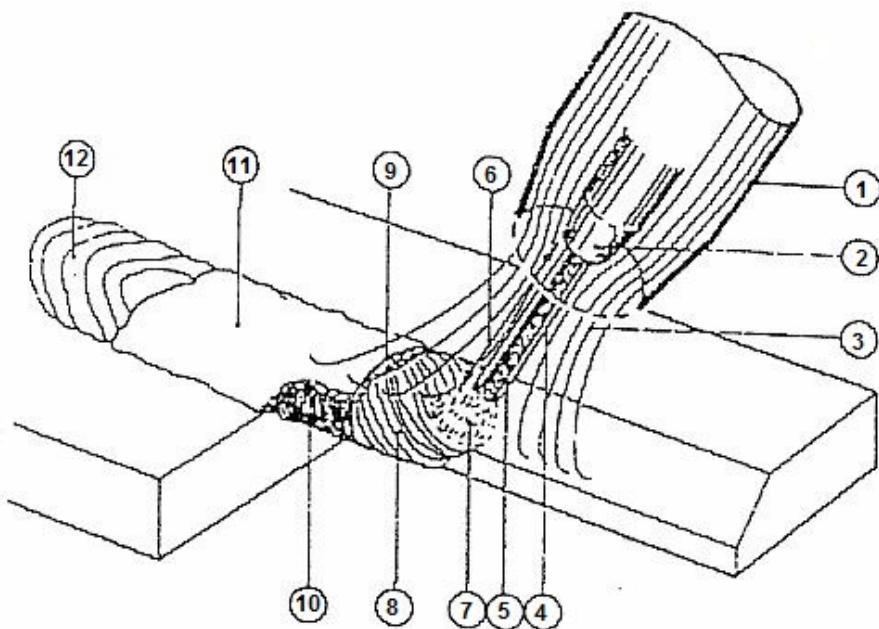
### 2.1- Principios del proceso

En este procedimiento se establece el arco eléctrico entre el electrodo consumible protegido y la pieza a soldar. La protección del proceso recae sobre un gas, que puede ser inerte, o sea que no participa en la reacción de la soldadura, dando lugar al llamado procedimiento de soldadura MIG (Metal Inert Gas); o por el contrario el gas utilizado es activo, que participa de forma activa en la soldadura, dando lugar al llamado procedimiento MAG (Metal Active Gas).

El empleo del procedimiento MIG-MAG se hace cada vez más frecuente en el sector industrial, debido a su alta productividad y facilidad de automatización. La flexibilidad es otro aspecto importante que hace que este procedimiento sea muy empleado, dado que permite soldar aceros de baja aleación, aceros inoxidables, aluminio y cobre, en espesores a partir de los 0,5 mm y en todas las posiciones. La protección por gas garantiza un cordón de soldadura continuo y uniforme, además de libre de impurezas y escorias. Además, la soldadura MIG / MAG es un método limpio y compatible con todas las medidas de protección para el medio ambiente.

A continuación se define los parámetros que caracterizan a este tipo de procedimiento:

- Fuente de calor: por arco eléctrico;
- Tipo de electrodo: consumible;
- Tipo de protección: por gas inerte (MIG); por gas activo (MAG);
- Material de aportación: externa mediante el mismo electrodo que se va consumiendo;
- Aplicaciones: el procedimiento MAG se aplica a los aceros, mientras que el procedimiento MIG para el resto de metales.



#### Leyenda:

- 1.-Boquilla; 2.-Tubo de contacto; 3.-Gas de protección; 4.-Varilla (sólida o tubular); 5.-Flux en caso de varilla tubular; 6.-Longitud libre de varilla (stik-out); 7.-Transferencia del metal aportado; 8.-Baño de soldeo y escoria líquida; 9.-Escoria sólida protegiendo al baño de fusión; 10.-Metal depositado; 11.-Escoria solidificada; 12.-Metal de soldadura solidificado libre de escoria.

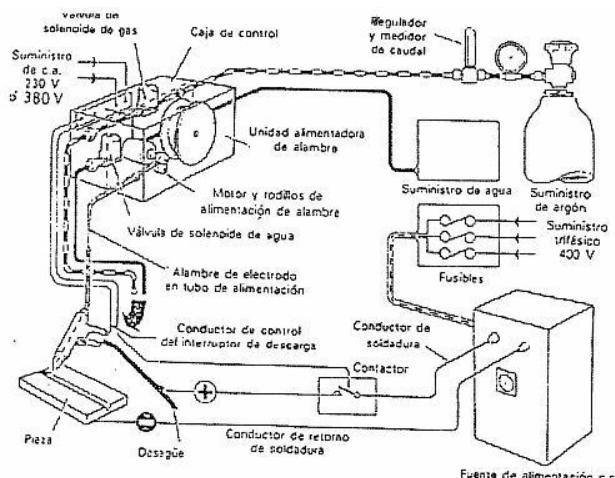
La soldadura mediante procedimiento MIG-MAG tiene ciertas ventajas frente al método del electrodo revestido, entre ellas que el soldador no tiene que cambiar de electrodo usando el procedimiento MIG-MAG, por lo que se elimina la formación de cráteres a lo largo del cordón, muy típicos en los puntos donde se cambia de electrodos y hay que cebar de nuevo el arco.

Por otro lado, como inconveniente está que son más los parámetros a regular mediante el procedimiento MIG-MAG, que son, entre otros, la velocidad de alimentación del hilo, su diámetro, el voltaje, el caudal de salida del gas, mientras que para el caso de uso de electrodos revestidos eran sólo la intensidad de corriente y el diámetro del electrodo.

#### 2.2- Equipamiento

Para llevar a cabo la soldadura mediante el procedimiento MIG-MAG es necesario el siguiente equipo básico:

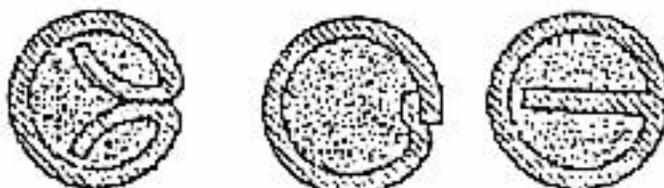
- Generador de corriente CC;
- Cilindro de gases;
- Unidad de alimentación de hilo;
- Pistola de soldadura;
- Circuito de refrigeración;
- Órganos de control;



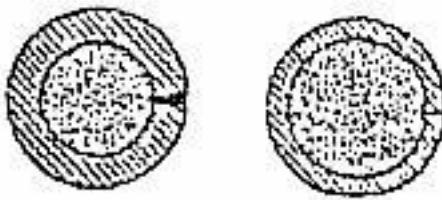
Del anterior esquema se deduce que la movilidad de la pistola porta-electrodos para el procedimiento MIG-MAG es menor y más complicada que para otros métodos.

### 2.3- Material de aporte

Como material de aporte, este procedimiento utiliza hilos que pueden ser macizos o tubulares. Estos se suministran enrollados en bobinas y recubiertos de cobre:



Con solape



#### A tope

El hecho de recubrir los hilos de electrodos con cobre se realiza para conseguir los siguientes objetivos:

- favorecer el contacto eléctrico;
- disminuir los rozamientos;
- obtener protección contra la corrosión.

En cuanto a su composición química, va a depender del tipo de gas de protección. Por ejemplo, con argón en MIG se usa un hilo macizo, mientras que si se usa CO<sub>2</sub> en MAG se emplea hilo tubular.

Para el caso de hilos tubulares, el material de relleno o FLUX puede ser básico (T5) o de rutilo (T1).

#### 2.4- Gases de protección

El empleo de un tipo de gas u otro va a influir en aspectos tales como:

- energía aportada;
- tipo de transferencia del material al baño;
- penetración del cordón;
- velocidad de soldeo;
- aspecto final del cordón;
- proyecciones y salpicaduras.

A continuación se va a repasar brevemente las propiedades de cada gas de protección utilizado, según el tipo de procedimiento.

**- Procedimiento MIG:**

a) Argón (Ar)

El empleo de este gas bajo procedimiento MIG repercute en crear una buena estabilidad del arco, debido al bajo potencial de ionización que genera.

Es idóneo para soldar piezas de espesores pequeños.

Este gas no se usa para soldar aceros dado que el baño que origina tiene poca fluidez y con tendencia a formar poros, a la vez que mordeduras a ambos lados del cordón.

En cuanto a la forma de llevar a cabo la transferencia del material de aporte, es mediante cortocircuito o en "spray".

b) Mezcla de argón y oxígeno (Ar al 98% + O<sub>2</sub> al 2%)

Si se utiliza esta mezcla mejora la fluidez del baño, a la vez que la penetración de la soldadura.

Esta solución sí es apta para la soldadura de aceros inoxidables, aunque hay que prestar especial atención a la porosidad que pudiera generarse.

c) Helio (He)

Es un tipo de gas de elevada conductividad, a la vez que genera poca penetración de soldeo y cordones anchos.

Es un tipo de gas poco utilizado en Europa.

**- Procedimiento MAG:**

a) Anhídrido carbónico (CO<sub>2</sub>)

Es un gas que es más barato que otros empleados en soldadura como el argón. No obstante origina peligro de formación de hielo, por lo que requiere el uso de calentadores.

Genera un arco muy enérgico, que consigue mayor penetración, a la vez que origina mayor cantidad de proyecciones y salpicaduras. El aspecto final del cordón suele ser rugoso.

Como material de aporte se utiliza con hilos que contienen composición alta de Si y Mn, realizándose la transferencia de material en cortocircuito.

Su uso se restringe al acero, consiguiéndose mejorar la penetración.

Especial atención y cuidado requiere la atmósfera con alto contenido en CO (gas tóxico) que genera, por lo que se requiere disponer de extractores en los lugares de soldeos para renovar el aire.

b) Mezcla de argón y anhídrido carbónico (Ar al 80% + CO<sub>2</sub> al 20%)

Cuando se utiliza esta mezcla en soldadura MAG se generan pocas proyecciones en el cordón y mayor tasa de productividad.

El aspecto final de los cordones es muy bueno, siendo buenas las características mecánicas del metal depositado.

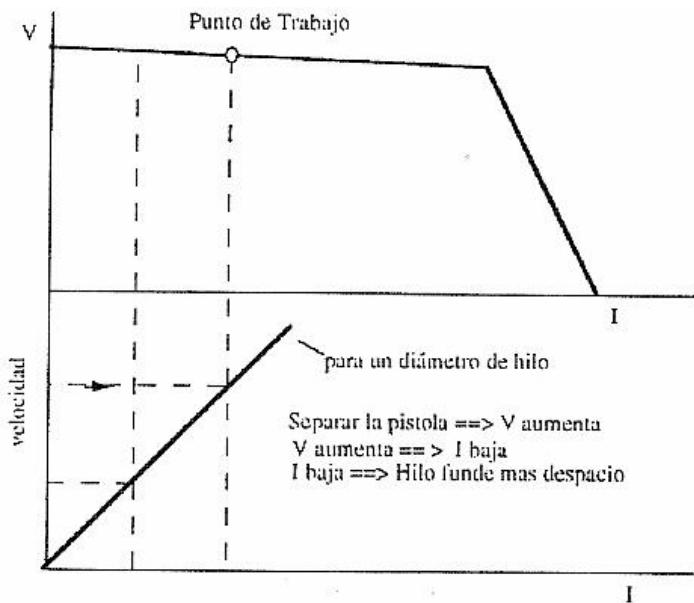
Este tipo de gas permite una mayor facilidad de reglaje de los parámetros de soldeo.

Por otro lado, este gas es de precio más caro, a la vez que hay que cuidar que no se produzca estratificación en las botellas de suministro.

## 2.5- Tipo de corriente eléctrica

Para la soldadura MIG-MAG siempre habrá que emplear la corriente continua (CC). No se recomienda emplear la polaridad directa, debido a que origina un arco poco estable que favorece el rechazo de la gota fundida.

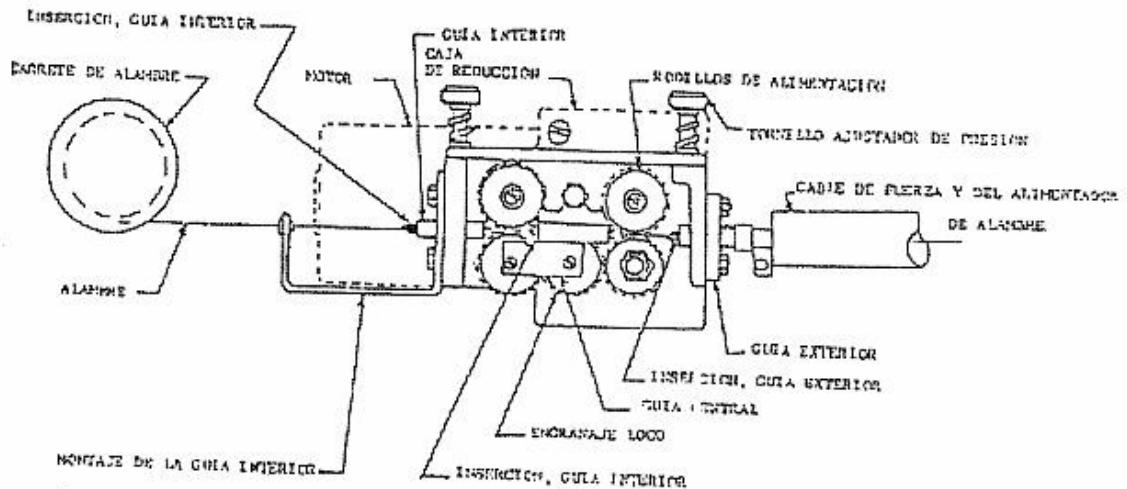
Las fuentes de corrientes que se empleen deben presentar una característica estática ligeramente descendente. En estos equipos el voltaje (V) que se establece en el arco es prácticamente constante, gracias al proceso de autorregulación que van equipados. Esto supone que la velocidad de alimentación del hilo, que es un parámetro a regular, será proporcional a la intensidad de corriente que se precisa para fundirlo, de manera que la distancia electrodo pieza se mantenga constante y así también el voltaje aplicado.



Según se deduce de la figura anterior, la velocidad del hilo va a ser un parámetro que tendrá que ser regulado por el operario. De esta forma, dependiendo de la velocidad de alimentación del hilo, para un voltaje establecido, el equipo regulará la intensidad de corriente para que el consumo de hilo coincida con su velocidad de salida.

## 2.6- Alimentador de hilo

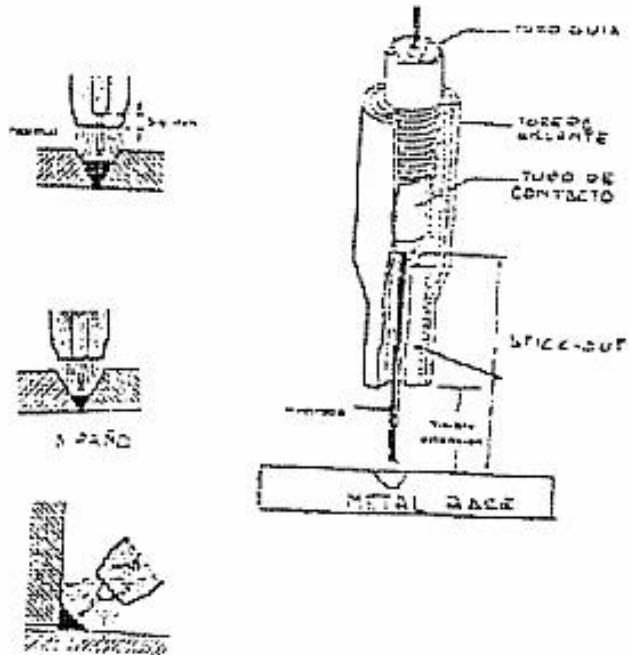
Existen diferentes tipos de rodillos de arrastres que pueden ser utilizados. Los que son moleteados se emplean cuando el hilo de aporte resulta más duro (por ejemplo, de acero)



## 2.7- Toberas

Normalmente estas toberas tienen un diámetro de 15 mm, y se prolongan una distancia de unos 6 mm más allá del tubo de contacto.

No obstante, resulta conveniente disponer de toberas de diferentes longitudes, según el tipo de trabajo a realizar.



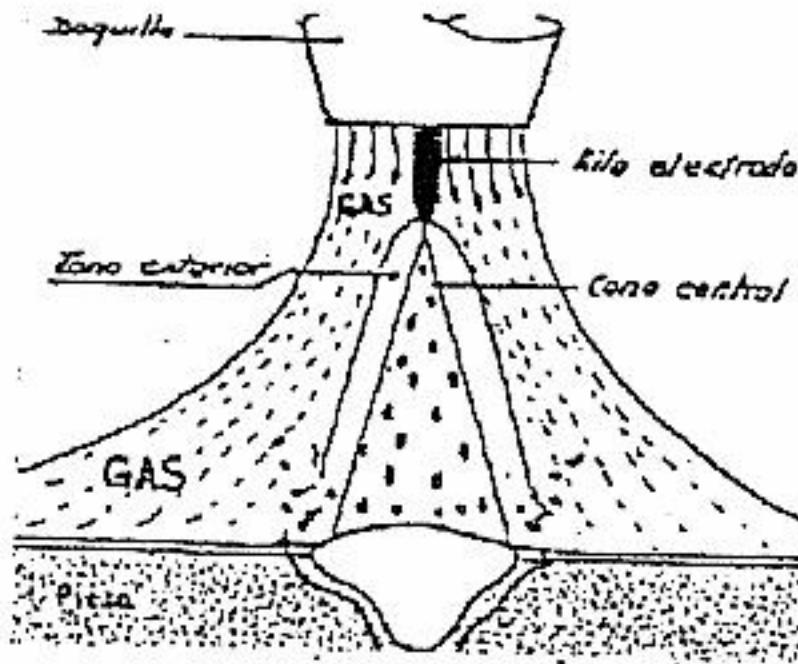
### 3- Modos de transferencia

#### 3.1- Por spray ("spray transfer")

Mediante este modo de transferencia de material, las gotas, que generalmente serán de pequeño diámetro, se depositan en el baño siguiendo la dirección del hilo.

Es un modo de transferencia típico de los arcos estables y baños de fusión muy calientes.

El resultado que deja es un cordón de aspecto liso y con escasas proyecciones, estando caracterizado por una penetración muy marcada en el centro.



Cuando se produce este tipo de transferencia resulta difícil el control del baño, salvo cuando se suelda en posición horizontal.

El modo de transferencia por spray normalmente se produce cuando se utiliza como gas argón (Ar), puro o en mezclas ricas en argón.

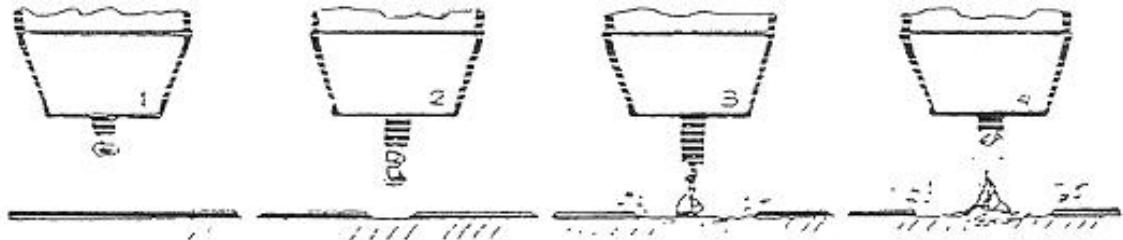
Para que se produzca este tipo de transferencia es necesario emplear tensiones elevadas ( $>28$  V), originándose en el proceso un zumbido característico.

### 3.2- Por cortocircuito ("short arc" o "dip transfer")

Este modo de transferencia se genera cuando se producen frecuentes cortocircuitos que hacen extinguir el arco (entre 40 y 200 veces/seg.)

Es típico de los baños relativamente fríos y con pequeño poder de penetración.

Se genera un arco ruidoso con muchas proyecciones y de aspecto ancho y rugoso.

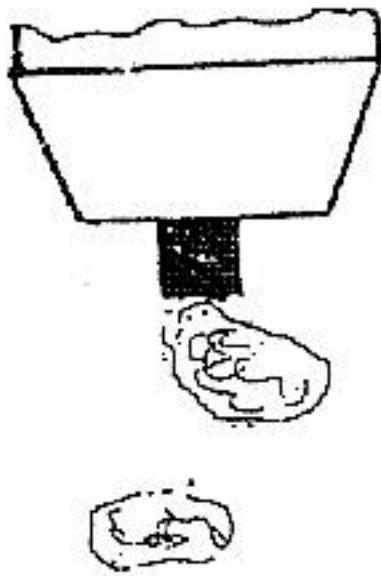


Este modo de transferencia se usa para ejecutar soldaduras en posición, y se genera cuando se utiliza como gas CO<sub>2</sub>, o con mezclas de CO<sub>2</sub> con argón.

Para que se produzca la transferencia por cortocircuito es necesario emplear valores bajos de tensión (<22 V).

### 3.3- Globular ("globular transfer")

Para este modo de transferencia las gotas que se transfieren al baño son de tamaño relativamente grande.



Se genera con arcos menos estables, originándose abundantes proyecciones a lo largo del cordón.

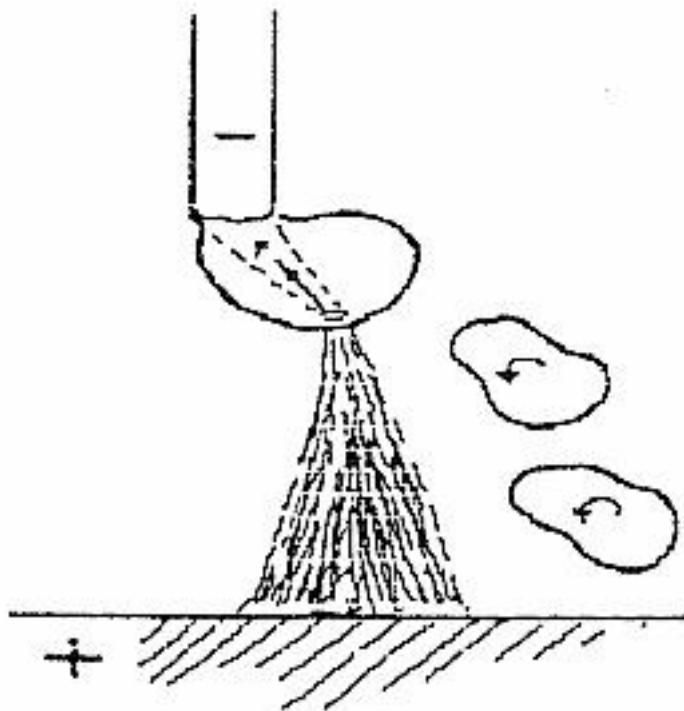
Asimismo se produce poca penetración de soldeo, y la tensión necesaria se encuentra entre 22-28 V.

#### 4- Factores influyentes

##### 4.1- Polaridad de corriente

En la soldadura MIG-MAG se debe emplear siempre corriente continua y polaridad inversa (CC/PI), nunca corriente alterna.

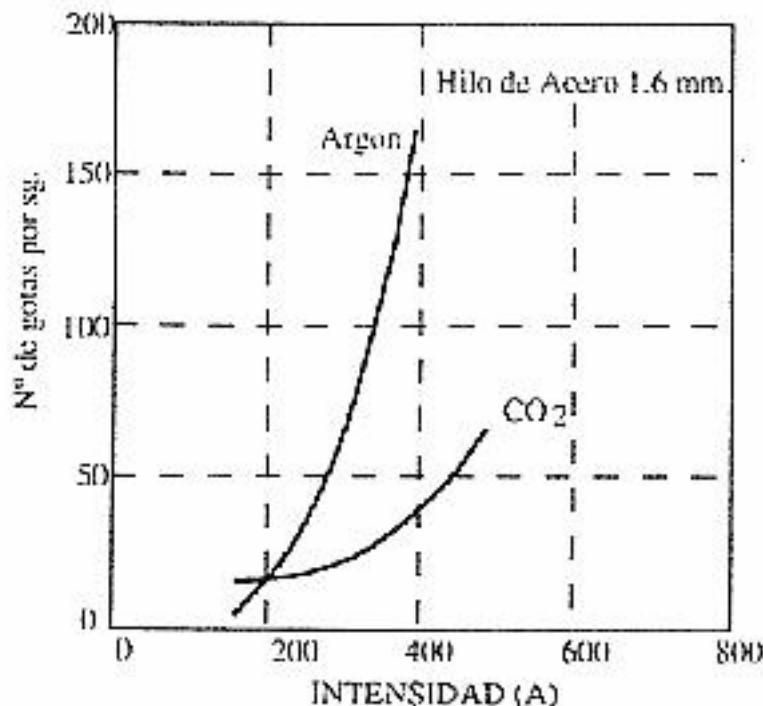
Si se emplease corriente continua con polaridad directa generaría en la transferencia de material gotas muy voluminosas y probablemente rechazo, por lo que siempre se debe utilizar en polaridad inversa.



#### 4.2- Gas de protección

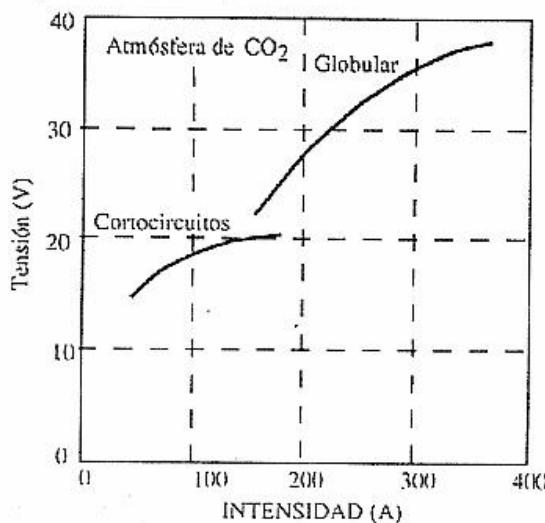
A modo de ejemplo se adjunta la siguiente gráfica comparativa entre los gases argón y CO<sub>2</sub> y su influencia en la velocidad de transferencia de material.

Influencia del tipo de gas de protección en la velocidad de transferencia de material para soldadura mig mag



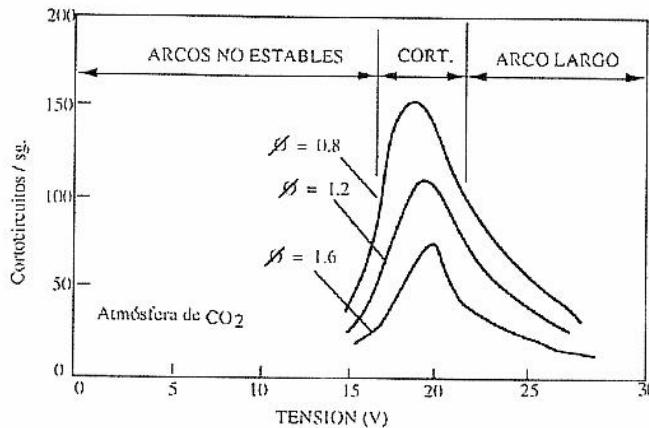
#### 4.3- Intensidad de corriente

Se adjunta la siguiente gráfica donde se muestra la influencia de la intensidad de corriente:



#### 4.4- Tensión de corriente

Se adjunta la siguiente gráfica donde se muestra la influencia de la tensión de corriente:



#### 5- Parámetros de soldadura

##### 5.1- Intensidad de corriente

El valor de la intensidad de corriente que se aplique va a estar definida por:

¿Qué Opinas de esta Web?

Envía tus comentarios y sugerencias

Pulsar aquí para enviarnos tus sugerencias

- grosor de chapa;

- diámetro del hilo de aporte;

- posición de soldeo;
- penetración que se deseé conseguir;
- tipo de pasada (si es de raíz, de relleno o final).

La intensidad de corriente queda automáticamente regulada por el equipo de soldeo en función de la velocidad de salida del hilo, que a su vez dependerá de su diámetro, y del voltaje y caudal de gas empleado.

Como ya se ha visto, el valor de intensidad con que se suelde va a tener influencia en el tipo de transferencia que se consiga. En general, intensidad grande de corriente va a generar transferencia en "gotas pequeñas".

## 5.2- Tensión de corriente

El valor de la tensión de corriente tiene una influencia notoria sobre el modo de transferencia:

- cortocircuitos: tensión de 14 a 22 Voltios;
- globular: tensión de 22 a 26 Voltios;
- spray: tensión de 27 a 40 Voltios.

En general, aumentar el voltaje supondrá que se obtenga un cordón más ancho.

## 5.3- Velocidad de arrastre de hilo

La velocidad de arrastre del hilo va a ser siempre proporcional a la intensidad de corriente. Es un valor que se fija en el equipo de soldeo, lo que va a fijar la intensidad de corriente.

#### 5.4- Velocidad de arrastre de pistola

La velocidad de arrastre de la pistola de soldeo va a depender de:

- posición de soldadura que se practique;
- del aspecto del cordón que se requiera;
- de la penetración que se deseé conseguir;
- forma del cordón.

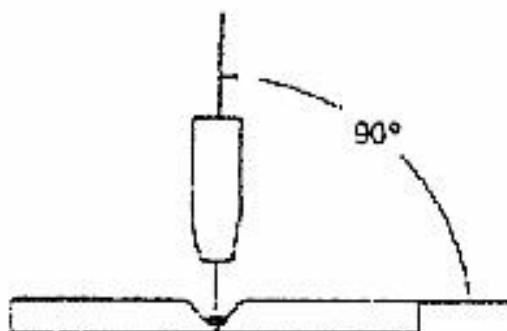
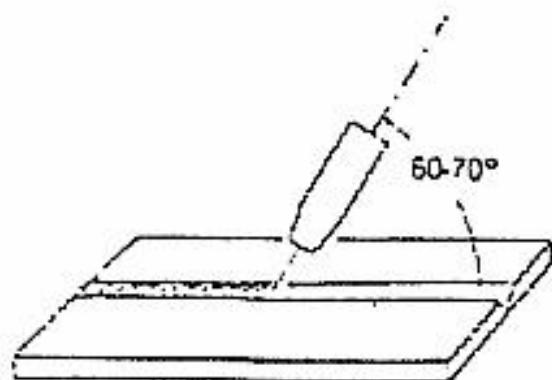
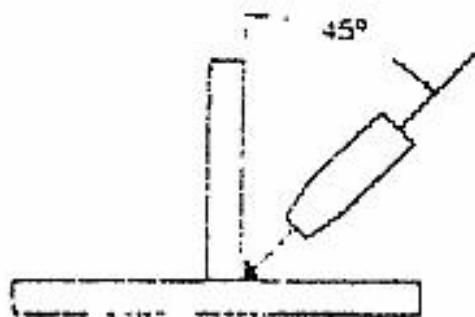
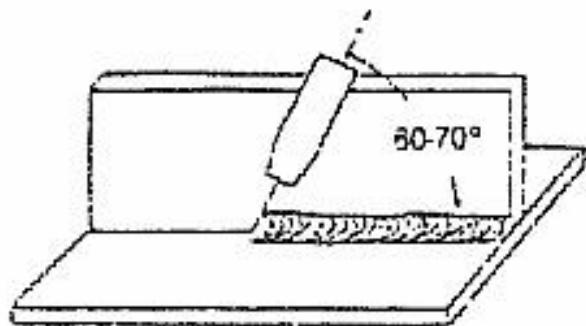
#### 5.5- Caudal de gas

El valor del caudal de gas de salida dependerá del tipo de gas empleado. Como valores normales de referencia oscila entre los 14 a 16 litros/minuto si se emplea CO<sub>2</sub> y de 10 a 12 litros/minuto para mezclas.

### 6- Técnicas de soldadura

#### 6.1- Ángulo de pistola

A continuación se muestra unas figuras representativas del ángulo de pistola óptimo para el proceso:



## 6.2- Técnicas de avance

Las distintas posiciones de avance que se pueden presentar durante el proceso de soldadura son:

- soldadura a derecha;
- soldadura a izquierda;
- soldadura en vertical;
- soldadura en cornisa;

- soldadura en techo.

#### a) Soldadura a derecha

La soldadura a derecha proporciona una mayor penetración y avance de la pistola.

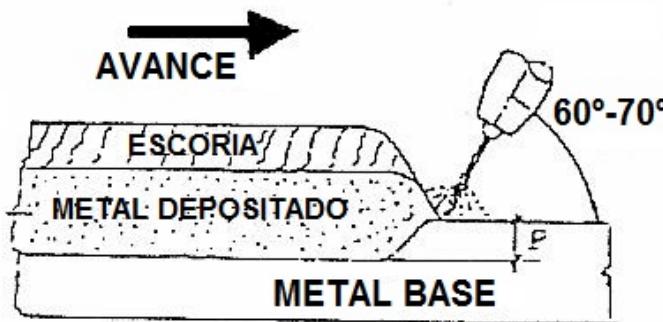
Por otro lado, se evita el riesgo de inclusiones de escorias, y además disminuye la probabilidad de formación de poros o de falta de fusión del baño.

Genera un baño muy caliente y fluido, lo que requiere cierta habilidad por parte del operario.

Se ejecuta mediante pasadas estrechas.

#### Avance de soldadura a derecha

Esquema de soldadura a derecha



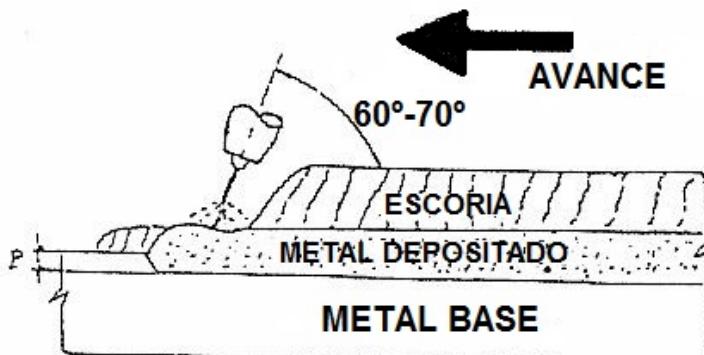
#### b) Soldadura a izquierda

La soldadura ejecutada a izquierda proporciona poca penetración, por lo que sólo se recomienda para soldar chapas finas.

Por otro lado, requiere menor intensidad de corriente, por lo que el calor aportado al proceso es menor.

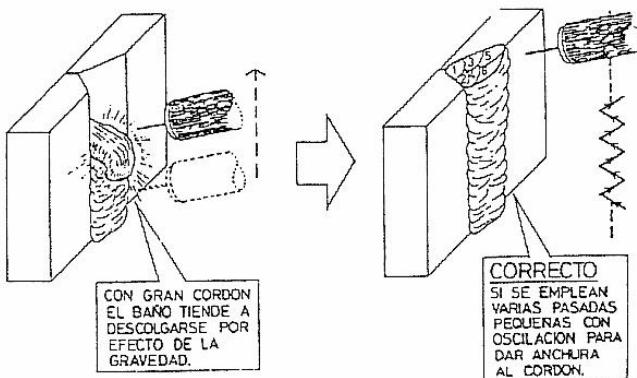
Tiene tendencia a la formación de poros y de falta de fusión en el baño.

Genera cordones anchos.

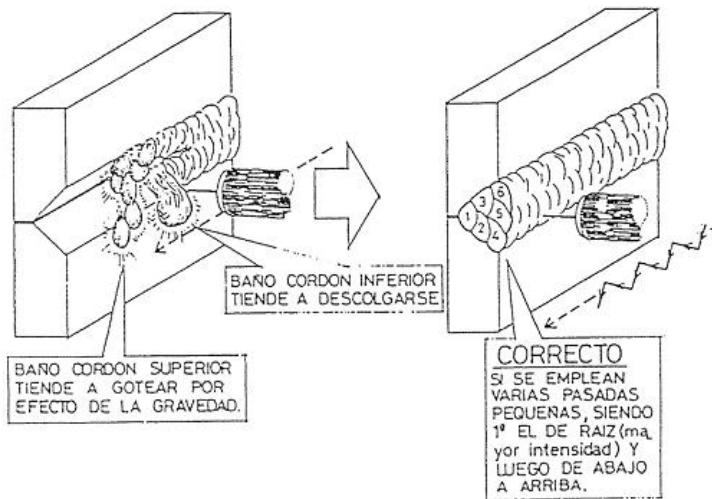


Esquema de soldadura a izquierda

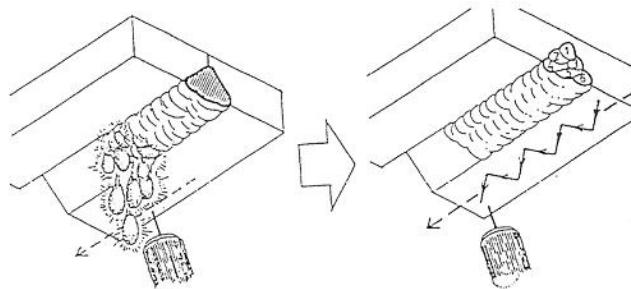
c) Soldadura en vertical:



d) Soldadura en cornisa:



#### e) Soldadura en techo:



Para las soldaduras ejecutadas en techo se recomienda realizar varias pasadas pequeñas con oscilación.

## **SOLDADURA TIG**

1- Introducción

1.1- Generalidades

1.2- Evolución histórica

2- Descripción del procedimiento TIG

2.1- Principios del proceso

2.2- Equipamiento

2.3- Material de aporte

2.4- Gases de protección

2.5- Electrodos

2.6- Tipos de corriente eléctrica

3- Técnica operatoria de soldeo

3.1- Generalidades

3.2- Distancias

3.3- Ángulo

3.4- Caudal de gas

**3.5- Material de aporte**

**3.6- Afilado del electrodo**

**3.7- Intensidad de corriente**

**3.8- Limpieza**

## **DESARROLLO DEL CONTENIDO**

**1- Introducción**

**1.1- Generalidades**

En este tutorial se continúa con el estudio de los diferentes procedimientos existentes para la soldadura. En este caso se dedica su contenido al procedimiento de soldadura TIG.

Este es un procedimiento de soldeo donde la protección del baño de fusión se va a encomendar al establecimiento de una atmósfera artificial mediante un gas protector, y el empleo de un electrodo no consumible.

Si se persigue obtener cordones de soldadura con calidad, éste es el procedimiento más adecuado. No obstante su dificultad de realización es alta, y requiere la pericia de un operario altamente cualificado.

**1.2- Evolución histórica**

A continuación se resume aquellos hitos que fueron concluyentes en el avance, en general de la técnica de soldar bajo gas protector, hasta nuestros días:

- 1.919: se llevan a cabo las primeras investigaciones sobre el uso de gases de protección en los procesos de soldeo. Estas investigaciones versaron principalmente sobre los dos grandes grupos de

gases, a saber, inertes (caso del Helio y Argón) o activos (CO<sub>2</sub>). No obstante, el empleo de este último tipo de gas inducía que se produjeran la aparición de proyecciones y poros en el cordón una vez solidificado éste; pero por otro lado, el poder calorífico alcanzado por el arco utilizando un gas activo es muy superior al alcanzado empleando un gas noble;

- 1.924: es el año donde aparece la primera patente TIG registrada por los americanos Devers y Hobard;
- 1.948: es el año donde comienza a emplearse gas inerte con electrodo consumible, dando lugar a lo que más tarde será conocido como procedimiento MIG. Este tipo de procedimiento tenía el inconveniente que era poco el grado de penetración que se alcanzaba en los aceros;
- 1.952: es el año donde comienza a emplearse gas activo con electrodo consumible, dando lugar a lo que más tarde será conocido como procedimiento MAG;
- 1.950: se van desarrollando procedimientos de automatización de los procesos de soldeo, gracias a las mejoras conseguidas en los equipos de soldeo y en la fabricación de los materiales de aporte. Por ejemplo, para disminuir las proyecciones se empezaron a emplear como material de aporte hilos huecos llenos en su interior de revestimiento, o el empleo de mezclas de gases nobles y activos.

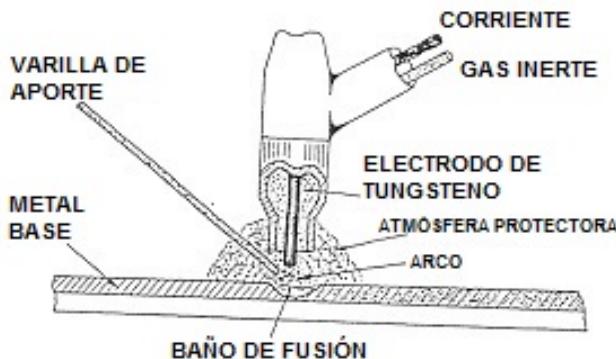
## 2- Descripción del procedimiento TIG

### 2.1- Principios del proceso

Es un procedimiento de soldadura con electrodo refractario bajo atmósfera gaseosa. Esta técnica puede utilizarse con o sin metal de aportación.

El gas inerte, generalmente Argón, aísla el material fundido de la atmósfera exterior evitando así su contaminación. El arco eléctrico se establece entre el electrodo de tungsteno no consumible y la pieza. El gas inerte envuelve también al electrodo evitando así toda posibilidad de oxidación.

Como material para la fabricación del electrodo se emplea el tungsteno. Se trata de un metal escaso en la corteza terrestre que se encuentra en forma de óxido o de sales en ciertos minerales. De color gris acerado, muy duro y denso, tiene el punto de fusión más elevado de todos los metales y el punto de ebullición más alto de todos los elementos conocidos, de ahí que se emplee para fabricar los electrodos no consumibles para la soldadura TIG.



A continuación se define los parámetros que caracterizan a este tipo de procedimiento:

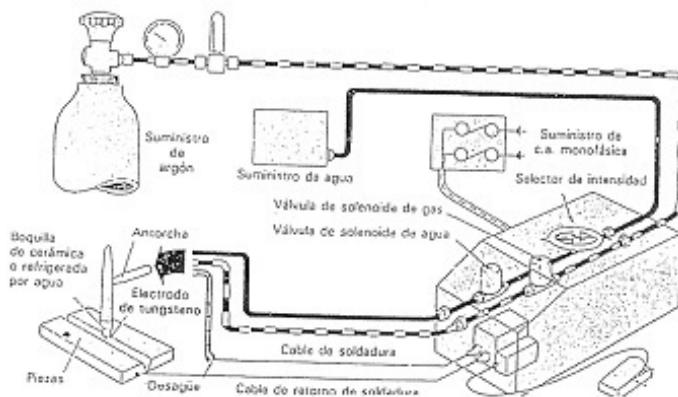
- Fuente de calor: por arco eléctrico;
- Tipo de electrodo: no consumible;
- Tipo de protección: por gas inerte;
- Material de aportación: externa mediante varilla, aunque para el caso de chapas finas se puede conseguir la soldadura mediante fusión de los bordes sin aportación exterior;
- Tipo de proceso: fundamentalmente es manual;
- Aplicaciones: a todos los metales;
- Dificultad operatoria: mucha.

La soldadura que se consigue con este procedimiento puedes ser de muy alta calidad, siempre y cuando el operario muestra la suficiente pericia en el proceso. Permite controlar la penetración y la posibilidad de efectuar soldaduras en todas las posiciones. Es por ello que sea éste el método empleado para realizar soldaduras en tuberías.

Una variante de este proceso es el llamado TIG pulsado, donde la corriente que se aplica varía entre dos niveles a frecuencias que dependen del tipo de trabajo, consiguiéndose mejorar el proceso de cebado. Para este caso el tipo de corriente a emplear es alterna. El TIG pulsado tiene aplicación sobretodo para pequeños espesores.

## 2.2- Equipamiento

Para llevar a cabo la soldadura mediante el procedimiento TIG es necesario el siguiente equipo básico:



- Generador de corriente CC y/o CA de característica descendente;
- Generador de alta frecuencia o de impulsos, que mejora la estabilidad del arco en caso de empleo de CA, y facilita el cebado;
- El circuito de gas;
- Pinza Porta-electrodo;
- Circuito de refrigeración;
- Órganos de control;

La pinza termina formando una tobera por donde sale el gas, sobresaliendo por su centro el electrodo.

A continuación, se expone un ejemplo de la pinza porta-electrodos para soldaduras TIG:



Figura 3. Pinza porta-electrodo

Como ya se ha dicho, el procedimiento TIG es de aplicación para todo tipo de metales y en soldaduras con responsabilidad, debido a la gran calidad de los cordones que se obtienen. No obstante, requiere cierta pericia en la fase inicial de cebado del arco, debido a la posibilidad que existe que durante esta fase se produzca que el extremo del electrodo toque la pieza. Si esto ocurre puede originarse la contaminación del baño con restos del electrodo que puedan desprenderse.

En ocasiones la soldadura TIG se emplea en combinación con otros procesos, siendo el ejecutado mediante TIG el primer cordón de soldadura que se deposite.

Para espesores de piezas a soldar superiores a los 6-8 mm. este procedimiento no resulta económico.

### 2.3- Material de aporte

Cuando se utilice material de aportación para la soldadura, éste debe ser similar al material base de las piezas a soldar.

Este procedimiento no genera escorias al no emplearse revestimientos en el electrodo, ni tampoco se forman proyecciones.

Normalmente las varillas empleadas como producto de aporte son de varios diámetros en función de los espesores de las piezas a unir.

## 2.4- Gases de protección

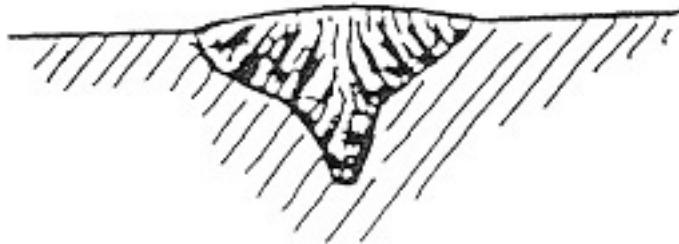
A continuación se relacionan los principales gases empleados en la soldadura TIG:

- Argón (Ar):

Este gas ofrece buena estabilidad del arco y facilidad de encendido. Además ofrece una baja conductividad térmica, lo que favorece a la concentración de calor en la parte central del arco, originándose por ello una penetración muy acusada en el centro del cordón.

Cuando se usa este gas el aspecto típico del cordón es como el que se muestra en la figura adjunta:

Aspecto del cordón de soldadura usando Argón



- Helio (He):

Este gas es muy poco utilizado en Europa. Es necesario aplicar mayor tensión en el arco, consiguiéndose una penetración menor y cordones más anchos. Por otro lado, su uso exige emplear mayor caudal de gas que si se empleara el argón.

- Mezcla de Argón-Helio:

Empleando la mezcla de ambos gases se obtienen características intermedias. No obstante, sólo se suele emplear para el soldeo del cobre, dado que esta mezcla de gases contribuye a la figuración en frío del acero.

- Mezcla de Argón-Hidrógeno:

Su uso aumenta el poder de penetración de la soldadura. Se restringe su uso para soldar aceros inoxidables, dado que aumenta la posibilidad de la figuración en frío para otros aceros.

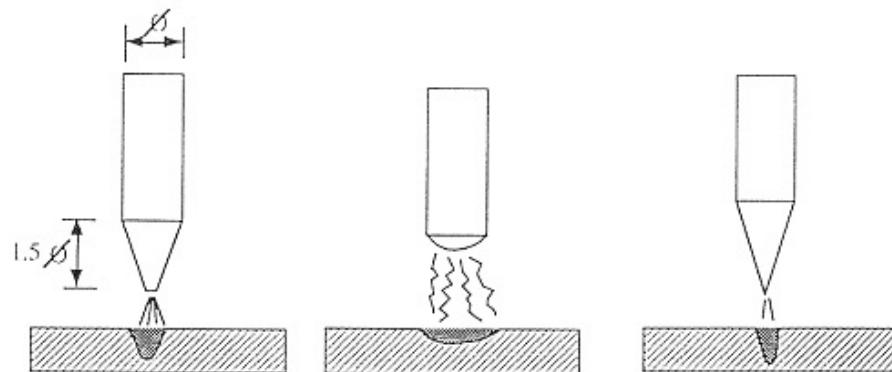
## 2.5- Electrodos

Los electrodos empleados en la soldadura TIG deben ser tales en su naturaleza y diseño, que garanticen un correcto cebado y mantenimiento del arco eléctrico.

Por otro lado, al no ser consumibles, deben estar constituidos de materiales con un elevadísimo punto de fusión ( $>4.000\ ^\circ C$ ) que eviten su degradación.

Entre los materiales existentes es el Tungsteno, en estado puro o aleado, el que mejor cumple con las condiciones exigibles. También se suele utilizar con ciertos componentes añadidos a su composición. Estos elementos aleantes favorecen ciertos aspectos, como el encendido del arco y además mejoran su estabilidad, a parte de mejorar también el punto de fusión del tungsteno puro. Así se suele utilizar como material para los electrodos el tungsteno aleado con torio (Th) o con circonio (Zr).

Los electrodos se presentan en forma cilíndrica con una gama de diámetros de 1,6; 2,4 y 3,2 mm. Cabe destacar la importancia del afilado en el extremo del electrodo, que incide de manera decisiva en la calidad de la soldadura, como se muestra en la figura siguiente:



### Bien Afilado

- Arco estable
- Buena penetración

### Mal Afilado

- Arco errático
- Mala penetración
- Baño ancho

### Muy Puntiagudo

- Peligro de inclusiones
- Peligro de fundirse el extremo del electrodo

Figura 5. Influencia del afilado del electrodo en la calidad de la soldadura

## 2.6- Tipos de corriente eléctrica

Para las soldaduras TIG se puede emplear tanto la corriente continua como alterna. En la figura siguiente se expone los resultados del empleo de uno u otro tipo de corriente:

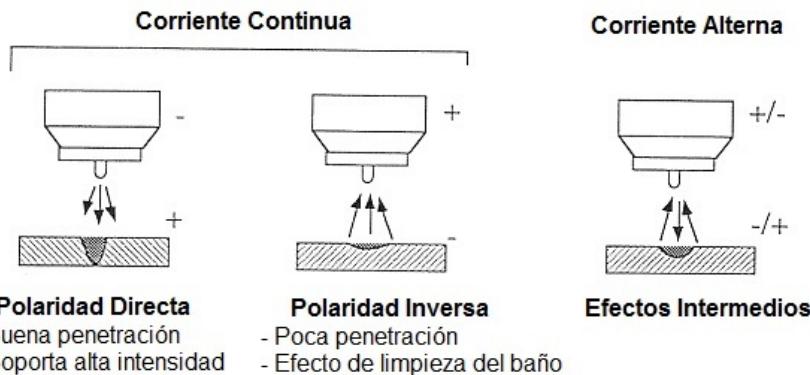


Figura 6. Influencia del tipo de corriente en la calidad de la soldadura

Para el caso de uso de Corriente Alterna (CA) se obtienen unos efectos intermedios en el aspecto del cordón, además de precisar de un generador de alta frecuencia para estabilizar el arco.

Lo habitual en TIG es emplear corriente continua en polaridad directa, debido a que los electrodos con esta configuración alcanzan menor temperatura, y por lo tanto se degradan menos.

A continuación se adjunta una tabla donde, en función del material y tipo de corriente empleada, se resume la calidad de soldadura obtenida:

Material	CA	CCPD	CCPI
Magnesio e < 3 mm.	MB	M	B
Magnesio e > 4 mm.	MB	M	M

Aluminio e < 2,5 mm.	MB	M	B
Aluminio e > 2,5 mm.	MB	M	B
Acero Inoxidable	B	MB	M
Aleaciones de Bronce	B	MB	M
Plata	B	MB	M
Aleaciones de Cr y Ni	B	MB	M
Aceros bajo en C (e < 0,8 mm.)	B	MB	M
Aceros bajo en C (e < 3 mm.)	M	MB	M
Aceros altos en C (e < 0,8 mm.)	B	MB	M
Aceros altos en C (e < 3 mm.)	B	MB	M

De donde se tiene la siguiente leyenda,

CA: Corriente Alterna;

CCPD: Corriente Continua Polaridad Directa;

CCPI: Corriente Continua Polaridad Inversa.

Y el criterio de soldabilidad representado en la tabla es:

MB: Muy buena;

B: Buena;

M: Mala.

### 3- Técnica operatoria de soldeo

#### 3.1- Generalidades

A continuación se expone una serie de recomendaciones de uso que defina los valores de aquellos parámetros que más influyen en la calidad de la soldadura final, con el objetivo de conseguir cordones de soldadura óptimos aplicando esta técnica de soldeo.

#### 3.2- Distancias

En la técnica TIG es muy importante la distancia que separa el electrodo de la pieza, que influye en el mantenimiento del arco eléctrico, así como el tramo de electrodo que sobresale de la tobera de la pinza, recomendándose los siguientes valores según la figura adjunta:

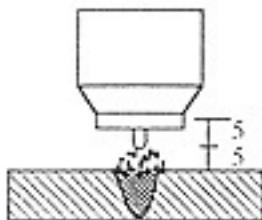


Figura 7. Distancias entre electrodo y pieza

5 mm como máximo de salida del electrodo fuera de la tobera;

5 mm como máximo para la distancia de la punta del electrodo a la pieza.

#### 3.3- Ángulo

Otro factor importante que se debe controlar es la inclinación de la pinza porta-electrodos. Lo ideal sería a  $90^\circ$  con la pinza totalmente perpendicular a la pieza, pero se puede admitir una inclinación entre  $75^\circ$  y  $80^\circ$ , a fin de facilitar el trabajo y el control visual del cordón.

En todo caso, hay que recalcar la idea que una mayor inclinación va en detrimento de la protección de la soldadura, dado que se produce una peor incidencia de la campana de gas protector sobre el baño.

**MAL**

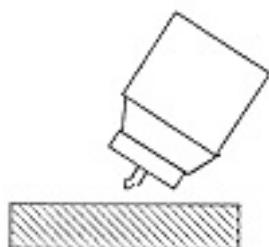


Figura 8. Ángulo de inclinación respecto a la vertical  $30^\circ$

**BIEN**

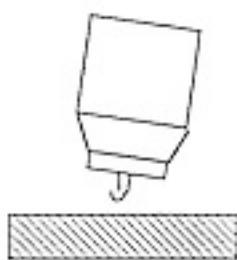


Figura 9. Ángulo de inclinación respecto a la vertical entre  $0^\circ$  y  $15^\circ$

### 3.4- Caudal de gas

El caudal de gas para que la soldadura resulte óptima estaría comprendido entre los 6 y 12 litros/minuto.

### 3.5- Material de aporte

Durante el proceso de soldadura se debe tener la precaución de mantener dentro del flujo de gas la parte caliente de la varilla con el material de aporte, dado que si sale fuera del flujo de protección éste se oxidaría perdiendo propiedades.

### 3.6- Afilado del electrodo

Ya se comentó la importancia del afilado del extremo del electrodo para la estabilidad del arco eléctrico.

Durante el proceso de mecanizado de la punta del electrodo para obtener su afilado se debe tener la precaución de dejar que las estrías queden perpendiculares a la corriente. Con ello se conseguiría que el arco salga más centrado. Si no se sigue esta recomendación se corre el peligro de que el arco resulte errático durante la soldadura.

Para su afilado se recomienda también utilizar una piedra esmeril fina.

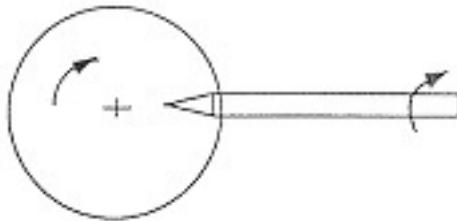


Figura 10. Afilado del electrodo

### 3.7- Intensidad de corriente

La intensidad de corriente requerida será función del diámetro del electrodo que utilicemos. A continuación se relaciona los valores estimados de corriente:

Diámetro (mm.)	Intensidad (A)
1,6	70-150
2,0	100-200
2,4	150-250
3,0	250-400

### 3.8- Limpieza

Como en todo proceso de soldadura, la presencia de grasas, aceites, óxidos, etc. ... son fuente de contaminación del baño fundido, lo que interfiere negativamente en la calidad final del cordón que se obtenga.

# **SOLDADURA POR GAS Y OXIACETILÉNICA**

1- Generalidades

1.1- Introducción

1.2- Caracterización de la soldadura

1.3- Clasificación de los procedimientos de soldadura

1.4- Soldadura por fusión

2- Principios del proceso

2.1- Introducción

2.2- Gases a utilizar

2.3- Propiedades de la llama

3- Soldadura oxiacetilénica

3.1- Introducción

3.2- Tipos de procesos en la soldadura oxiacetilénica

3.3- Preparación de superficies

3.4- Equipo de soldadura

3.5- La llama oxiacetilénica

### **3.6- Productos de aporte**

### **3.7- Técnica operatoria**

## **4- Precauciones de uso y seguridad**

### **4.1- Peligro por retroceso de llama**

### **4.2- Incendio o explosión de mangueras**

### **4.3- Normas de almacenamiento y uso de los cilindros de presión**

## **DESARROLLO DEL CONTENIDO**

### **1- Generalidades**

#### **1.1- Introducción**

Se entiende por soldadura en su sentido más general, a un proceso de fabricación mediante el cual se realiza la unión continua y homogénea de dos materiales, que puede llevarse a cabo, aunque dependiendo del tipo de soldadura, mediante la aportación directa de calor o sin ella, con aplicación de material de aportación o sin ella, o mediante la aplicación o no de esfuerzo mecánico entre las piezas a unir.

#### **1.2- Caracterización de la soldadura**

En el proceso de soldadura interviene una serie de factores previos a la realización de los trabajos que habrá que tener en cuenta, a la vez que se deriva una problemática específica a este procedimiento una vez finalizada la tarea.

Entre los factores a tener en cuenta antes de comenzar los trabajos de soldadura se destacan los siguientes:

- Tipos de materiales a unir y su soldabilidad;
- Elección del procedimiento de soldeo a emplear en función del material, diseño de la unión, uso posterior, medios disponibles...
- Cualificación de los operarios;
- Propios del desarrollo del proceso (estabilización del arco, reacciones químicas presentes, desarrollo de la transferencia del material...).

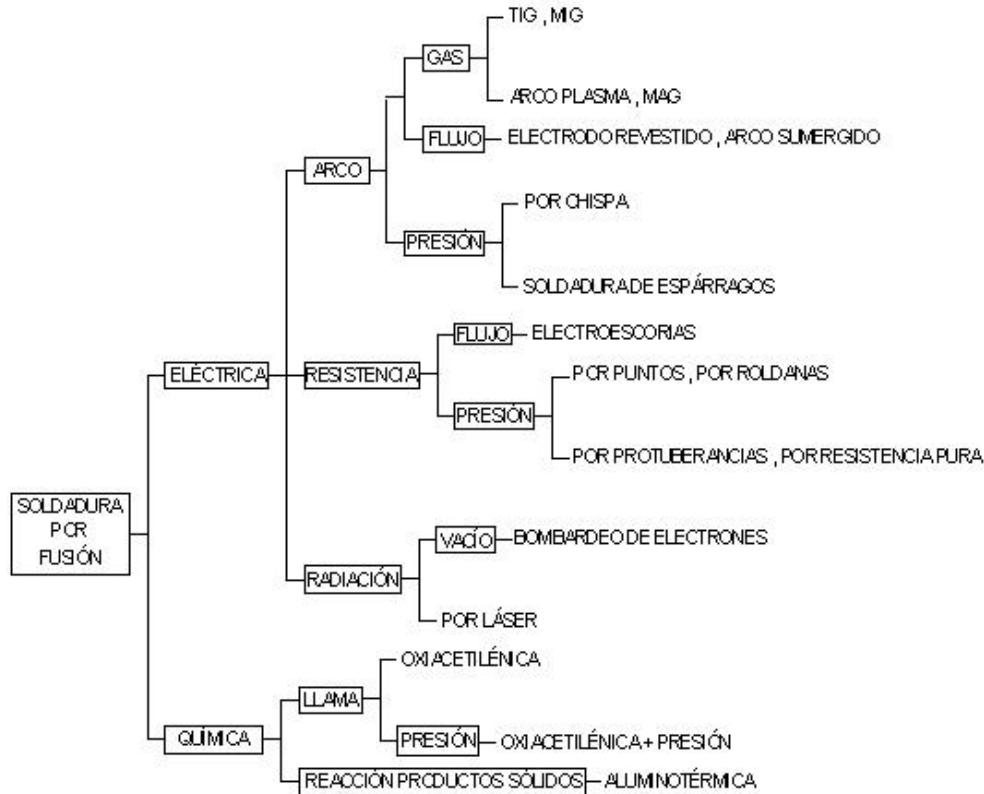
Una vez finalizado los trabajos se debe comprobar la calidad y estado de los mismos, a la vez que se deberá tener en cuenta otros aspectos que son propios al proceso de soldadura, como son:

- Aparición de tensiones térmicas durante el proceso de soldadura, y de tensiones residuales una vez finalizado los trabajos;
- Problemas de fatiga, que pueden llevar a la rotura de la unión ante solicitudes cíclicas;
- Aparición de agrietamientos y de nuevas estructuras metalúrgicas en la zona donde se produce la unión y el área limítrofe afectada térmicamente;
- Necesidad de llevar a cabo labores de inspección una vez efectuado los trabajos, a fin de comprobar su integridad.

### 1.3- Clasificación de los procedimientos de soldadura

A continuación se expone una clasificación de los procedimientos para soldaduras de fusión ateniendo a factores como la fuente de energía (si eléctrica o química), al calor aportado (por arco eléctrico, por resistencia, por radiación, mediante llama o por reacción de productos sólidos), al esfuerzo mecánico (si hay o no presión) y por el tipo de protección empleada (mediante gas, flujo):

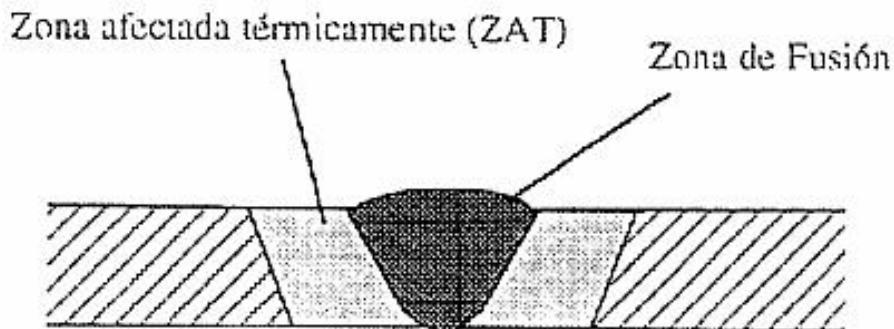
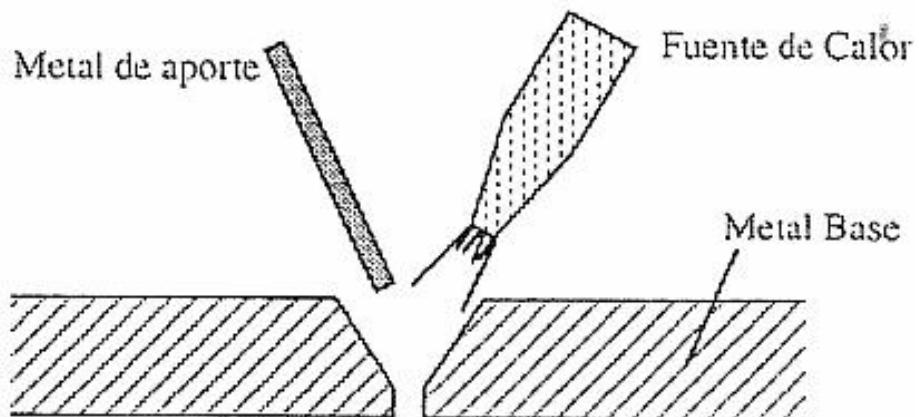
## Clasificación de los procedimientos de soldadura



### 1.4- Soldadura por fusión

La soldadura por gas se enmarca dentro de la llamada soldadura por fusión.

Es uno de los procedimientos más utilizados y conocidos en la actualidad, aunque actualmente sólo se limita su uso a la soldadura de chapas finas, cobre, aluminio y reparación de piezas fundidas. Para su ejecución se requiere un gran aporte de calor exterior que origina la fusión tanto del metal base como el de aporte. Este hecho trae como consecuencias la aparición de reacciones metalúrgicas, así como tensiones y deformaciones del material en la zona de la pieza afectada térmicamente.



## 2- Principios del proceso

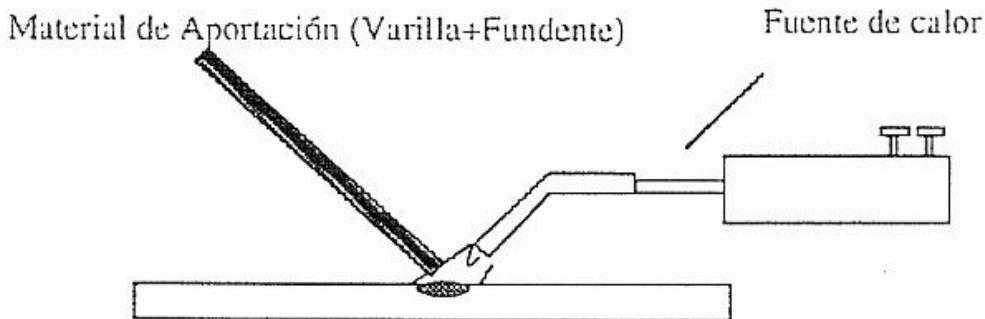
### 2.1- Introducción

En las soldaduras por gas, al integrarse dentro del tipo de las soldaduras por fusión, se requiere del aporte de una fuente de calor exterior.

Este calor necesario se obtiene mediante la llama de la combustión de dos gases, comburente + combustible.

Como tipo de protección de la soldadura actúa el gas resultante de dicha combustión.

Se trata de un proceso manual, donde el material de aportación se realiza externamente mediante varilla, y si procede también fundente.



## 2.2- Gases a utilizar

En las soldaduras por gas el oxígeno actúa como comburente, mientras como combustible se pueden emplear varios gases (propano, butano, acetileno...) en función del tipo de aplicación.

En general, el tipo de gas que se emplee como combustible debe reunir una serie de propiedades, tales como que alcance una temperatura elevada de llama, que posea un poder calorífico elevado, y que presente una mínima reacción química entre la llama y el metal base.

A continuación se incluye una tabla con los distintos gases que se pueden emplear como combustible y su rango de aplicación:

Tipo de Gas	Volumen O <sub>2</sub>	Temperatura de Llama	Aplicaciones
Hidrógeno	1/2	2.550 °C	Precalentamiento

Gas Natural	2	2.720 °C	Corte y Precaleamiento
Propano	5	2.910 °C	Corte y Precaleamiento
Butano	6.5	2.910 °C	Corte y Precaleamiento
Acetileno	1.3	3.110 °C	Soldadura y Corte
	2.5	3.000 °C	Soldadura y Corte

### 2.3- Propiedades de la llama

Es evidente que las propiedades de la llama van a depender del tipo de gas que se utilice como combustible. A continuación se definen aquellas características que deben ser tenidas en cuenta para que el proceso de soldadura se lleve a buen término:

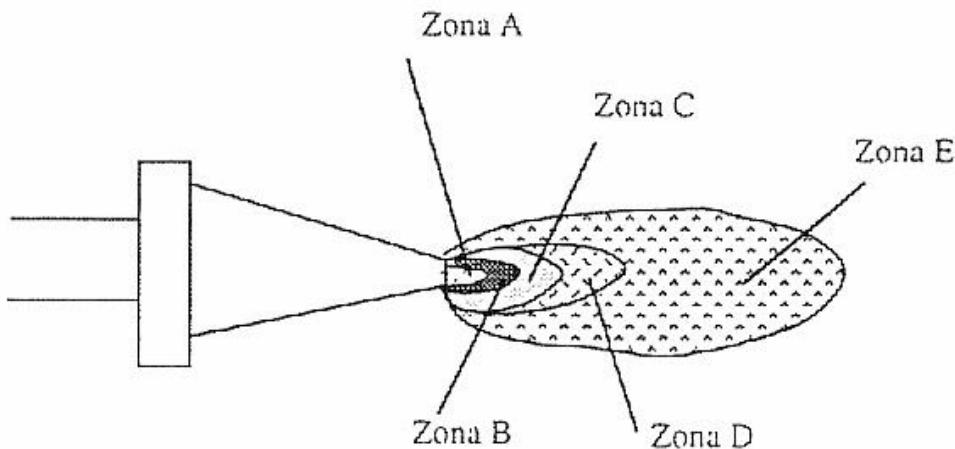
- Térmicas: Para que se produzca la soldadura la temperatura de la llama debe ser muy superior a la de fusión del metal base, de tal forma que se compense las pérdidas de calor que se dan durante el proceso de soldeo.
- Químicas: La llama debe poseer propiedades reductoras, dado que de ser oxidante originarían en el metal base características mecánicas no deseables.
- De aplicación industrial: La llama debe ser estable para que pueda ser utilizado como método de soldeo. La estabilidad de la llama se consigue por equilibrio entre la velocidad de salida del gas ( $V_g$ ) y la velocidad de propagación de la llama ( $V_p$ ). En el caso que  $V_p > V_g$  se originaría un retroceso de la llama e imposibilitaría el proceso de soldadura, además de resultar muy peligroso para la seguridad.

Por otro lado, debe ser rígida. La rigidez de la llama es función de la velocidad de combustión, a la vez que ésta depende de la proporción y presión de los gases combustible y comburente.

Además, la llama debe poder regularse fácilmente. La flexibilidad en la regulación va a depender de los límites de inflamación de la mezcla.

- Económicas: Las características de la llama deben ser tales que permita soldar a una velocidad adecuada para que el proceso resulte rentable.

Adjunto se muestra una figura con las zonas que se pueden distinguir en una llama,



Zona A: zona azul o dardo que es donde se calienta la mezcla hasta la temperatura de inflamación;

Zona B: zona donde se produce una elevación de la temperatura;

Zona C: zona donde se alcanza la máxima temperatura;

Zona D: zona donde se produce la concentración de los productos de la reacción primaria;

Zona E: penacho, donde se origina la combustión secundaria.

Como conclusión a este punto, cabe decir que la llama que reúne las mejores cualidades para la soldadura por gas es la llama oxiacetilénica.

### 3.1- Introducción

En la soldadura oxiacetilénica la fuente de calor está originada por la combustión del oxígeno y acetileno.

El acetileno ( $C_2H_2$ ) es un gas altamente inflamable, incoloro y más ligero que el aire (densidad del acetileno, 0.907 kg/m<sup>3</sup>). De los gases combustibles, el que dispone de mayor poder calorífico es el acetileno (poder calorífico del acetileno, 11.600 kcal/kg), lo que permite alcanzar temperaturas de llama más elevada (superior a los 3.000 °C) y posee una gran intensidad de llama y velocidad de combustión, por lo que es universalmente utilizado en muchos procesos industriales: soldadura y corte, tratamientos por calor, escarificado, enderezado, temple y revenido de partes mecánicas...

El proceso se origina por el intenso calor de la llama oxiacetilénica que eleva la temperatura del metal base, y que permite que el metal de aporte fluya fundido sobre la superficie del metal base, que no llega a fundirse. La superficie del metal base debidamente caliente y químicamente limpia arrastra hacia el interior por atracción capilar la película de material de aporte, lo que a su vez origina el enfriamiento del metal base hasta que el metal de aporte se solidifique.

Esta humectación o mojado del metal base por parte de la película que forma el metal de aporte dependerá de la naturaleza de los metales a unir y del estado de sus superficies. En la práctica las superficies se van a presentar contaminadas por óxidos o grasas que van a impedir un correcto mojado.

Para obtener resultados satisfactorios es necesario recubrir o decapar las superficies de las piezas a unir con fundentes limpiadores.

### 3.2- Tipos de procesos en la soldadura oxiacetilénica

En la soldadura oxiacetilénica se diferencian dos procedimientos distintos, a saber:

- Soldadura por fusión: cuando los bordes de las piezas en contacto se funden por la acción de la llama oxiacetilénica. En este caso, también puede haber o no material de aporte. En caso de no utilizarse varilla de aporte, son los bordes de las piezas en contacto las que funden. Al fundirse los bordes, éstos fluyen en contacto, que tras enfriarse resulta todo un solo bloque de metal. Cuando se utiliza varilla de aporte, ésta deberá tener la misma composición que las piezas a unir.

- Soldadura fuerte y blanda: en este procedimiento las piezas a unir no llegan a fundir sus bordes, sino que se crean juntas de alta resistencia en la zona de contacto. Este tipo de procedimiento se divide a su vez en Soldadura Fuerte ("Brazing" en inglés) o Soldadura Blanda ("Soldering"). Las aleaciones ferrosas que fluyan a una temperatura máxima de 427°C son utilizadas en la soldadura blanda, mientras que aquellas que fluyan a temperaturas superiores a 427°C serán utilizadas para la soldadura fuerte. En todo caso, la temperatura de trabajo siempre será inferior a la temperatura de fusión del metal base. La gran aplicación de este procedimiento es para aquellos materiales donde estas bajas temperaturas de trabajo evitan que se genere cambios estructurales por el efecto de las altas temperaturas.

### 3.3- Preparación de superficies

La limpieza de las superficies tiene por objeto la eliminación de cuerpos extraños que van a dificultar el correcto mojado del metal de aporte. Se podrán utilizar dos procedimientos:

- Limpieza mecánica;
- Limpieza química.

La limpieza química consiste en el empleo de determinados agentes limpiadores, llamados fundentes.

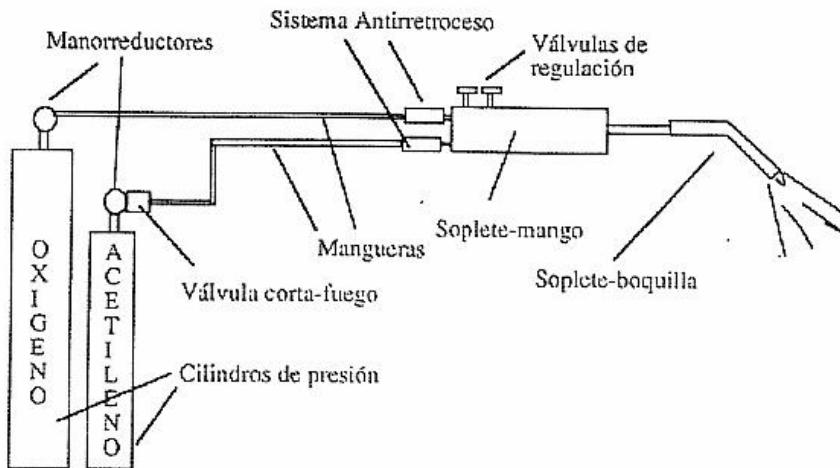
Los fundentes sirven para disolver o escorificar los óxidos que se forman sobre la superficie de diversos metales durante el proceso de calentado. Los fundentes suelen presentarse en forma de polvos, y en algunos casos, como líquidos.

Los fundentes presentan una temperatura de fusión más baja que la del metal de aporte. Cuando alcanzan esta temperatura, mojan o humectan la superficie de contacto y sirven también como indicador de temperatura para la aplicación del metal de aporte.

No existe un fundente universal para todos los usos, debido a que los óxidos de los diferentes metales y aleaciones varían mucho de propiedades físicas y químicas. Cada metal base o cada varilla de aportación requerirá el empleo de un fundente especial, según sus características. La elección del tipo de fundente deberá hacerse en todo caso consultando los catálogos de los suministradores.

### 3.4- Equipo de soldadura

Adjunto se representa esquemáticamente el equipo de soldadura necesario,



#### a) Cilindros de presión de acetileno

El acetileno se suministra en cilindros o botellas de acero a presión. Se trata de un gas altamente inestable, por lo que requerirá de cuidados especiales para su almacenamiento. Así, el interior de la botella de acetileno deberá ser preparada con una masa porosa de arena, carbón vegetal, amianto, cemento y todo embebido en acetona, para evitar la explosión del acetileno. La presión de suministro o de llenado de las botellas es de 15 kg/cm<sup>2</sup>.

Adjunto se incluye una tabla con las características de las botellas de suministro del gas:

Volumen en botellas (litros)	Diámetro (mm.)	Altura con tulipa (mm.)	Peso total llenas (Kg.)	Presión de llenado a 15°C (bar)	Contenido (Kg.)
------------------------------	----------------	-------------------------	-------------------------	---------------------------------	-----------------

40	229	1370	81	15	7
40/33	229	1370	80	15	6
20	204	905	40	15	4
5	140	600	14	15	1

Otros datos de interés se relacionan a continuación:

- Proporción de la mezcla (Acetileno/Oxígeno) para la llama:

Máximo: 1:1,5

Normal: 1:1,1

- Temperatura de la llama:

Máximo: 3160 °C

Normal: 3106 °C

- Velocidad de propagación de la llama:

Máximo: 1160 cm/seg

Normal: 710 cm/seg

b) Cilindros de presión de oxígeno

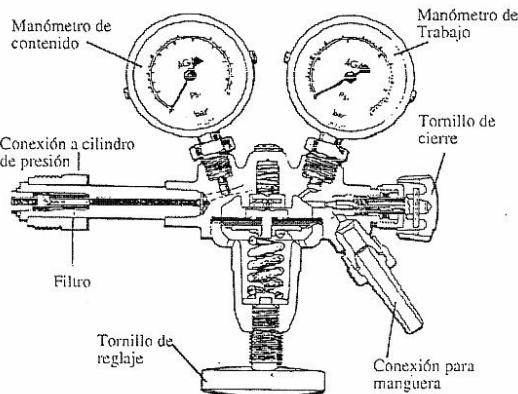
El oxígeno se suministra igualmente en botellas de acero a presiones elevadas, superiores a los 150 kg/cm<sup>2</sup>. Al ser intensamente oxidante, deberá evitarse todo contacto con sustancias fácilmente combustibles, ya que podrá provocar su combustión. Todos los accesorios y elementos que puedan entrar en contacto con el oxígeno deberán estar exentos de grasa, aceites y lubricantes.

Adjunto se incluye una tabla con las características de las botellas de suministro:

Volumen en botellas (litros)	Diámetro (mm.)	Altura con tulipa (mm.)	Peso total llenas (Kg.)	Presión llenado (bar a 15°C)	Contenido (m <sup>3</sup> )
50	229	1640	84	200	10,6
20	204	940	37	200	4,2
10	140	950	24	200	2,8
5	140	610	12	200	1
2,5	115	450	5	200	0,5

### c) Manorreductores

La misión de los manorreductores es la de disminuir la presión que los gases tienen en el interior de las botellas, y mantenerlas estables en su salida a través de las mangueras. Se adjunta figura representativa,



La mayoría de los reguladores son de dos graduaciones y tienen dos medidores, uno para indicar la presión del cilindro y otro para indicar la presión que entra en la manguera.

#### d) Válvula de seguridad

Se trata de un dispositivo de seguridad conectado al cilindro de acetileno que sirve para evitar el retroceso de la llama al interior del cilindro debido a un mal uso o por cualquier tipo de accidente (por ejemplo, la explosión de una manguera...).



#### e) Mangueras

Son los elementos flexibles, lisos por el interior construidos en mult capas, de goma sintética resistente a la acción de los gases, con inserciones textiles de fibra sintética para reforzar la estructura, y cubierta también de goma sintética que suelen ser de color rojo para el acetileno y verde/azul para el oxígeno, resistente a la abrasión, a la luz y a los agentes atmosféricos.

Estos elementos sirven de nexo de unión entre los manorreductores y el soplete. Su presión de trabajo está limitada por lo que se deberá actuar sobre el manorreductor para controlar en todo momento la presión de salida de los gases.

#### f) Sistema antirretroceso

Son dos válvulas de seguridad colocadas entre mangueras y sopletes que permiten el paso del gas en un sentido y no en el otro.



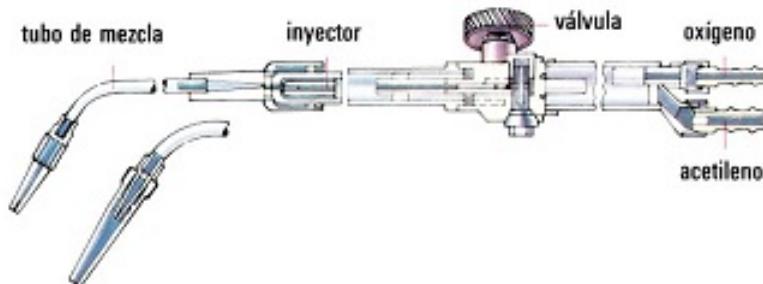
#### g) Soplete

Se compone de un cuerpo o mango con válvulas de regulación y de boquillas intercambiables. Su misión es la de mezclar los gases y conseguir la llama óptima para el soldeo. La velocidad que adquiere los gases al paso por el soplete debe ser alta a fin de evitar un retroceso de la llama.

El soplete estándar puede ser de tipo combinado, es decir, que puede ser utilizado para soldar o cortar.

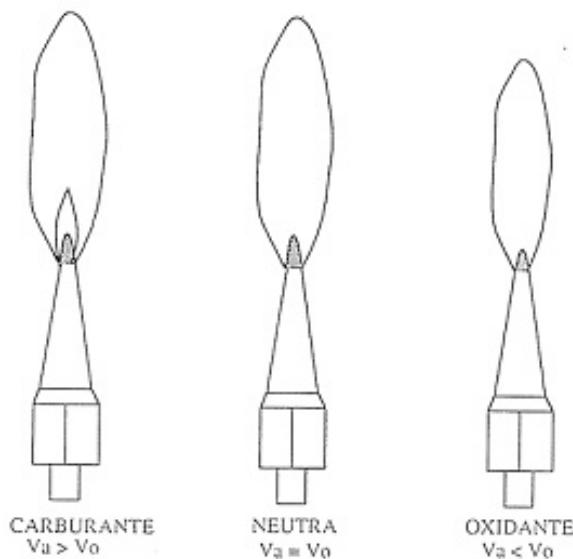
Se emplean diferentes tipos y tamaños de boquilla junto con el soplete para aplicaciones específicas de soldadura y corte. El equipo normal tiene tres o más boquillas. Una boquilla demasiado pequeña retardará excesivamente y en algunos casos hará imposible la fusión del metal base. Por el contrario, una boquilla demasiado grande puede llegar a la quemadura del metal base. Los fabricantes recomendarán ciertos tipos de boquillas para cada tipo de metales y espesores de piezas a unir.

Para el encendido primero se debe dar salida al gas combustible, posteriormente mediante una chispa se trata de encender el soplete, y luego actuando sobre el regulador del oxígeno situado en el mango del soplete, se regula la llama hasta conseguir la óptima (aproximadamente se produce para volúmenes iguales de oxígeno y acetileno).



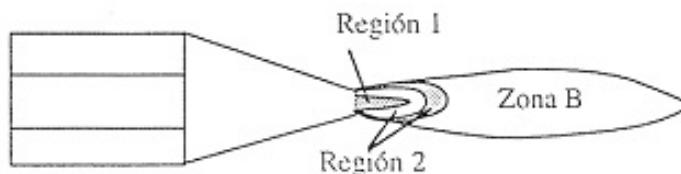
### 3.5- La llama oxiacetilénica

Es el tipo de llama que se origina en la punta de la boquilla por la combustión de 1 volumen de oxígeno ( $V_o$ ) con 1.1 a 1.3 volúmenes de acetileno ( $V_a$ ). El volumen de los gases se regula mediante las llaves situadas en el mango del soplete. Dependiendo de la relación entre los volúmenes de los gases se distinguen tres tipos de llamas que tienen aplicaciones diferentes. La normalmente empleada para soldadura de aceros es la llama neutra.



Tipos llamas en función de la regulación

A continuación se muestra las distintas zonas que se pueden distinguir en la llama oxiacetilénica y las reacciones que se originan en cada caso.

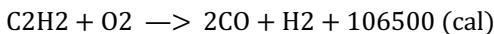


a) Zona A

Se distinguen a su vez dos regiones en esta zona, a saber:

- Región 1: Se produce la mezcla de acetileno y oxígeno a temperatura baja. Se distingue como un cono o dardo de color azulado brillante.

- Región 2: Se sitúa inmediatamente después de la Región 1 y es donde tiene lugar la reacción primaria originándose a su vez un aumento brusco de la temperatura, alcanzando su valor máximo al final de un cono de color verdoso. La reacción que tiene lugar es reductora y por tanto apta para soldar.



#### b) Zona B ó Penacho

En esta zona tiene lugar la reacción secundaria como consecuencia del contacto con el aire. No es una zona apta para la soldadura dado que su temperatura es baja. La zona de alta temperatura está poco definida y los gases resultantes no dan la protección adecuada.



### 3.6- Productos de aporte

A continuación se describe la función que desempeña el metal de aporte y los fundentes.

#### a) Metal de aporte

Se suministran en varillas de metal que se funden con la llama y se depositan sobre los bordes de la pieza a soldar o sobre la superficie para compensar desgastes. Además, pueden ser utilizados para conferir ciertas propiedades mecánicas al metal base.

Para la elección del material de aporte se debe tener en cuenta los siguientes factores:

- que sea de la mejor calidad posible;

- que las propiedades mecánicas del metal de aporte sean tales que la unión soldada que resulte posea mejores propiedades mecánicas que el metal base;
- se recomienda que en su composición química haya exceso de Mn, Si y C;
- el diámetro de la varilla será en función del método de ejecución y del espesor de la pieza a soldar.

Según la naturaleza del metal base, el tipo de varilla de aporte en la soldadura fuerte puede clasificarse en:

- Cobre puro;
- Aleaciones a base de plata;
- Aleaciones a base de cobre;
- Aleaciones a base de aluminio.

#### b) Fundentes

Como ya se trató anteriormente en la sección 3.3 los fundentes son productos químicos que se utilizan para evitar la formación de óxidos que puedan quedar ocluidos en la unión soldada. Su uso es obligatorio para la soldadura de todos los metales y aleaciones salvo para el acero suave.

Los requisitos que deben reunir los fundentes son tales que:

- deberán ser capaz de disolver la película de óxido que se forma durante el proceso de soldeo;
- el compuesto resultante (fundente+óxido) deberá ser ligero y flotar en el metal fundido, para evitar así que quede ocluido en el interior de la soldadura;
- deberá poseer una temperatura de fusión inferior a la del metal base.

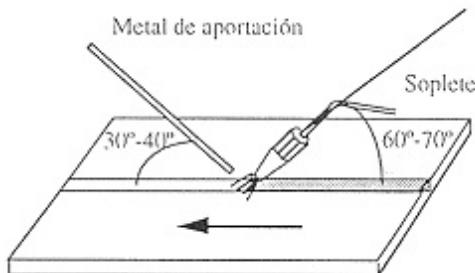
Metal	Varilla	Tipo de Llama	Fundente
Acero Suave	Acero al Carbono	Neutra	No
Acero Inoxidable	Acero Inoxidable	Neutra	Sí
Aleación de Aluminio	Aluminio	Carburizante	Sí
Aleación de Cobre	Cobre	Neutra	Sí

### 3.7- Técnica operatoria

Una vez regulado el soplete, y elegido los productos de aporte, se procederá a la operación de soldadura. Se pueden distinguir varias posiciones o técnicas:

#### a) Método Clásico o "a izquierdas"

El metal de aportación se sitúa por delante de la boquilla, el sentido de avance es tal que la llama se dirige hacia la zona no soldada.



- Ventajas:

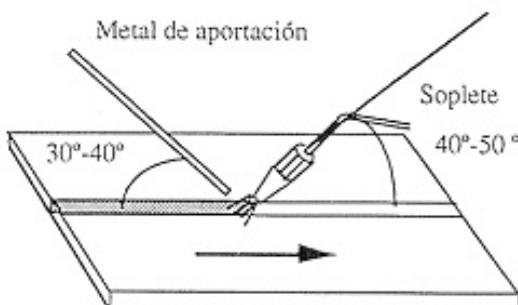
- es de aplicación en piezas con espesores de hasta 6 mm;
- ejecución fácil y de buena penetración;
- buen aspecto del cordón.

- Inconvenientes:

- coste elevado debido a la baja velocidad de soldeo y alto consumo de gases;
- deformaciones residuales importantes.

b) Método "a derechas"

El metal de aportación se sitúa por detrás de la boquilla, el sentido de avance es tal que la llama se dirige hacia la zona ya soldada.



- Ventajas:

- es de aplicación para espesores de 12-15 mm;

- menor consumo de gases y gran velocidad de ejecución;

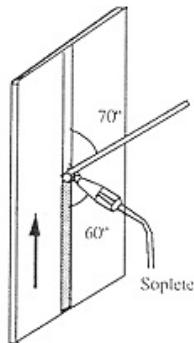
- menores distorsiones en la pieza base.

- Inconvenientes:

- no está recomendado para soldar piezas con espesores menores de 6 mm.

### c) Soldadura en vertical ascendente

Está dentro de las llamadas soldaduras en posición, por lo que su ejecución reviste más dificultad.



### 4- Precauciones de uso y seguridad

#### 4.1- Peligro por retroceso de llama

Las causas más comunes por las que puede producirse el retroceso de la llama son: boquilla sucia, soplete en mal estado, distancia desde la boquilla a la pieza a soldar inadecuada, etc.

Como norma general de actuación se recomienda cerrar primero la salida de oxígeno para que cese la combustión.

#### 4.2- Incendio o explosión de mangueras

Las causas más comunes por las que puedan originarse accidentes con las mangueras pueden ser debidas a su mal estado de conservación, mal reglaje de presión en los manorreductores, mala colocación de las mangueras durante el proceso de soldeo, etc.

Como en el caso anterior se debe actuar cerrando los cilindros de presión, y en primer lugar el oxígeno.

#### 4.3- Normas de almacenamiento y uso de los cilindros de presión

Se debe evitar golpearlos, no exponerlos al sol, ni calentarlos con llamas. En general mantener los cilindros almacenados por debajo de 50°C, en lugar bien ventilado.

Los cilindros de oxígeno no se deben manipular en contacto con materiales aceitosos o grasos.

Para el caso del acetileno, evitar su contacto directo con cobre puro, mercurio, plata y latón que tenga más del 70% de cobre.

En general, se recomienda cada 5 años realizar una prueba hidrostática sobre los cilindros.

A continuación se relacionan otras recomendaciones de seguridad sobre el uso del acetileno:

- El acetileno es extremadamente inflamable y explosivo. Su uso a presiones superiores a 1 kg/cm<sup>2</sup> supone un riesgo alto de explosión. Por lo tanto nunca se debe utilizar acetileno fuera del cilindro a presiones superiores a 1 kg/cm<sup>2</sup>.
- Nunca abrir la válvula con más de ¼ de vuelta.
- Nunca agotar el cilindro a menos de 2 kg/cm<sup>2</sup> de presión.

- Soltar el diafragma del regulador antes de la abertura.

# **CLASIFICACIÓN DE LOS ELECTRODOS PARA SOLDADURA**

Índice de contenidos:

1- Introducción

1.1- Generalidades

1.2- Normas de aplicación

2- Clasificación de electrodos para aceros al carbono

3- Clasificación de electrodos para aceros de baja aleación

4- Clasificación de electrodos para aceros inoxidables

5- Clasificación de electrodos para metales no ferrosos

6- Clasificación de electrodos y flujos para arco sumergido

6.1- Normas para electrodos

6.2- Normas para flujos

7- Clasificación de electrodos y flujos para soldaduras al arco con gas

## **DESARROLLO DEL CONTENIDO**

1- Introducción

## 1.1- Generalidades

La mayoría de los electrodos para soldadura por arco se clasifican a partir de las propiedades del metal de aporte, que fueron clasificadas y estudiado por un comité asociado a la American Welding Society (A.W.S) y a la American Society Mechanical Engineers (ASME).

Como ya se ha expuesto en otros tutoriales, las características mecánicas de los aceros dependen en gran medida del tipo de aleación incorporada durante su fabricación. Por tanto, los electrodos de material de aporte empleados para soldadura se deberán seleccionar en función de la composición química del acero que se vaya a soldar.

Las diferentes características de operación de entre los electrodos existentes en el mercado son atribuidas al revestimiento que cubre al alambre del electrodo. Por otro lado, este alambre es generalmente del mismo tipo, acero al carbón AISI 1010 que tiene un porcentaje de carbono de 0.08-0.12C% para la serie de electrodos más comunes.

Por lo general los aceros se clasifican de acuerdo con su contenido de carbono, esto es, acero de bajo, mediano y alto contenido en carbono.

## 1.2- Normas de aplicación

La A W.S. y la A.S.M.E. son las máximas autoridades en el mundo de la soldadura que dictan las normas de clasificación de los electrodos para soldadura eléctrica que son más reconocidas internacionalmente.

En este tutorial se van a exponer los distintos criterios existentes para la clasificación de los electrodos, según la composición de los aceros a soldar y del tipo de proceso elegido.

## 2- Clasificación de electrodos para aceros al carbono

La especificación AWS A5.1, que se refiere a los electrodos para soldadura de aceros al carbono, trabaja con la siguiente designación para electrodos revestidos:

E XXYZ - 1 HZR

donde,

E, indica que se trata de un electrodo para soldadura eléctrica manual;

XX, son dos dígitos (ó tres si se trata de un número de electrodo de cinco dígitos) que designan la mínima resistencia a la tracción, sin tratamiento térmico post soldadura, del metal depositado, en Ksi (Kilo libras/pulgada<sup>2</sup>), como se indican en los ejemplos siguientes:

E 60XX ... 62000 lbs/pulg<sup>2</sup> mínimo (62 Ksi)

E 70XX ... 70000 lbs/pulg<sup>2</sup> mínimo (70 Ksi)

E110XX ... 110000 lbs/pulg<sup>2</sup> mínimo (110 Ksi)

Y, el tercer dígito indica la posición en la que se puede soldar satisfactoriamente con el electrodo en cuestión. Así si vale 1 (por ejemplo, E6011) significa que el electrodo es apto para soldar en todas posiciones (plana, vertical, techo y horizontal), 2 si sólo es aplicable para posiciones planas y horizontal; y si vale 4 (por ejemplo E 7048) indica que el electrodo es conveniente para posición plana, pero especialmente apto para vertical descendente.

Z, el último dígito, que está íntimamente relacionado con el anterior, es indicativo del tipo de corriente eléctrica y polaridad en la que mejor trabaja el electrodo, e identifica a su vez el tipo de revestimiento, el que es calificado según el mayor porcentaje de materia prima contenida en el revestimiento. Por ejemplo, el electrodo E 6010 tiene un alto contenido de celulosa en el revestimiento, aproximadamente un 30% o más, por ello a este electrodo se le califica como un electrodo tipo celulósico.

A continuación se adjunta una tabla interpretativa para el último dígito, según la clasificación AWS de electrodos:

Última cifra	Tipo de corriente	Tipo Revestimiento de	Tipo de Arco	Penetración
E XX10	CCPI Polaridad inversa	Orgánico <sup>(1)</sup>	Fuerte	Profunda <sup>(2)</sup>
E XX11	CA ó CCPI Polaridad inversa	Orgánico	Fuerte	Profunda

E XX12	CA ó CCPD Polaridad directa	Rutilo	Mediano	Mediana
E XX13	CA ó CC Ambas polaridades	Rutilo	Suave	Ligera
E XX14	CA ó CCPI Polaridad inversa	Rutilo	Suave	Ligera
E XX15	CCPI Polaridad inversa	Bajo Hidrógeno	Mediano	Mediana
E XX16	CA ó CCPI Polaridad inversa	Bajo Hidrógeno	Mediano	Mediana
E XX17	CCPI Polaridad inversa	Bajo Hidrógeno	Suave	Mediana
E XX18	CA ó CCPI Polaridad inversa	Bajo Hidrógeno	Mediano	Mediana

(1) E 6010: Orgánico; E 6020: Mineral; E 6020: CA y CC polaridad directa.

(2) E 6010: profunda; E 6020: Media.

Por otro lado, los códigos para designación que aparecen después del guión son opcionales e indican lo siguiente:

1, designa que el electrodo (E 7016, E 7018 ó E 7024) cumple con los requisitos de impacto mejorados E y de ductilidad mejorada en el caso E 7024;

HZ, indica que el electrodo cumple con los requisitos de la prueba de hidrógeno difusible para niveles de "Z" de 4.8 ó 16 ml de H<sub>2</sub> por 100gr 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 humedad relativa (sólo para electrodos de bajo hidrógeno).

### 3- Clasificación de electrodos para aceros de baja aleación

La especificación AWS A5.5. que se aplica a los electrodos para soldadura de aceros de baja aleación utiliza la misma designación de la AWS A5.1. con excepción de los códigos para designación que

aparecen después del guión opcionales. En su lugar, utiliza sufijos que constan de una letra o de una letra y un número (por ejemplo A1, B1, B2, C1, G, M, etc.), los cuales indican el porcentaje aproximado de aleación en el depósito de soldadura, de acuerdo al siguiente cuadro:

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 y D2	0.25-0.45% Mo, 1.75% Mn
G(*)	0.5% mín. Ni, 0.3% mín. Cr, 0.2% mín Mo, 0.1% mín. V, 1.0% mín Mn

G(\*) 0.5% mín. Ni, 0.3% mín. Cr, 0.2% mín Mo, 0.1% mín. V, 1.0% mín Mn

(\*) Solamente se requiere un elemento de esta serie para alcanzar la clasificación G.

A continuación se adjunta una tabla resumen donde se indica el tipo de corriente y revestimiento del electrodo según la norma AWS:

Clasificación AWS	Tipo de Revestimiento	Posición de soldeo	Corriente eléctrica

E 6010	Alta celulosa, sodio	F, V, OH, H	CC (+)
E 6011	Alta celulosa, potasio	F, V, OH, H	CA ó CC(+)
E 6012	Alto titanio, sodio	F, V, OH, H	CA, CC (-)
E 6013	Alto titanio, potasio	F, V, OH, H	CA, CC (+) ó CC (-)
E 6020	Alto óxido de hierro	H-Filete	CA, CC (-)
E 6020	Alto óxido de hierro	F	CA, CC (+) ó CC (-)
E 7014	Hierro en polvo, titanio	F, V, OH, H	CA, CC (+) ó CC (-)
E 7015	Bajo hidrógeno, sodio	F, V, OH, H	CC (+)
E 7016	Bajo hidrógeno, potasio	F, V, OH, H	CA ó CC (+)
E 7018	Bajo hidrógeno, potasio, hierro en polvo	F, V, OH, H	CA ó CC (+)
E 7018M	Bajo hidrógeno, hierro en polvo	F, V, OH, H	CC (+)
E 7024	Hierro en polvo, titanio	H-Filete, F	CA, CC (+) ó CC (-)
E 7027	Alto óxido de hierro, hierro en polvo	H-Filete	CA, CC (-)
E 7027	Alto óxido de hierro, hierro en polvo	F	CA, CC (+) ó CC (-)
E 7028	Bajo hidrógeno, potasio	H-Filete, F	CA ó CC (+)
E 7028	Hierro en polvo		
E 7048	Bajo hidrógeno, potasio	F, V, OH, H	CA ó CC (+)

E 7047	Hierro en polvo	F, V, OH, HV-Descendente	
--------	-----------------	--------------------------	--

Según las normas AWS las posiciones de soldeo son:

F: plana;

H: horizontal;

H-Filete: filete horizontal;

V-Descendente: vertical descendente;

V: vertical;

OH: techo ó sobre cabezal.

#### 4- Clasificación de electrodos para aceros inoxidables

La especificación AWS A5.4 dicta las normas de clasificación de electrodos para soldar aceros inoxidables. Como los casos anteriores, el sistema de clasificación de estos electrodos también es numérico.

Como muestras de clasificación de estos tipos de electrodos son, por ejemplo, E 308-15, ó E 310-16

Antes de entrar en la explicación del sistema, es conveniente resaltar que los aceros inoxidables sean identificados de acuerdo a lo que indica la AISI. Así por ejemplo, el acero inoxidable AISI 310 corresponde a un acero cuya composición química es del 25% de Cr y el 20% de Ni, entre sus elementos principales.

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

E XXX-YZ

donde,

E, indica que se trata de un electrodo para soldadura por arco;

XXX, indica la numeración que se corresponde a la Clase AISI de acero inoxidable, para el cual está destinado el electrodo.

Y, el penúltimo número indica la posición en que puede utilizarse. Así de los ejemplos E 308-15, ó E 310-16, el "1" indica que el electrodo es apto para todas las posiciones.

Z, el último número de los ejemplos anteriores (5 y 6) señala el tipo de revestimiento, la clase de corriente y la polaridad a utilizarse, en la forma siguiente:

5: significa que el electrodo tiene un revestimiento alcalino que debe utilizarse únicamente con corriente continua y polaridad inversa (el cable del porta-electrodo al polo positivo);

6: significa que el electrodo tiene un revestimiento de titanio, que podrá emplearse con corriente alterna o corriente continua. En caso de utilizarse con corriente continua ésta debe ser con polaridad inversa (el cable del porta-electrodo al polo positivo).

En algunos casos se podrá encontrar que en la denominación del electrodo aparece un índice adicional al final con las letras ELC, que significa que el depósito del electrodo tiene un bajo contenido de carbono (E: extra; L: bajo/low ; C: carbono).

## 5- Clasificación de electrodos para metales no ferrosos

La especificación AWS A5.15 dicta las normas de clasificación de electrodos para soldar metales no ferrosos.

En este caso el sistema de clasificación de estos electrodos es simbólico, es decir, que se indica el símbolo químico del elemento o elementos metálicos predominantes en el análisis del núcleo metálico del electrodo.

El sistema utiliza el prefijo E, que significa que el producto es un electrodo para soldar, seguido de los elementos considerados significativos.

Por ejemplo E Cu Sn A, los símbolos indican que el electrodo está compuesto básicamente de cobre (Cu) y estaño (Sn).

Por último, el caso concreto para soldadura de hierro fundido, la denominación del electrodo termina con las letras CI. Por ejemplos, E ni-CI, E ni Fe-CI, etc.

## 6- Clasificación de electrodos y flujos para arco sumergido

### 6.1- Normas para electrodos

La especificación AWS A5.17 dicta las normas de clasificación de electrodos por proceso de arco sumergido para aceros al carbono.

Esta especificación identifica los electrodos con el prefijo E (electrodo para arco eléctrico), 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 es un producto obtenido de un acero calmado al silicio.

Las propiedades mecánicas del depósito dependen del fundente que se use con cada electrodo.

La denominación completa del fundente y electrodo puede ser, por ejemplo, la siguiente:

F6A2 EM12K

donde cada término 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.

Electrodo AWS	Composición Química (%)			
	Carbono	Manganeso	Silicio	Otros
EL 8	a 0,10	0,30-0,55	0,05	0,5
EL 8 K	a 0,10	0,30-0,55	0,10-0,20	0,5
EL 12	0,07-0,15	0,35-0,60	0,05	0,5
EM 5 K	0,06	0,90-1,40	0,4-0,7	0,5
EM 12	0,07-0,15	0,85-1,25	0,05	0,5
EM 12 K	0,07-0,15	0,85-1,25	0,15-0,35	0,5

EM 13 K	0,07-0,19	0,90-1,40	0,45-0,70	0,5
EM 15 K	0,12-0,20	0,85-1,25	0,15-0,35	0,5
EH 14	0,10-0,18	1,75-2,25	0,05	0,5

## 6.2- Normas para flujos

La norma para fundentes identifica los flujos con el prefijo F (de flujo), seguido de dos dígitos, que representan los valores medios de resistencia a la tracción y su especificación bajo condiciones de impacto. A continuación se añaden cuatro dígitos adicionales que representan el electrodo en la combinación para determinar las propiedades.

Se adjunta tabla representativa:

Flujos AWS	Resistencia a la tracción, psi	Límite de fluencia (0,2%), psi	Elongación en 2" %	Charpa-V pie/lb.
F60-XXXX				No requiere
F61-XXXX				20 a 0°F
F62-XXXX	62000 a 80000	50000	22	20 a 20°F
F63-XXXX				20 a 40°F
F64-XXXX				20 a 60°F
F70-XXXX				No requiere
F71-XXXX	72000 a 95000	60000	22	20 a 0°F

F72-XXXX			20 a 20°F
F73-XXXX			20 a 40°F
F74-XXXX			20 a 60°F

## 7- Clasificación de electrodos para soldaduras al arco con gas

La especificación AWS A5.18 dicta las normas de clasificación del material de aporte para procesos de soldadura con protección gaseosa (MIG/MAG, TIG y plasma). En este caso, los electrodos se denominan de la siguiente forma:

ERXX-SX

donde cada término significa lo siguiente:

E: indica electrodo para soldadura por arco (sólo caso MIG/MAG).

R: indica aporte que funde por un medio diferente que el que conduce la corriente del arco eléctrico (sólo caso TIG y plasma).

XX: indica la resistencia a la tracción nominal del depósito de soldadura (igual para todos los casos).

S: indica que el electrodo es sólido.

X: último número que indica la composición química del electrodo.

Se adjunta la siguiente tabla representativa de lo anteriormente explicado:

AWS Clasificación	Gas Protector	Corriente y Polaridad	Resistencia a la Tracción
<b>GRUPO A: ELECTRODOS DE ACERO DE BAJO CARBONO</b>			
E 60S-I	Argón-Ia 5% O <sub>2</sub>	C.C. Polaridad Inversa	62 000
E 60S-2	Argón-Ia 5% O <sub>2</sub> ó CO <sub>2</sub>	C.C. Polaridad Inversa	62 000
E 60S-3	Argón-Ia 5% O <sub>2</sub> ó CO <sub>2</sub>	C.C. Polaridad Inversa	62 000
E 70S-4	CO <sub>2</sub>	C.C. Polaridad Inversa	72 000
E 70S-5	CO <sub>2</sub>	C.C. Polaridad Inversa	72 000
E 70S-6	CO <sub>2</sub>	C.C. Polaridad Inversa	72 000
E 80S-G	No especifica	No especifica	72 000
<b>GRUPO B: ELECTRODOS DE BAJA ALEACIÓN</b>			
E 70S - IB	CO <sub>2</sub>	C.C. Polaridad Inversa	72 000
E 70S - GB	No especifica	No especifica	72 000
<b>GRUPO C: ELECTRODOS EMISIVOS</b>			
E 70 U-I	Argón-Ia 5% O <sub>2</sub> ó Argón	C.C. Polaridad Directa	72 000

<b>ELECTRODOS TUBULARES</b>			
E 70T-I	CO <sub>2</sub>	C.C. Polaridad Inversa	72 000
E 70T-2	CO <sub>2</sub>	C.C. Polaridad Inversa	72 000
E 70T-3	Ninguno	C.C. Polaridad Inversa	72 000
E 70T-4	Ninguno	C.C. Polaridad Inversa	72 000
E 70T-5	CO <sub>2</sub> Ninguno	C.C. Polaridad Inversa	72 000
E 70T-G	No especifica	No especifica	72 000

## **PAUTAS PARA LA ELECCIÓN SISTEMÁTICA DE LOS PROCESOS**

La selección de un proceso de soldadura requiere un conocimiento previo de todos ellos y las características y condicionamientos operativos. Con frecuencia pueden utilizarse varios procesos para un determinado trabajo.

El problema radica en seleccionar el más conveniente en función de su operatividad y costo. No obstante, estos dos factores pueden no ser totalmente compatibles y forzar una solución de compromiso.

La elección debe de llevarse a cabo teniendo en cuenta las siguientes consideraciones:

- 1 . El material o materiales a unir y su soldabilidad.
2. Tamaño y complejidad de la soldadura,
3. Aplicaciones.
4. Lugar de fabricación: taller o campo.
5. Estimación de costos.
6. Capacitación de los soldadores.

### **1 Propiedades del Material Base**

La naturaleza, estado de tratamiento y forma de los materiales a ser soldados condicionan la elección del proceso pues éste puede modificar, en función de sus características y de aquellos efectos metalúrgicos y mecánicos que potencialmente pueda llegar a generar, las propiedades físicas y mecánicas del material y su composición química.

Propiedades físicas.

Generalmente, la soldabilidad es inversamente proporcional a la conductividad eléctrica y térmica del material. Si la conductividad eléctrica es elevada no pueden ser utilizados procesos que aprovechan la resistencia eléctrica del material para generar calor (efecto Joule), por ejemplo, la soldadura por resistencia eléctrica por puntos (RSW). Si la conductividad térmica del material es alta deben de utilizarse precalentamientos más severos y procesos con un aporte energético más elevado,

Tiene también una influencia significativa el coeficiente de dilatación térmica. Cuanto mayor es su valor, mayores son las dilataciones y contracciones durante el soldeo y en función de la rigidez de las partes a unir, mayores serán las tensiones residuales generadas.

Propiedades mecánicas.

Los materiales se agrietan cuando son incapaces de soportar los esfuerzos a que están sometidos, su capacidad a resistirlos está en función de su ductilidad, y la cuantía de aquellos depende del proceso (el soldeo utilizado). Los materiales que poseen durezas elevadas o límites elásticos bajos son difíciles de soldar.

La selección de un material se hace en función de las condiciones a las que va a estar sometido en servicio. Si durante la fabricación de la estructura o elemento del que va a parte se le somete a un proceso de soldadura, generalmente traumático en sí mismo porque supone calentamiento y enfriamientos muy rápidos, puede alterarse considerablemente su microestructura y

consecuentemente sus propiedades. Si además, se añade material de aportación, normalmente de composición química diferente al material base, nos encontramos con dos zonas de características muy diferentes a las del material base. Una, la zona del material base que estuvo sometida durante el soldeo a la temperatura necesaria durante el tiempo suficiente, como para experimentar transformaciones microestructurales, que recibe el nombre de ZONA AFECTADA POR EL CALOR (ZAC). La otra, el CORDÓN DE SOLDADURA, constituido por el material de aportación y la porción del material base que se incorpora al baño de fusión y que, salvo que se someta a un tratamiento térmico posterior, posee una estructura bruta de solidificación.

Es fácil entrever que tanto el cordón de soldadura como la ZAC pueden llegar a presentar propiedades tales como dureza, resistencia a la tracción, resiliencia, resistencia al creep, resistencia al desgaste, resistencia a la corrosión, etc., diferentes a las del material base.

La microestructura de la ZAC depende del tiempo que material permaneció por encima de la temperatura de transformación y de la velocidad de enfriamiento, y la del cordón de la velocidad de enfriamiento.

Los procesos con rendimientos térmicos bajos, como es la soldadura oxiacetilénica, necesitan tiempos de soldeo prolongados, que producen zonas afectadas por el calor de considerable anchura, y tiempos elevados de permanencia a temperaturas elevadas.

La velocidad de enfriamiento depende en gran medida del proceso usado. En general, los procesos que aportan una gran cantidad de energía dan lugar a velocidades de enfriamiento lentas. Así, las velocidades más lentas de enfriamiento se consiguen en las soldaduras por electroescoria (ESW) y oxiacetilénica (OAW). El arco sumergido (SAW) producen velocidades de enfriamiento intermedias entre estos y SMAW, MIG y TIG. Las velocidades de enfriamiento más elevadas se obtienen en las soldaduras por haz de electrones (EBW) y láser (LBW), procesos que producen volúmenes de metal fundido pequeños comparados relativamente con la superficie de las caras a ser unidas.

### Composición química

Las temperaturas de liquidus, solidus y la separación entre ambas dependen de la composición química y son un factor más a considerar. Si el intervalo de solidificación (la región sólido-líquido del diagrama de gases) es grande, el tiempo de solidificación se prolonga, permitiendo la segregación de los elementos de aleación e impurezas y dando lugar a que la última porción de líquido en solidificar lo haga a temperatura relativamente baja. Esta circunstancia conduce a que exista todavía una parte del cordón de soldadura en fase líquida cuando las tensiones debidas a la contracción térmica de las partes a unir sean ya considerables, pudiendo llegar a producirse una separación de éstas y originarse un agrietamiento. En estos casos debe optarse por un proceso de soldadura sin fusión o tratar de conseguir velocidades de solidificación elevadas.

Algunas aleaciones contienen componentes de bajo punto de fusión que pueden llegar a evaporarse a las temperaturas que es necesario alcanzar para fundir el material base. Por ejemplo, durante la soldadura de los latones, la vaporización de cinc puede dar lugar a la aparición de porosidad, además de producir vapores tóxicos. Cuando las aleaciones de cobre poseen elementos volátiles como el cinc, cadmio y fósforo los problemas pueden reducirse usando procesos con velocidades elevadas de soldeo y materiales de aportación con bajo contenido en estos elementos. En otras ocasiones, se acude a procedimientos que no producen la fusión del material base, como la soldadura fuerte (Brazing).

I metales altamente reactivos, como el titanio, aluminio y circonio son difíciles de soldar, pues producen óxidos refractarios que llegan a interrumpir el proceso de soldeo, en éstos debe optarse por procesos que utilicen como protección del baño una atmósfera inerte, MIG y TIG, para evitar su oxidación. Además, estos procesos ofrecen la ventaja de no utilizar fluxes cuyos residuos pudieran dar lugar a fuentes potenciales de corrosión.

### Efectos producidos por el proceso de soldeo

La mayoría de los procesos de unión requieren, en mayor o menor cuantía, el calentamiento del material base, siendo más elevado en aquellos que requieren la fusión del material base. Esta circunstancia puede llegar a introducir cualquier de los siguientes efectos:

—Tensiones residuales: Fundamentalmente se generan por la contracción del metal líquido durante su solidificación y posterior enfriamiento. Pueden afectar a la geometría de la pieza y llegar a producir su agrietamiento.

—Crecimiento de grano y/o recristalización en la ZAC.

—Modificaciones estructurales en la ZAC motivadas por las transformaciones de las fases presentes.

—Disolución y precipitación de partículas, o un aumento del tamaño de las ya precipitada, produciéndose cambios en el tamaño, morfología y distribución del precipitado.

—Disolución de gases que pueden dar lugar a porosidad, compuestos químicos y fragilidad, según los casos.

Fusión parcial localizada en los límites de grano que provoca la fragilidad en caliente.

Todos estos efectos están íntimamente relacionados con el proceso utilizado en función de las características de la fuente térmica y del sistema de protección del baño empleados.

Los procesos que producen grandes cantidades de metal fundido inducen a la implantación de tensiones residuales mayores, mientras que aquellos que poseen un rendimiento térmico pequeño y necesitan tiempos de soldeo relativamente largos favorecen el crecimiento de grano y la modificación de los precipitados presentes.

La contaminación atmosférica del metal fundido puede reducir considerablemente las propiedades de la soldadura. El agua procedente de la humedad ambiente se descompone en hidrógeno y oxígeno en el arco. El hidrógeno produce fragilidad en los aceros, y aleaciones de titanio, y porosidad en las aleaciones de aluminio y cobre. El oxígeno y nitrógeno producen efectos perniciosos en la mayoría de las aleaciones industriales dando lugar a porosidad e inclusiones de óxidos y nitruros. En los aceros inoxidables el nitrógeno favorece la formación de austenita, eliminando la ferrita delta que previene el riesgo de agrietamiento en caliente.

La pureza del metal depositado depende del proceso de soldadura utilizado. Los cordones más limpios se obtienen en la soldadura por haz de electrones por llevarse a cabo en vacío. No obstante, la gran mayoría de los procesos por fusión utilizan como medios de protección gases o fluxes. La soldadura por MIG, TIG y arcoplasma (PAW) utilizan helio y argón como gases inertes protectores. Cuando estos gases están en buenas condiciones aíslan perfectamente el metal fundido.

En la soldadura MAG de los aceros se utilizan gases reactivos, que contienen entre 1% y 5% de oxígeno y hasta 25% de dióxido de carbono para mejorar la transferencia del metal de aportación, estabilizar el arco y abaratizar costos. Los metales de aportación usados en este caso deben contener

elementos desoxidantes (aluminio, titanio o circonio) para prevenir la porosidad y la oxidación de los elementos de aleación presentes en el metal fundido.

Los procesos SMAW, SAW, ESW y FCAW utilizan fluxes como agentes protectores. Son sustancias complejas que se descomponen y funden la soldadura produciendo una atmósfera gaseosa sobre el baño fundido y una escoria líquida cuya densidad y punto de fusión son inferiores al metal líquido para permitir que flote y permanezca líquida mientras el metal solidifica, protegiéndolo una vez se ha disipado la atmósfera protectora creada. Además, la escoria líquida reacciona con el metal fundido modificando sus contenidos de oxígeno, nitrógeno, azufre, manganeso y otros elementos de aleación.

Los procesos que utilizan como elemento protector fluxes necesitan que entre pasada y pasada, durante el soldeo, se extraiga la escoria solidificada para que ésta no quede atrapada entre cordones y disminuya las características de la unión soldada.

### **Tamaño y complejidad de la soldadura**

Otro aspecto importante a tener en cuenta a la hora de la elección del proceso es el tamaño y complejidad de la soldadura a ejecutar. Son factores a considerar el espesor de las chapas o piezas a unir, la posición en que se ha de llevar a cabo la ejecución de la soldadura, la longitud del cordón y la preparación de los bordes de la junta.

La unión de piezas de espesores elevados aconseja la utilización de procesos con alto aporte de energía y gran penetración, tales como arco sumergido (SAW), electroescoria (ESW) o la soldadura por termita. Inversamente, para espesores finos debe emplearse procesos con aporte de energía bajo y fácilmente regulable, TIG, TIG-pulsado, arco-plasma (PAW). etc.

La posición de la soldadura afecta severamente la selección del proceso. Por ejemplo, la soldadura bajo techo no puede efectuarse con procesos que produzcan grandes volúmenes de metal fundido, como son arco sumergido electroescoria (ESW). etc. limitados por sus propios condicionamientos a las posiciones plana o vertical, respectivamente, ni arco manual con electrodo revestido (SMAW) empleando electrodos que no han sido diseñados para esta posición. Otros procesos, como la soldadura por fricción (FRW), exigen que al menos una de las partes a ser unidas pueda ser sometida a rotación.

Cuando tienen que fabricarse grandes series y las condiciones de las soldaduras lo permiten debe de optarse por procesos que permitan la automatización y robotización a fin de abaratizar costos.

### **Lugar de fabricación**

No todos los procesos de soldadura tienen la misma versatilidad. algunos pueden ser empleados en casi todos los lugares y medios ambientes, mientras el uso de otros está limitado porque requieren instalaciones y equipos complejos.

La selección para una localización determinada viene condicionada por factores como: medio ambiente, movilidad de los equipos, disponibilidad de energía eléctrica, agua, aire, otros gases, etc.

La soldadura por arco manual con electrodo revestido es el más simple y versátil de todos los procesos. El equipo necesario se reduce a una fuente de energía eléctrica, que puede ser un generador autónomo, los cables y la pinza. Este proceso se utiliza ampliamente en fabricación y reparaciones, indistintamente, en el taller y en el campo.

El arco sumergido (SAW) se ha empleado como complemento el SMAW, tanto en el taller como el campo, en aquellos trabajos que permitan la mecanización y automatización del proceso.

F.I MIG y MAG utilizan hilo continuo en bobina que supone, al menos, una semiautomatización del proceso. Aunque el equipo es algo más complejo que el de SMAW, es también transportable con relativa facilidad.

Últimamente la soldadura por TIG se ha desarrollado como un proceso complementario al SMAW, especialmente para uniones de aluminio, magnesio, titanio y otros metales refractarios y para aquellas soldaduras que requieren una elevada calidad.

La utilización de la soldadura por resistencia está limitada a la fábrica debido a la energía eléctrica necesaria y las características de los equipos.

La soldadura por electroescoria (ESW) se aplica solo a uniones a tope, en posición vertical o próxima a ella, y a chapas a partir de espesores gruesos. El equipo necesario y las instalaciones limitan a este proceso a ser utilizado en taller, aunque se han llevado a cabo soldaduras en el campo de la fabricación de grandes tanques de almacenamiento.

La soldadura blanda y fuerte en su aplicación manual, emplea equipos sencillos y fácilmente portables que permite su aplicación en cualquier lugar.

Los equipos utilizados en los procesos de electrones (EBW) y láser (LBW) limitan su utilización a localizaciones fijas, lo mismo que sucede con aquellos empleados en la soldadura por flash, fricción y difusión.

### **Estimación de costos**

En el uso industrial, cada proceso tiene un área de aplicación donde ofrece ventajas económicas, pero las áreas son amplias y presentan solapamientos considerables sobre todo en los procesos por arco eléctrico y electrodo consumible (SMAW, GMAW y SAW).

Muchos fabricantes disponen de varios procesos de soldadura. Es importante la elección adecuada para cada aplicación a fin de obtener el mínimo costo. En la tabla I se relacionan algunas de las ventajas de los procesos por arco eléctrico y electrodo consumible.

La importancia relativa de la selección de un proceso como un factor de costo total se entiende fácilmente cuando se evalúa unido a otros factores: mano de obra, materiales consumibles costo del equipo, velocidades de deposición, tiempo real de soldadura, calidad de la soldadura, gastos generales, etc. El proceso es un medio para conseguir un fin y representa una variable en el costo total, ya que varios procesos pueden conducir al mismo resultado.

El costo está íntimamente relacionado con el tipo, cantidad y calidad del producto. Se pueden obtener grandes producciones con costos muy bajos en ciertos procesos de soldadura por resistencia automatizados, pero los equipos son caros y exigen una gran inversión. Podrían obtenerse resultados económicos finales parecidos con costos más elevados por soldadura y menor inversión. Esta circunstancia enfatiza el hecho de que el proceso representa una variable.

### **Aplicaciones**

La elección del proceso de soldadura depende, en gran medida del trabajo a realizar. Existe un conjunto de códigos y normas que delimitan los diferentes campos y condiciones de aplicación a los distintos procesos.

Para la construcción de estructuras, edificios y puentes, suelen utilizarse generalmente los procesos SMAW, SAW y GMAW. En la construcción en fábrica de recipientes a presión, tanques de almacenamiento y tuberías, que suponen un gran porcentaje del campo de aplicación de la soldadura, cuyo destino son las industrias de petróleo, petroquímica, química y producción de energía, la elección del proceso vienen delimitada por el diseño, costos y los códigos y normas que rigen la fabricación.

En el campo, los procesos utilizados más frecuentemente son SMAW y GTAW, con aplicaciones limitadas de SAW y GMAW.

En la construcción naval el proceso más utilizado es el SMAW aunque crecen progresivamente las aplicaciones de SAW y GMAW. En algunos casos específicos también se utilizan el ESW.

La industria aeronáutica y aeroespacial utiliza fundamentalmente la soldadura por TIG, debido a los materiales empleados, producción y los requerimientos de calidad exigidos.

En las industrias del automóvil y ferrocarril se usan todos los procesos de soldadura a causa de los muchos tipos de materiales y las múltiples aplicaciones a que se destinan. En las cadenas de montaje de automóviles se emplea básicamente la soldadura por resistencia y en la industria del ferrocarril, los procesos SMAW, GMAW, SAW y específicamente en el tendido de las vías férreas la soldadura por termita.

### **Capacitación de los soldadores**

Otro factor a valorar en la selección es el nivel de capacitación de los soldadores disponibles en cada uno de los procesos a utilizar,

Muchas de las aplicaciones han de efectuarse de acuerdo con las normas y códigos específicos que exigen la calificación de los soldadores o operadores de máquinas de soldeo

## SOLDADURA EN ACERO INOXIDABLE

La soldadura en acero inoxidable varía sensiblemente respecto a la soldadura que pueda practicarse en piezas de acero ordinario. Es fundamental hacer un estudio detallado de las características propias de la soldadura para obtener un resultado óptimo.

Por ejemplo, mientras que el punto de fusión del acero al carbono es de 1540°C el punto de fusión del acero inoxidable es entre 1400 – 1450°C. El acero inoxidable requiere menos calor para producir fusión. Esto nos lleva a que la soldadura es más rápida para el mismo calor.

Es importante tener en cuenta las diferencias entre las propiedades del acero inoxidable y del acero para que la soldadura sea un éxito. Además, el empleo de estas aleaciones de inoxidable se aplican en la industria farmacéutica, alimenticia y nuclear por lo que es de vital importancia que sean de máxima calidad y cuyo resultado no merme la resistencia a la corrosión o de salubridad.

### Aspectos específicos a la soldadura de acero inoxidable

Es importante señalar que la soldadura de acero inoxidable genera un baño que en general resulta menos profundo que el de un acero ordinario. La penetración obtenida no es tan grande. Para compensar estos inconvenientes se debe prestar especial atención a las operaciones previas de preparación y limpieza de bordes. Se recomienda hacer un chaflán en los bordes para facilitar así la fluidez y profundidad del baño de fusión.

Los aceros inoxidables muestran una mayor resistencia eléctrica debida a su estructura interna y composición. Lo que esto implica es un mayor nivel de intensidad de corriente en el equipo de soldadura, aproximadamente entre un 25% y 50% superior.

Si se emplea una corriente eléctrica de intensidad baja dará un arco muy inestable, con interferencias de la escoria en el arco que terminará por pegarse en el electrodo y esto provocará un cordón incorrecto. Si la corriente es demasiado alta, en su contra, generará un salpicado excesivo y poco control sobre el baño de fusión, produciendo fisuras y una pérdida de resistencia a la corrosión por perdida de cromo.

La posición para mantener el electrodo dependerá de las técnicas de avance en función a la posición que se realiza la soldadura. Que son:

Soldadura a derecha. Produce una mayor penetración y avance de la pistola. Genera un baño caliente y muy fluido. Esta técnica requiere por parte del operario una cierta habilidad.

Soldadura a izquierda. Se recomienda para soldar chapas finas ya que la penetración es muy pequeña. Por lo que genera cordones muy anchos.

Soldadura en vertical. El electrodo se debe mantener en perpendicular a la pieza.

Soldadura en cornisa. El baño del cordón superior tiende a gotear por los efectos de la gravedad.

Soldadura en techo. Se recomienda varias pasadas y siempre pequeñas.

.

Alineación de bordes y punteado de la soldadura. Hay que tener en cuenta el alineamiento adecuado de las piezas antes de soldar ya que esto mejora la tolerancia de fabricación. Además, del efecto final del cordón y el tiempo de soldadura. Genera una menor deformación residual de las piezas soldadas.

Una vez que las piezas han sido posicionadas se suelen puentear las juntas para conseguir mantener el alineamiento y la separación uniforme entre los bordes.

Grado de penetración de la soldadura. Para que una soldadura mantenga las propiedades de resistencia mecánica es fundamental tener en cuenta los tipos de enlaces del acero. Además, es necesario que la penetración del metal de aporte sea completa, de manera que rellene todo el espacio entre las piezas soldadas.

Limpieza. Un aspecto a cuidar dentro de la soldadura ya sea de acero inoxidable o en otros materiales es la limpieza. Una limpieza insuficiente podrá provocar una pérdida de resistencia a la corrosión del propio cordón de soldadura o de las zonas adyacentes afectadas térmicamente.

Deberá estar limpio tanto los bordes como las superficies. Los bordes deben estar libres de óxidos superficiales.

Además, de la limpieza hay que cuidar mucho la humedad, cuya presencia puede producir corrosiones en el cordón de soldadura.

Ventilación y control de humos. En los procesos de soldadura una adecuada ventilación es importante para minimizar a los operarios la exposición de humos.

### **Procedimientos de soldadura más usados en aceros inoxidables**

Los tipos de soldadura más usados para los aceros inoxidables son:

Soldadura por arco manual con electrodo revestido o SMAW.

Soldadura TIG

Soldadura MIG

### **Soldadura por arco manual con electrodo revestido o SMAW**

En esta técnica el electrodo es un alambre revestido, donde el soldador controla el proceso de forma manual sobre la longitud y dirección del arco que se establece entre el extremo del electrodo y la pieza a soldar.

El calor generado por el arco eléctrico funde el revestimiento y la varilla metálica del electrodo, a la vez que la combustión del revestimiento sirve para crear una atmósfera protectora que impide la contaminación del material fundido. Las gotas de metal fundido procedente de la varilla metálica del

procedimiento de soldadura TIG genera cordones de gran calidad, sin escorias, ni proyecciones, r lo que se usa para soldaduras no consumibles sin revestimiento, ni proyecciones, por lo que se a para soldaduras de responsabilidad y de calidad.

suele emplear para soldar piezas de poco espesor hasta unos 6 mm en espesores mayores este procedimiento no resulta económico. Para espesores mayores se usa la soldadura por arco mergido.

s ventajas de usar esta técnica son las siguientes:

No genera escorias en el cordón Se puede emplear todas las posiciones (vistas teriormente)

No genera salpicaduras alrededor del cordón

Afecta muy poco a la composición química y propiedades del metal base durante el proceso la soldadura.

## **Soldadura MIG**

nto en la técnica MIG como en el MAG se establece un arco eléctrico entre un electrodo consumible e se presenta en forma de un alambre desnudo y la pieza a soldar o el material de base.

ra la soldadura MIG el arco como la soldadura se protegen del aire de la atmósfera mediante la acción de una envolvente gaseosa, compuesta por gases inerte, principalmente el argón como el lio.

n el objetivo de una mejor acción del arco y una mejor mojabilidad en la soldadura, en ocasiones utilizan pequeñas cantidades de gases activos como pueden ser el oxígeno y el hidrógeno.

a hora de soldar acero inoxidable con hilo los diámetros más usuales en este tipo de soldadura son 3; 1,0; 1,2; 1,6 y en algunos casos 2,4 mm. El formato estándar del hilo son bobinas de diferentes maños. Los hilos suelen ir recubiertos de cobre para que la conductividad del hilo con el tubo de contacto sea buena, además de disminuir los rozamientos y para que no aparezcan oxidaciones.

## **Elección de electrodos**

fundamental conocer el contenido de hierro existente en el metal base a soldar para elegir el contenido del material de aporte. El comportamiento a la soldadura de los aceros inoxidables austenítico varían según su estructura interna. Desde aquellos que son completamente austenítico como el 310, hasta otros que poseen doble estructura austenítica y ferrítica como los grados 308, 9, 312, etc.

recomienda que el porcentaje de ferrita en el electrodo esté balanceado con el de austenita, para conseguir así que el cordón de soldadura presente una adecuada resistencia al agrietamiento.

ra ello el uso del diagrama de Shaeffler se podrá determinar entre otros datos la estructura final del metal base, del material de soldadura y del depósito soldado y por ende las características



Imagen cortesía de ESAB, revista Svetsaren, vol.62, N°1, 2007

alquier soldador experimentado conoce de sobra la “regla de oro” para seleccionar el electrodo o hilo a emplear para soldar cualquier material metálico. Dicha regla dice que el material de aporte debe tener una composición química **“similar” a la del material base** y su resistencia mecánica debe ser **ligeramente superior** a la del material base.

También el criterio de la resistencia mecánica es aplicable igualmente para los aceros inoxidables, no obstante tanto lo dicho respecto a su composición química, ya que debe ser interpretada como que debe ser “compatible” con la del metal base.

De esta forma, el **diagrama de Schaeffler se convierte en una herramienta gráfica extremadamente útil**, ya que permite determinar si un determinado electrodo o hilo es compatible con el material base que se quiere soldar. Si quieres convertirte en un excelente técnico de soldeo es conveniente que sepas cómo se utiliza y cómo se debe interpretar dicho diagrama.

Antes de nada, debemos recordar que los aceros inoxidables son aleaciones de hierro y carbono (al igual que cualquier otro acero), pero con un importante elemento más de aleación, como es el **cromo**, además en un porcentaje elevado (al menos del 10%). Este elemento es el que le confiere la propiedad inoxidable. Además, puede llevar otros aleantes que le aportan propiedades adicionales, como por ejemplo la resistencia a temperaturas criogénicas (bajo cero).

En función de su composición química y de sus propiedades, pueden diferenciarse 4+1 (cuatro más uno) tipos de aceros inoxidables: ferríticos, austeníticos, martensíticos, dúplex (austeno-ferríticos) finalmente, un grupo especial de aceros inoxidables endurecibles por precipitación.

De esta forma, la primera utilidad que nos presta el **diagrama de Schaeffler** es determinar el tipo de acero inoxidable que tenemos entre manos. Si observamos el aspecto de dicho diagrama, podemos ver que en el eje X (horizontal) se muestra el valor del **Cromo Equivalente**, mientras que en el eje Y (vertical) aparece el valor de **Níquel Equivalente**.

Entonces el Cromo Equivalente ( $Cr_{eq}$ ) como el Níquel Equivalente ( $Ni_{eq}$ ) de un determinado acero inoxidable se calcula utilizando las siguientes expresiones, en las que se debe de introducir la

-0,06%; Si=0,6%; Mn=1,8%; Mo=2%; Cr=17%; Ni=11,5%

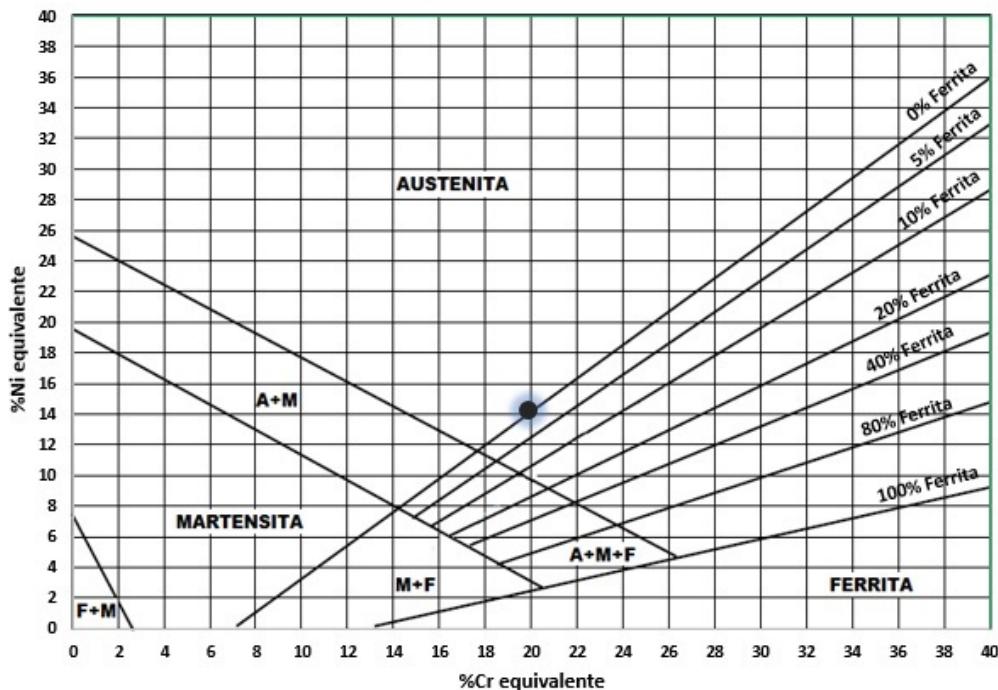
stituyendo en las respectivas fórmulas:

$$C_{eq} = \%Cr + \%Mo + 1,5 \cdot (\%Si) + 0,5 \cdot (\%Nb) = 17 + 2 + 1,5 \times 0,6 + 0,5 \times 0 = 19,9 \%$$

$$C_{eq} = \%Ni + 30 \cdot (\%C) + 0,5 \cdot (\%Mn) = 11,5 + 30 \times 0,06 + 0,5 \times 1,8 = 14,2 \%$$

si lo representamos sobre el diagrama, podemos observar que se sitúa en la zona correspondiente a estructura austenítica, con 0% de estructura ferrítica, por lo que podemos decir que se trata de **acero inoxidable austenítico**.

Diagrama de Schaeffler



Fig\_1\_Diagrama\_Schaeffler

ro la utilidad principal del diagrama de Schaeffler se manifiesta sobre todo cuando pretendemos pillar un acero inoxidable, ya que permite **predecir la posible aparición de defectos graves** en la soldadura en función de la estructura resultante en el cordón. Dichos defectos se representan en el diagrama mediante zonas coloreadas que corresponden a:

zona roja: Riesgo de fisuración en caliente por encima de 1250°C

zona verde: Riesgo de fragilidad (por fase sigma) entre 500 y 900°C

zona azul: Crecimiento de grano por encima de 1150°C

zona violeta: Fisuración por temple por debajo de 400°C

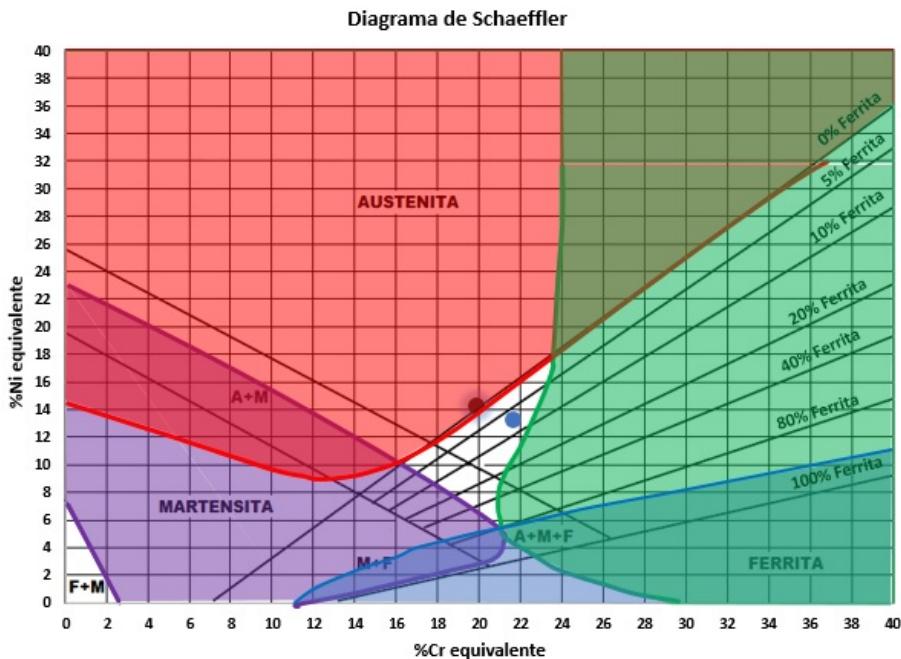


Fig.2. Identificación de las áreas de defectos durante el soldeo en el diagrama de Shaeffler

ra ello, debemos de calcular y representar el cromo equivalente ( $\text{Cr}_{\text{eq}}$ ) y el níquel equivalente ( $\text{Ni}_{\text{eq}}$ ) del **metal de aporte**. Es decir, se usan las mismas expresiones que anteriormente, pero en este caso introduce la composición química del electrodo, del hilo o de la varilla utilizada en el soldeo.

pongamos que utilizamos un electrodo revestido del tipo 316L con la siguiente composición ímica:

$$=0,025\%; \text{Mn}=0,8\%; \text{Si}=0,8\%; \text{Cr}=18,0\%; \text{Ni}=12,0\%; \text{Mo}=2,5\%$$

alizando el cálculo correspondiente:

$$\text{eq} = \% \text{Cr} + \% \text{Mo} + 1,5 \cdot (\% \text{Si}) + 0,5 \cdot (\% \text{Nb}) = 18 + 2,5 + 1,5 \times 0,8 + 0,5 \times 0 = 21,7\%$$

$$\text{eq} = \% \text{Ni} + 30 \cdot (\% \text{C}) + 0,5 \cdot (\% \text{Mn}) = 12 + 30 \times 0,025 + 0,5 \times 0,8 = 13,2\%$$

te punto se ha representado en el diagrama anterior, observando que se trata de un **inoxidable steno-ferrítico**, con aproximadamente un 7% de ferrita.

continuación, para **predecir la estructura resultante en el cordón soldado**, unimos ambos puntos tenidos sobre el diagrama mediante una recta, tal y como se observa en la figura siguiente (donde se ve el área aumentada convenientemente). El punto resultante se sitúa sobre dicha recta, más desplazado hacia uno u otro extremo en función de la dilución conseguida en el cordón, que se lora en un 30-40% para el proceso de soldeo con electrodo revestido.

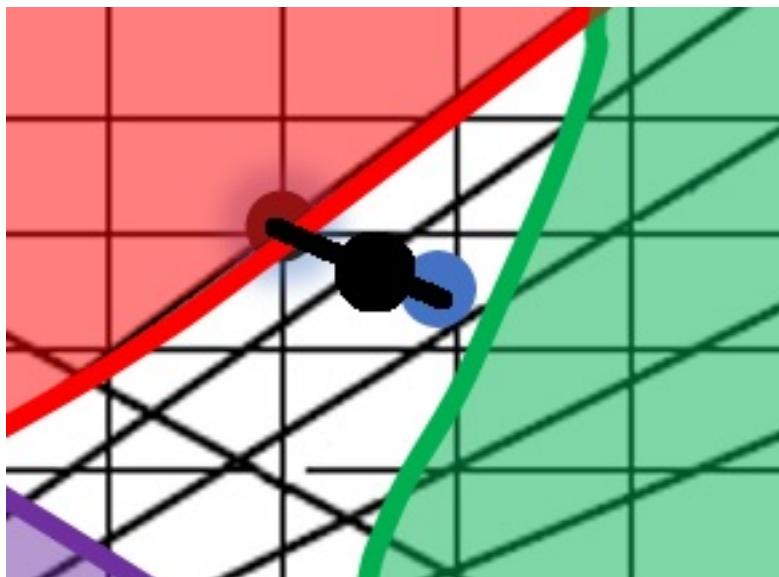


Fig.3. Zona ampliada del diagrama de Schaeffler con el punto correspondiente al cordón soldado

Como conclusión, se observa que la estructura del cordón resultante será austeno-ferrítica, con un % de ferrita, y sin riesgo de defectos graves durante el proceso de soldeo, puesto que no se localiza sobre ninguna de las zonas coloreadas, lo cual es un buen resultado.

En el caso de que el punto resultante se situase sobre una zona coloreada de riesgo deberían de tomarse medidas adicionales durante el soldeo para evitar dicho riesgo.

También puedes ver, además de conocer los equipos de soldeo, los gases de protección a utilizar, la técnica de soldeo..., tal que como se explica en nuestros cursos de soldadura (<https://www.seas.es/areas/soldadura>), saber utilizar el diagrama de Schaeffler es de gran importancia para cualquier técnico que pretenda resolver con éxito la unión soldada de cualquier acero inoxidable.

