

## SOLDADURA

### DEFINICIONES

**Coalescer:** Crecer juntos en un solo cuerpo

**Coalescencia:** Fenómeno debido a la tensión superficial por el que los gránulos de una suspensión coloidal o de un metal, o las gotitas de un líquido, se unen para formar gránulos y gotas más grandes. Es la posibilidad de dos o más materiales de unirse en un único cuerpo.

La soldadura es una coalescencia localizada en un material metálico o termoplástico.

Esta es producida por un calentamiento hasta temperaturas adecuadas, con o sin aplicación de presión y con o sin el uso de material de aporte.

### CLASIFICACION

Una clasificación GENERAL es de considerar el proceso de soldadura como :

**Con metal de aporte y sin metal de aporte**, luego tenemos otras clasificaciones.

1° - Soldadura: a) Heterogénea b) Homogénea

2° - Según el proceso (ver apéndice adjunto)

3° -Según la finalidad: c) De producción, d) De mantenimiento o reparación

4° - Otra clasificación: También se las puede clasificar en químicas, mecánicas y térmicas

### **PRINCIPIOS DE FUNCIONAMIENTO DE DISTINTOS TIPOS DE SOLDADURAS.**

- **Soldadura heterogénea**. Se efectúa entre materiales de distinta naturaleza, **con o sin metal de aportación**: o entre metales iguales, pero con distinto metal de aportación. Puede ser: **blanda o fuerte**. Entendemos como “soldadura fuerte”, el método de unión que utiliza un metal de aportación de punto de fusión superior a los 450 °C e inferior al punto de fusión de los materiales a unir y que forma una unión metalúrgica con los materiales base. Y “soldadura blanda”, el método de unión que utiliza un metal de aportación de punto de fusión inferior a los 450 °C e inferior al punto de fusión de los materiales a unir y que forma una unión metalúrgica con los materiales base.

Las uniones se realizan por efecto capilar, por tanto la preparación de las juntas es fundamental y deberán ser lo más estrechas posible.

#### Soldadura blanda

Esta soldadura de tipo heterogéneo se realiza a temperaturas por debajo de los 400 oC.

El material metálico de aportación más empleado es una aleación de estaño y plomo, que funde a 230 oC aproximadamente.

Procedimiento para soldar.

Lo primero que se debe hacer es limpiar las superficies, tanto mecánicamente como desde el punto de vista químico, es decir, desengrasarlas, desoxidarlas y posteriormente recubrirlas con una capa de material fundente que evite la posterior oxidación y facilite el «mojado» de las mismas. A continuación se calientan las superficies con un soldador y, cuando alcanzan la temperatura de fusión del metal de aportación, se aplica éste; el metal corre libremente, «moja» las superficies y se endurece cuando enfría. El estaño se une con los metales de las superficies que se van a soldar. Comúnmente se estañan, por el procedimiento antes indicado, ambas caras de las piezas que se van a unir y posteriormente se calientan simultáneamente, quedando así unidas.

En muchas ocasiones, el material de aportación se presenta en forma de hilo enrollado en un carrete. En este caso, el interior del hilo es hueco y va relleno con la resma antioxidante, lo que hace innecesario recubrir la superficie.

Tiene multitud de aplicaciones, entre las que destacan:

- Electrónica. Para soldar componentes en placas de circuitos impresos.
- Soldaduras de plomo. Se usan en fontanería para unir tuberías de plomo, o tapar grietas existentes en ellas.
- Soldadura de cables eléctricos.
- Soldadura de chapas de hojalata.

Aunque la soldadura blanda es muy fácil de realizar, presenta el inconveniente de que su resistencia mecánica es menor que la de los metales soldados; además, da lugar a fenómenos de corrosión.

### Soldadura fuerte

También se llama dura o amarilla. Es similar a la blanda, pero se alcanzan temperaturas de hasta 800 °C. Como metal de aportación se suelen usar aleaciones de plata, y estaño (conocida como soldadura de plata); o de cobre y cinc. Como material fundente para cubrir las superficies, desoxidándolas, se emplea el bórax. Un soplete de gas aporta el calor necesario para la unión. La soldadura se efectúa generalmente a tope, pero también se suelda a solape y en ángulo.

Este tipo de soldadura se lleva a cabo cuando se exige una resistencia considerable en la unión de dos piezas metálicas, o bien se trata de obtener uniones que hayan de resistir esfuerzos muy elevados o temperaturas excesivas. Se admite que, por lo general, una soldadura fuerte es más resistente que el mismo metal que une.

## **VENTAJAS**

- Fabricación económica de uniones complejas y formadas por componentes múltiples.
- Método sencillo de obtención de superficies extensas o de gran longitud de unión.
- Excelente distribución de tensiones y buenas propiedades de transferencia de calor.
- Capacidad de no dañar recubrimientos metálicos.

- Posibilidad de unión de materiales de fundición con otro tipo de metales.
- Se pueden unir metales a no metales.
- Posibilidad de unión de piezas de diferentes espesores y tamaño.
- Capacidad de soldar metales disímiles.
- Se pueden unir metales porosos.
- Capacidad de evitar el cambio de características metalúrgicas de los metales.
- Buena calidad dimensional de los conjuntos soldados.
- Técnicas de control de calidad fiables y reproducibles.

**- Soldadura homogénea:** Los materiales que se sueldan y el metal de aportación, si lo hay, son de la misma naturaleza. Puede ser oxiacetilénica, eléctrica (por arco voltaico o por resistencia), etc. Si no hay metal de aportación, las soldaduras homogéneas se denominan **autógenas**.

Por soldadura autógena se entiende aquélla que se realiza sin metal de aportación, de manera que se unen cuerpos de igual naturaleza por medio de la fusión de los mismos; así, al enfriarse, forman un todo único.

Etimológicamente, esta expresión quiere decir «engendrada o efectuada por sí misma»; tuvo su origen en Francia hacia la mitad del siglo XIX. Una confusión bastante extendida, que es importante aclarar, es la de denominar como soldadura autógena a la oxiacetilénica -que se estudiará en un apartado posterior-, que sólo lo será cuando se realice sin metal de aportación.

## **SEGÚN EL APENDICE ADJUNTO**

### **FASE SOLIDA**

#### **1 – EN FRIÓ**

##### **1.1 SOLDADURA EN FRIÓ**

La soldadura en frío (CW) es un proceso de soldadura en estado sólido que se realiza aplicando alta presión entre superficies en contacto a temperatura ambiente. Las superficies de empalme deben estar excepcionalmente limpias para que funcione la CW, y por lo general esta limpieza se hace mediante un desengrasado y pulido de alambre antes de la unión. También al menos uno de los metales que se va a soldar, y de preferencia ambos, deben ser muy dúctiles y libres de endurecimiento por trabajo. Los metales como el aluminio suave y el cobre pueden soldarse en frío con facilidad. Las fuerzas de compresión aplicadas en el proceso producen el trabajo en frío de las piezas metálicas y reducen el espesor hasta en 50% pero también producen deformación plástica localizadas en las superficies de contacto, produciendo coalescencia. Para piezas pequeñas, las fuerzas se aplican mediante herramientas sencillas operadas en forma manual. Para trabajos mas pesados se requieren prensas poderosas para ejercer la fuerza necesaria. En la CW no se aplica calor de fuentes externas, pero el proceso de deformación eleva algo la temperatura de trabajo. Las aplicaciones de CW incluyen la fabricación de conexiones eléctricas.

**1.2 SOLDADURA POR EXPLOSION** El proceso de soldadura por explosión se conoce técnicamente como EXW (Explosión Welding), basándose en la detonación de una carga explosiva colocada adecuadamente y que obliga a uno de los metales que se desean soldar a precipitarse aceleradamente sobre otro.

Una de las condiciones fundamentales para que se realice esta soldadura es la existencia de un flujo o chorro limpiador que viaja inmediatamente por delante del punto de colisión en el que la velocidad de la onda de presión en la chapa, ángulo y velocidad del punto de colisión se controlan de manera que este flujo sea forzado a salir de entre las chapas a alta velocidad, expulsando óxidos y contaminantes, dejando así limpias las superficies de unión.

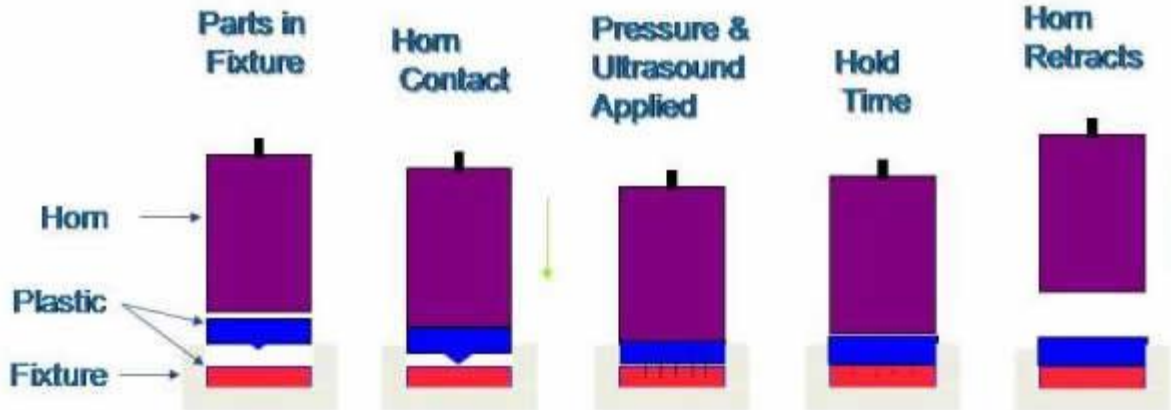
Entre las reducidas aplicaciones de esta soldadura están la calderería, para la fabricación de recipientes a presión, y la industria eléctrica, para la fabricación de juntas de transición donde entran en juego materiales difícilmente soldables entre sí como el aluminio y el cobre.

El proceso de unión de materiales diferentes mediante soldadura por explosión comienza por la limpieza de las superficies a unir. Aunque el barrido de la onda explosiva ejerce una limpieza de las superficie es recomendable. A continuación se coloca el material base, chapa nº1, sobre el cual se va a explotar y se le colocan una especie de pequeñas pletinas de metal en forma de L distribuidas por toda la superficie. Su función es únicamente que al colocar la chapa del otro material, chapa nº2, quede una separación conocida y uniforme. Después se coloca un pequeño cerco alrededor de esta "construcción", de forma que al colocar el polvo explosivo sobre la chapa nº2 quede distribuido por todos los puntos incluidos los bordes y no se caiga. Por último se coloca el detonador, generalmente a media distancia de la longitud media de la chapa pero junto a un extremo (depende de las dimensiones de la chapa). Al realizar la detonación, la onda expansiva aprieta una chapa contra la otra creando una "ola" que recorre toda la chapa. Debido a esta, todas las pletinas así como suciedad son expulsadas y con el calor generado por la explosión, los materiales quedan unidos entre sí.

**1.3 - SOLDADURA POR ULTRASONIDO:** Para unir piezas complejas de termoplásticos moldeados por inyección, los equipos de soldadura por ultrasonidos pueden ser personalizados fácilmente para adaptarse a las especificaciones exactas de las piezas a soldar. Las piezas forman sándwich entre una cuna fija y un sonotrodo conectado a un transductor y se emite una vibración acústica de baja amplitud (Nota: Las frecuencias más comunes usadas en soldadura por ultrasonidos de termoplásticos son 20 kHz, 30 kHz, 35 kHz 40 kHz y 70 kHz). Al soldar plásticos el interfaz de las dos piezas está especialmente diseñado para concentrar el proceso de fundido. La energía ultrasónica funde el punto de contacto entre las partes, creando una unión. Este proceso es una buena alternativa automatizada a la cola, tornillos o diseños de encaje a presión. Se utiliza habitualmente en pequeñas piezas (por ejemplo teléfonos móviles, consumibles electrónicos, herramientas médicas desechables, juguetes, etc...) pero se puede usar en piezas tan grandes como un panel de instrumentos de un vehículo.

La soldadura por ultrasonidos de termoplásticos produce la fusión local del plástico a causa de la absorción de la energía vibratoria. La soldadura por ultrasonidos se puede emplear tanto para plásticos duros como para blandos. El sonotrodo es la parte del sistema acústico que se apoya en una de las piezas a soldar, transmitiendo las vibraciones hasta conseguir la fusión entre las dos piezas.

# How a Weld is achieved



**SOLDADURA DE METALES por ultrasonidos:** Es aplicada en la industria de electrodomésticos, automovilística, de técnica de batería así como en la industria eléctrica y electrónica.

Una aplicación de la tecnología del ultrasonido especialmente útil es, junto a la soldadura de materiales plásticos, justamente la soldadura de metales no ferruginosos, como los que se utilizan en las conexiones y enchufes. Métodos convencionales son, por ejemplo, la soldadura de puntos y por arco eléctrico empleando medios de limpieza y fundentes así como metales de aportación. Si bien este procedimiento puede unir metales, sus características de procesos están en contradicción con los requisitos relativos al compuesto de material. La soldadura de metales no ferruginosos por ultrasonidos es un buen ejemplo de cómo resolver la mayoría de estos problemas, sino incluso todos. En efecto, cada vez más la soldadura de metales por ultrasonidos es preferida frente a otros procedimientos por constructores e ingenieros. Las aplicaciones actuales y una comparación de los costes de producción muestran rápidamente las ventajas inherentes a su empleo en la realización de conexiones eléctricas y uniones enchufables.

Dividimos la soldadura de metal por ultrasonidos en cuatro áreas de aplicación principales:

Ultraweld – Sistemas de soldadura por puntos

Ultrasplice – Sistemas de soldadura de trenzas de cables

Ultraseal – Soldadura de tubos metálicos

Ultraseam – Sistemas de soldadura para costuras continuas

**1.4 SOLDADURA QUIMICA** Se entiende por soldadura en frío al encolado o pegado de dos o más partes por intermedio de un tercer material disolvente (acetona por ej.) generalmente derivados del petróleo. Cuando se utilizan piezas de PVC, Alto Impacto, Acrílico, existen químicos capaces de realizar las uniones disolviendo el material de las superficies a unir, fusionándolas. Los resultados que se obtienen con el procedimiento de pegado pueden compararse a los obtenidos por la soldadura tradicional, ya que existen disolventes específicos para distintas necesidades y que producen una unión sólida, estanca y permanente.

## 2- EN CALIENTE

**2.1- FORJA** La soldadura por forja consiste en caldear las piezas en una forja u horno hasta alcanzar el estado plástico y martillarlas conjuntamente, debiendo usarse un fundente apropiado para eliminar las escama u oxido formado por contacto del aire con el metal caliente

**2.2- FRICCION** La soldadura por fricción es un método de soldadura que aprovecha el calor generado por la fricción mecánica entre dos piezas en movimiento.

Es utilizada para unir dos piezas aun cuando una de ellas por lo menos sea de igual o distinta naturaleza, por ejemplo: acero duro y acero suave, aluminio y aleaciones, acero y cobre, etc. El principio de funcionamiento consiste en que **la pieza de revolución gira en un movimiento de rotación fijo o variable alrededor de su eje longitudinal y se asienta sobre la otra pieza.** Cuando la cantidad de calor producida por rozamiento es suficiente para llevar las piezas a la temperatura de soldadura, se detiene bruscamente el movimiento, y se ejerce un empuje el cual produce la soldadura por interpenetración granular.

## FUSION

### GENERALIDADES

Una fuente térmica para soldadura por fusión debe satisfacer cuatro requerimientos básicos. Estos son:

- Producir energía térmica con una velocidad suficiente para satisfacer a la demanda del proceso
- Debe producir dicha energía a alta temperatura
- El calor producido debe estar contenido en una zona definida.
- No debe producir daño metalúrgico al material bajo proceso o al aporte que se emplee.

## 3 – SODADURA ELECTRICA POR RESISTENCIA

En la soldadura eléctrica por resistencia o de cortocircuito, el calor necesario para calentar el material y llevarlo al estado pastoso se genera por la resistencia (de la pieza) al flujo de una corriente eléctrica de gran intensidad a través de la capa de aire ionizado existente entre las dos piezas a soldar.

**Es una soldadura tipo autógena que no interviene material de aporte.**

Según la ley de Joule la cantidad de calor desarrollada durante  $t$  segundos en la zona de unión de resistencia eléctrica  $R$  es:  $Q = 0.00024 R I^2 t$

Por medio de transformadores adecuados se puede suministrar la intensidad necesaria para elevar la temperatura de material hasta el reblandecimiento y llegado a este punto basta presionar una parte contra la otra para que se suelden.

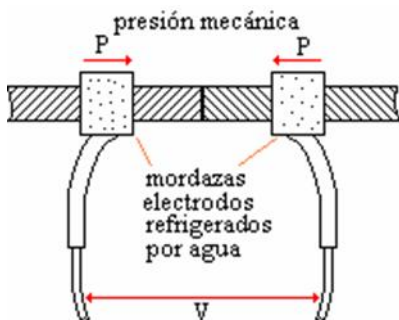
Las intensidades de corriente varían en general entre 100 y 550 amperios. Es necesario que la zona a soldar sea reducida porque así aumentara la resistencia disminuyendo el tiempo de

calentamiento. Al aumentar la temperatura también lo hace la resistencia, entonces la circulación de corriente se desplaza hacia las zonas más frías calentando de esta forma toda la sección a soldar.

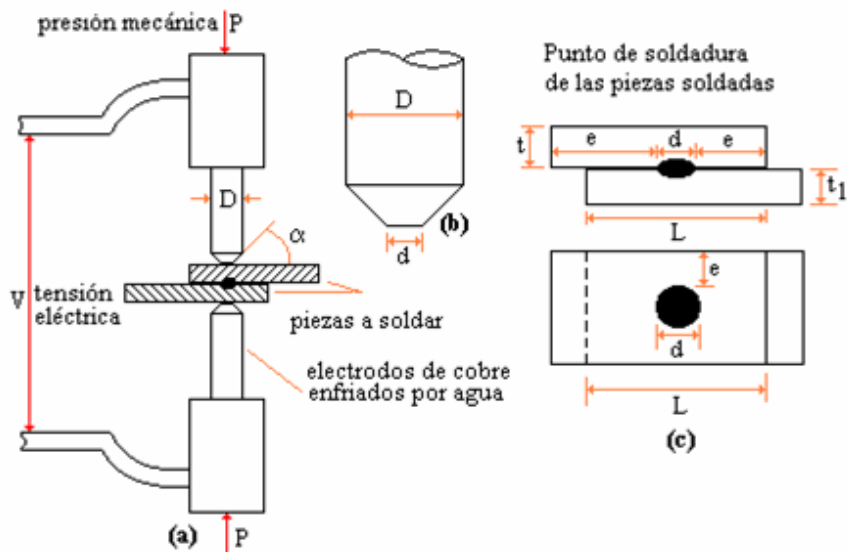
Por este procedimiento es posible soldar muy variados metales como son el acero, plata, oro, aluminio, bronce, platino, cobre, tungsteno, como así también se pueden soldar entre si algunos metales distintos como el hierro con cobre, cobre con latón. Las piezas a unir deben estar limpias de óxidos, barnices, grasas, etc., pues sino al calentarse y soldarse quedarían inclusiones que perjudican la resistencia mecánica de la soldadura.

La soldadura eléctrica por resistencia puede hacerse por testa, por puntos, por línea continua, o discontinua. Este método se utiliza principalmente para piezas pequeñas y sus principales ventajas son: buena resistencia de la soldadura, rapidez y limpieza en la operación de soldado, posibilidad de soldar diversos metales, ya que el tiempo y la temperatura se pueden regular muy bien, mediante dispositivos electrónicos, calentamiento uniforme de las piezas desde el centro a la periferia, las piezas a soldar no necesitan una preparación especial.

### 3.1 Por testa o a tope

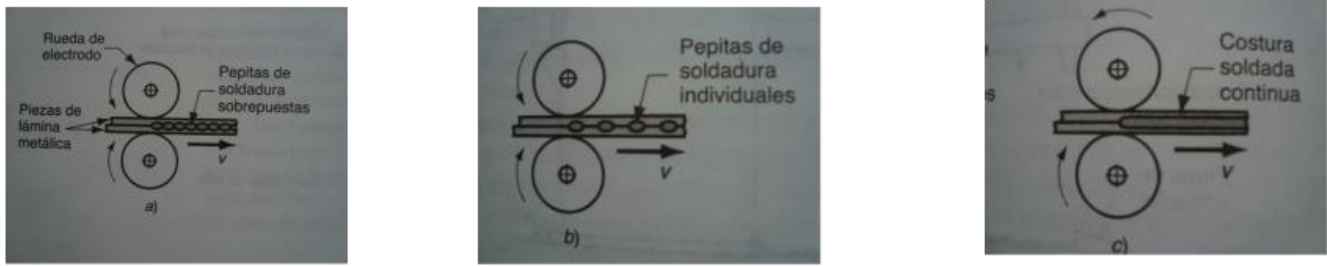


### 3.2 Por puntos

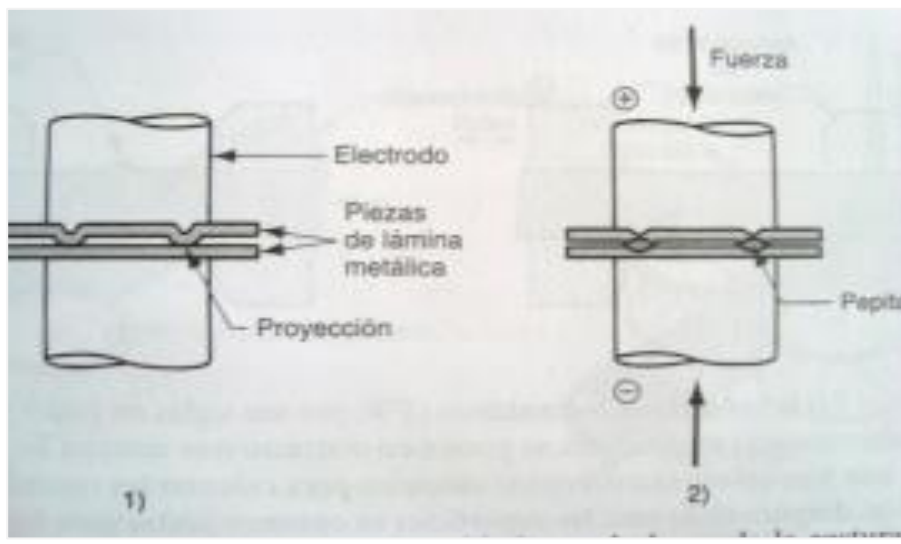


3.3 - **Soldadura de movimiento continuo**, la rueda gira en forma continua a una velocidad constante y la corriente se activa a intervalos que coinciden con el espaciado deseado entre

los puntos de soldadura a lo largo de la costura. Normalmente, la frecuencia de las descargas de corriente se establece para que se produzcan puntos de soldadura sobrepuestos (primera imagen). Pero si se reduce bastante la frecuencia habrá espacios entre los puntos de soldadura y a este método se le denomina soldadura de puntos por rodillo (segunda imagen). En otra variación, la corriente de soldadura permanece constante (en lugar de activarse y desactivarse, por lo que se produce una costura soldada verdaderamente continua (tercera imagen).



**3.4 - Soldadura de proyección :**(RPW) es un proceso de soldadura por resistencia en el cual ocurre la coalescencia en uno o más puntos de contacto relativamente pequeños sobre las piezas. Estos puntos de contacto están determinados por el diseño de las piezas que se van a unir y pueden consistir en proyecciones, grabados o intersecciones localizadas de las piezas .Ejemplo:



La pieza superior se ha fabricado con dos puntos grabados para entrar en contacto con la otra pieza al principio del proceso, y al aplicarles un voltaje se generara la pepita de la soldadura.

Puede argumentarse que la operación de grabado aumenta el costo de la pieza, pero este incremento puede más que compensarse por los ahorros en el costo de la soldadura.

### **SOLDADURA ELECTRICA POR CHISPA**

**También es un proceso de soldadura por resistencia.** En esta soldadura el calor se produce por el salto de pequeños arcos voltaicos entre los extremos de las piezas a unir. Las operaciones para efectuar la soldadura son:



- a) - Pre calentamiento de la zona a soldar mediante la circulación de una baja corriente por las piezas en contacto entre sí.
- b) Separación de las piezas y aplicaciones de una elevada corriente que hace saltar un arco voltaico (chispas) entre las caras enfrentadas produciendo su calentamiento.
- c) Acercamiento y compresión de las piezas. Una porción del metal se recalca para formar rebaba

Las ventajas es que no exige una preparación especial y se lo usa para soldar perfiles, rieles, tubos por sus extremos

#### **4 . SOLDADADURA OXY - GAS**

##### **Descripción del Proceso:**

Las temperaturas promedio de la combustión de llamas para distintos gases es de:

**Oxi – acetileno . . . . . 3.000 °C**

**Oxi - propano . . . . . 2.500 °C**

**Oxi – hidrogeno . . . . . 2.300 °C = SOLDADURA OXIDRICA**

De estos gases el único que satisface los primeros tres requerimientos mencionados más arriba (FUSION – Generalidades) es el proceso OXI – ACETILENICO

Con este proceso se puede soldar con o sin material de aporte. El metal de aporte es agregado para cubrir biseles y orificios.

A medida que la llama se mueve a lo largo de la unión, el metal base y el metal de aporte se solidifican para producir el cordón.

Al soldar cualquier metal se debe escoger el metal de aporte adecuado, que normalmente posee elementos desoxidantes para producir soldaduras de buena calidad.

En algunos casos se requiere el uso de fundente para soldar ciertos tipos de metales.

##### **Ventajas y Aplicaciones del Proceso**

El proceso oxigas posee las siguientes ventajas: el equipo es portátil, económico y puede ser utilizado en toda posición.

El proceso oxigas es normalmente usado para soldar metales de hasta ¼” de espesor. Se puede utilizar también para metales de mayor espesor, pero no es recomendable.

Su mayor aplicación en la industria se encuentra en el campo de mantención, reparación, soldadura de cañerías de diámetro pequeño y manufacturas livianas. También puede ser usado como fuente de energía calórica para doblar, calentar, forjar, endurecer, etc.

##### **PROCESO DE SOLDADURA**

Es el conjunto de elementos que agrupados permiten el paso de gases (Oxígeno-Acetileno) hasta un soplete en cuyo interior se produce la mezcla. La misma, en contacto con una chispa, produce la combustión, base del sistema oxiacetilénico.

##### **Ventajas y desventajas de la soldadura**

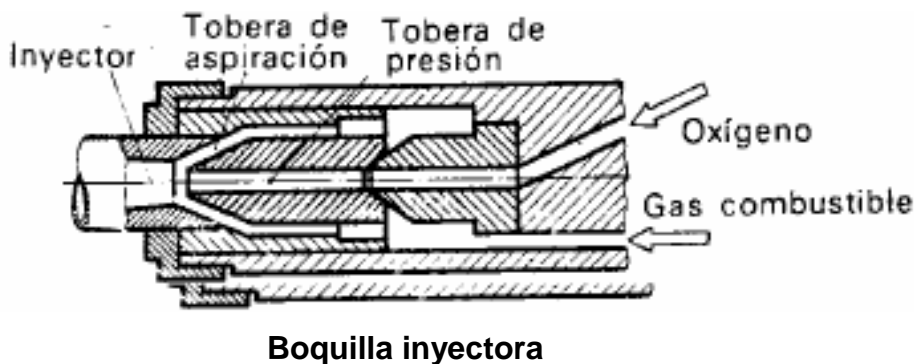
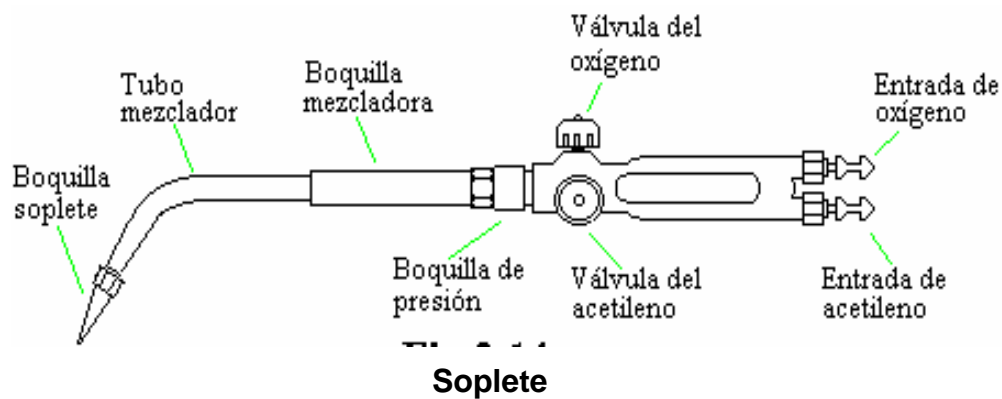
La principal ventaja de la soldadura en general, es que permite la reparación de elementos que de otra manera deberían ser desechados y reemplazados por uno nuevo, como es el caso de estructuras metálicas (puentes, pasarelas, etc.), que si presentan roturas o fisuras, éstas pueden ser soldadas entregándole un alto nivel de resistencia y durabilidad a distintos tipos de esfuerzos (tracción, compresión, etc.) y alargando la vida útil de las estructuras.

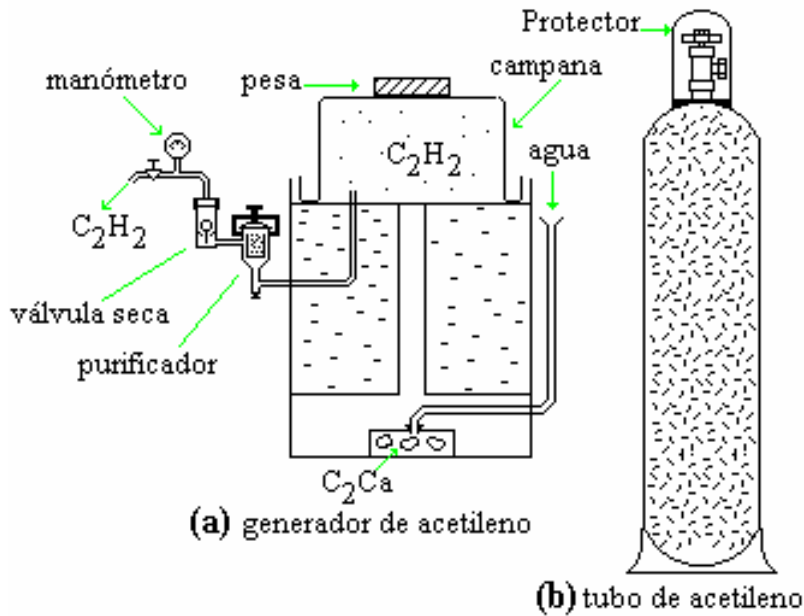
La gran desventaja de la soldadura es que para trabajos de alta precisión el costo es muy elevado, ya que se necesita un alto grado de expertez técnica por parte del soldador, debido a que el producto final no debe tener poros ni imperfecciones, todo esto visto mediante inspección radiográfica.

Las presiones de utilización son de 0,5 Kg./cm<sup>2</sup> para el acetileno y de 1 a 2 Kg./cm<sup>2</sup> para el oxígeno.

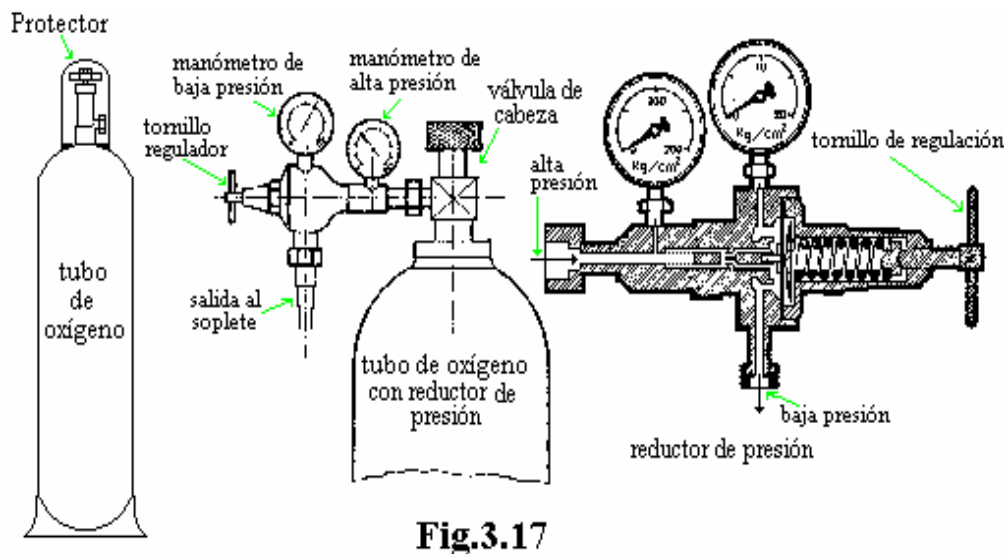
Existen sopletes de alta y baja presión, las presiones de trabajo son de 0,5 y 0,1 Kg./cm<sup>2</sup> para la provisión del acetileno respectivamente.

La potencia de los sopletes se expresa generalmente en litros de acetileno consumidos en una hora; y se elige de acuerdo al tipo de soldadura a realizar y al espesor de las piezas que se suelden.





### Provisión de acetileno



### Provisión de oxígeno

#### LA LLAMA

Modificando convenientemente la proporción entre el oxígeno y el acetileno se pueden obtener tres tipos de llama a saber: neutra o reductora, oxidante y carburante.

**Neutra :**  $C_2H_2 = O_2$  Es la más empleada

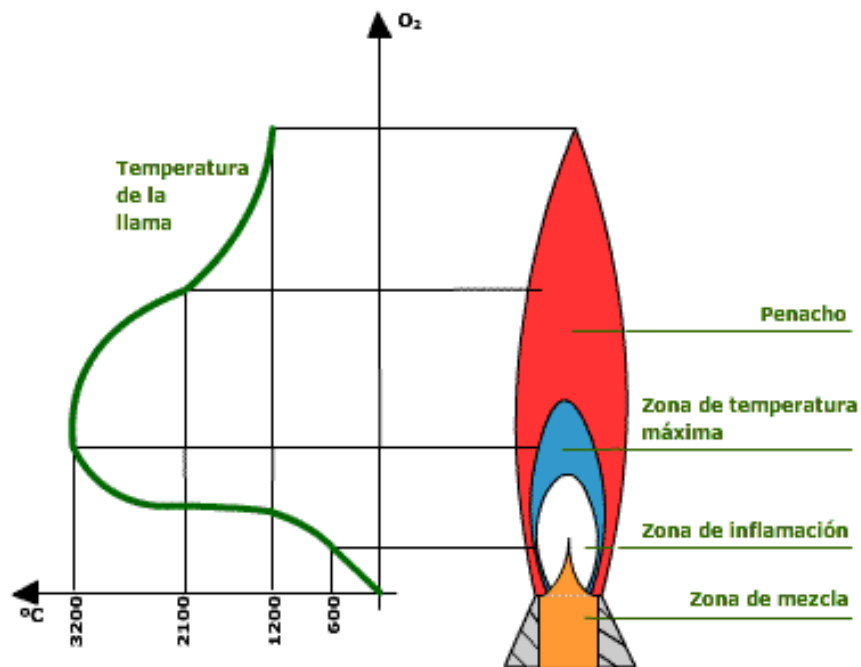
**Carburante:**  $C_2H_2 > O_2$  El exceso de acetileno, se descompone produciendo partículas microscópicas de Carbono más Hidrogeno Estas partículas de carbono a alta temperatura pueden

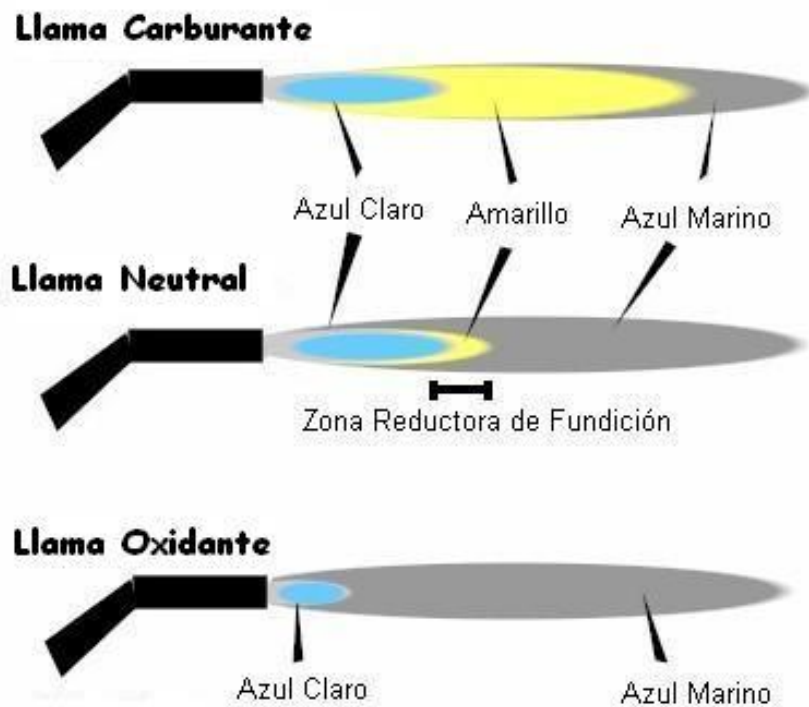
entrar en solución en el acero fundido lo que eventualmente puede producir daño metalúrgico en el material. No obstante el aumento de fluidez que se adquiere el acero (por el contenido de carbono), hace que esta técnica sea empleada con frecuencia. También se conoce como método LINDE

**Oxidante :  $C_2 H_2 < O_2$  (1,1 a 1,7  $O_2$ )** Este tipo de llama es la que asegura la combustión más completa y por lo tanto la mayor temperatura de llama de los tres tipos mencionados . es por lo tanto la adecuada para soldar materiales de alta conductibilidad térmica como el cobre o la plata. Tiene un efecto descarburante cuando es usada con aceros.

La llama oxi acetilénica provee un manto protector de gas que en alguna medida impedirá la contaminación del metal a alta temperatura con gases atmosféricos, no es capaz de eliminar óxidos. Es decir no producirá desoxidación de las superficies; por lo tanto es necesario el empleo de fundentes activos con todos aquellos materiales que forman óxidos gran estabilidad química tales como el cromo y el de aluminio.

## ESQUEMAS





## 4.2 OXI – CORTE

La llama producida durante el proceso de soldadura por oxi – gas puede utilizarse para cortar piezas y planchas de acero.

Definimos como oxi – corte el proceso de corte de metales que emplea una reacción química entre el metal que se desea cortar a alta temperatura y oxígeno de alta pureza .

El proceso se basa en que los materiales férricos arden con gran facilidad en presencia de oxígeno cuando están a elevada temperatura (son ávidos de oxígeno a altas temperaturas)

Para realizar el corte se procede de la siguiente manera:

Se calienta hasta incandescencia las zonas a cortar mediante la llama oxiacetilénica neutra. Se oprime la válvula de maniobra con lo que se cierra la salida de acetileno y se abre la salida de oxígeno. Se mantiene el soplete fijo hasta que comienza la fusión del metal produciendo luego a hacer el corte previsto.

[Ver corte por plasma](#)

## 4.3 SOLDADURA OXIDRICA

El equipo se constituye por un generador de gas oxhídrico (HHO) por electrólisis para soplete de soldadura, corte y fundición y es una alternativa a la soldadura oxiacetilénica y a las en donde se usa butano, acetileno, propano, o metano.

Este aparato genera su propio combustible mediante una celda electrolítica de electrodos múltiples, descomponiendo el agua en hidrógeno y oxígeno mediante electrólisis avanzada y componiendo un gas diatómico (HHO) neutro de enorme poder calorífero, capaz de alcanzar temperaturas de 1500°C a 2300°C; dependiendo del metal que toca la llama.

**Utilidad práctica:** Idóneo para talleres, aplicado a joyería de precisión, trabajos submarinos, náutica, trabajos en vidrio (funde, cristaliza, restaura, etc.), restauración de bronce, fontanería, carpintería metálica, trabajos en hierro y acero, electricidad, electrónica, trabajos en cobre, trabajos en materiales nobles (oro, platino, plata), tuberías de gas, instalación de aire acondicionado, cuchillería, cortar y soldar chapa de acero, esmaltar metales, trabajos en cuarzo, chapistería, cortar, soldar, fundir, artesanías varias etc...

Capaz incluso de trabajar bajo el agua. Se debe tener cuidado con el manipuleo del Hidrogena

## 5. ALUMINOTERMICA

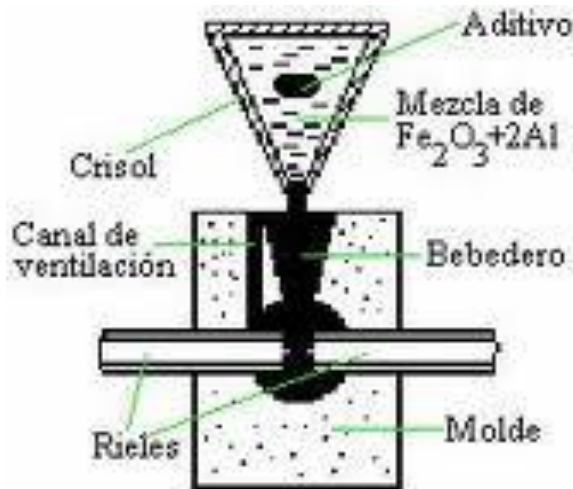


Fig.3.24

La soldadura aluminio - térmica es uno de los procedimientos de soldadura utilizados en carriles de vías férreas. Se basa en la reacción química (proceso, fuertemente exotérmico), entre el aluminio y el óxido de hierro, según la fórmula:



La carga térmica se coloca en un crisol que tiene un agujero de vaciado en el fondo.

La ignición de la mezcla produce la reacción entre el aluminio y el óxido. El aluminio se combina con el oxígeno en el óxido de Fe y libera acero fundido libre, el cual fluye dentro del molde. Durante el proceso se obtienen temperaturas de hasta 2000°C.

## 6. HAZ DE ELECTRONES

La soldadura con haz de electrones (EBW) es un proceso de soldadura por fusión en el cual el calentamiento para el proceso se proporciona mediante una corriente de electrones muy concentrada, de alta densidad, que choca contra la superficie del trabajo (piezas a soldar).

El proceso tiene sus inicios en la década de 1950 en el campo de la energía atómica. La primera vez que se desarrolló tuvo que realizarse en una cámara de vacío para evitar que las moléculas de aire contaminaran el haz de electrones. Este requerimiento sigue siendo un serio inconveniente en la producción, debido al tiempo requerido para vaciar la cámara antes de la soldadura, este puede requerir hasta una hora, dependiendo del tamaño de la cámara y del nivel del vacío requerido.

En la actualidad, la tecnología para la EBW ha avanzado y algunas operaciones se ejecutan sin vacío.

Cualquier metal que pueda soldarse con arco también puede recibir soldadura con EBW, al igual que cientos de metales refractarios difíciles de soldar que no son convenientes para la AW.

Ventajas:

Soldadura de alta calidad con perfiles profundos o estrechos o ambos, zonas afectadas por el calor bien delimitadas y baja distorsión térmica. Las velocidades de soldaduras son altas en comparación con otras operaciones de soldadura continua. No se usa metal de relleno, ni se necesitan fundentes ni gases protectores.

Puede usarse en profundidades (espesores de chapa de hasta 65 mm).

**Desventajas:**

Equipo costoso, la necesidad de preparación y alineación precisas de la unión, las limitaciones asociadas con la ejecución del proceso en el vacío y genera rayos X.

## 7. SOLDADURA RAYO LÁSER.

La soldadura con haz láser (LBW) es un proceso de soldadura por fusión en el cual se obtiene la coalescencia mediante la energía de un haz luminoso coherente altamente concentrado y enfocado a la unión que se va a soldar.

El término láser es un acrónimo de la expresión en inglés "amplificación luminosa mediante la emisión estimulada de radiaciones" (light amplification by stimulated emission of radiation).

La LBW se realiza normalmente, con gases protectores (por ejemplo, helio, argón, nitrógeno y dióxido de carbono) para evitar la oxidación. Por lo general se agrega metal de relleno.

La LBW produce acabados de alta calidad, profunda penetración y una estrecha zona afectada por el calor.

Existen varias ventajas de la LBW sobre la EBW como:

a) No se requiere una cámara de vacío

b) No se emiten rayos X y los rayos láser pueden enfocarse y dirigirse mediante lentes ópticos y espejos.

**Desventajas:**

La LBW no posee la capacidad para realizar soldaduras profundas ni alta relación entre profundidad y anchura que posee la EBW.

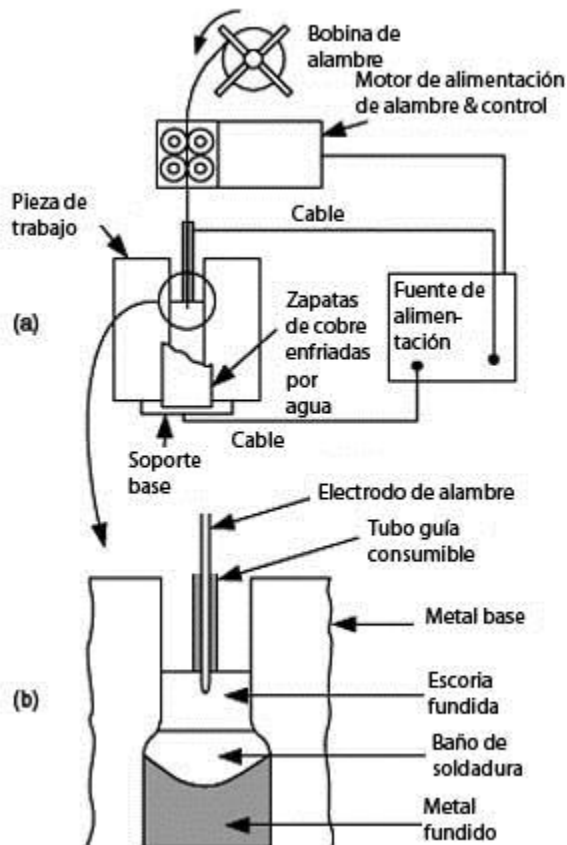
La profundidad máxima en la soldadura con láser es aproximadamente de 19 mm (0.75 in).

Debido a la energía altamente concentrada en un área pequeña del haz láser, con frecuencia el proceso se usa para unir piezas pequeñas.

## 8. SOLDADURA ELECTROESCORIA

La soldadura progresiva verticalmente y básicamente consiste en una pileta de metal fundido contenida entre las planchas a soldar y dos zapatas de cobre refrigeradas por agua.

El aporte puede estar constituido por uno o más alambres que son alimentados hacia la pileta para proveer de este modo el volumen de material necesario para llenar el espacio entre las planchas. Para proteger el metal de la contaminación con los gases atmosféricos, se mantiene un manto de escoria flotando sobre la pileta de fusión, esta escoria fundida cumple a la vez la importante función de convertir en calor, por efecto JOULE, la corriente de soldadura que es alimentada por los alambres hacia la pieza.



## 9.SODADURA ELECTRICA POR ARCO

El calor se obtiene del arco voltaico generado entre dos electrodos convenientemente distanciados.

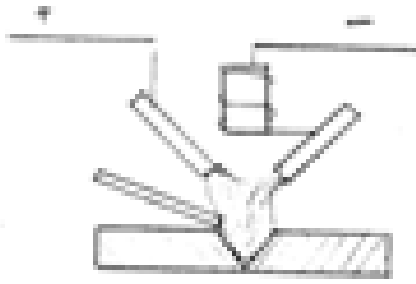
Existen varios métodos entre ellos el Zerner, Bernardos y Slavianoff.

En el de Zerner salta el arco entre dos electrodos de carbón o grafito y es desviado hacia la pieza por el soplo magnético de una bobina, el metal de aporte lo da una varilla sostenida dentro del arco (**Fig. 9.1**).

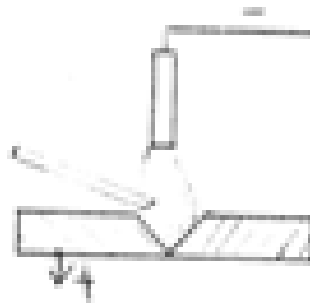
En el Bernardos el arco salta entre un electrodo de carbón o grafito y la pieza y el material de aporte se obtiene de una varilla mantenida dentro del arco (**Fig. 9.2**).

En el método Slavianoff (es el mas empleado) el arco salta entre la pieza a soldar que constituye el electrodo positivo y un electrodo especial que lleva incorporado el material de aportación (**Fig. 9.3**).

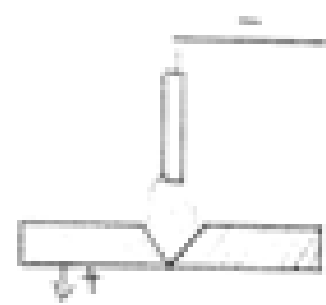




**Figura 9.1**



**Figura 9.2**

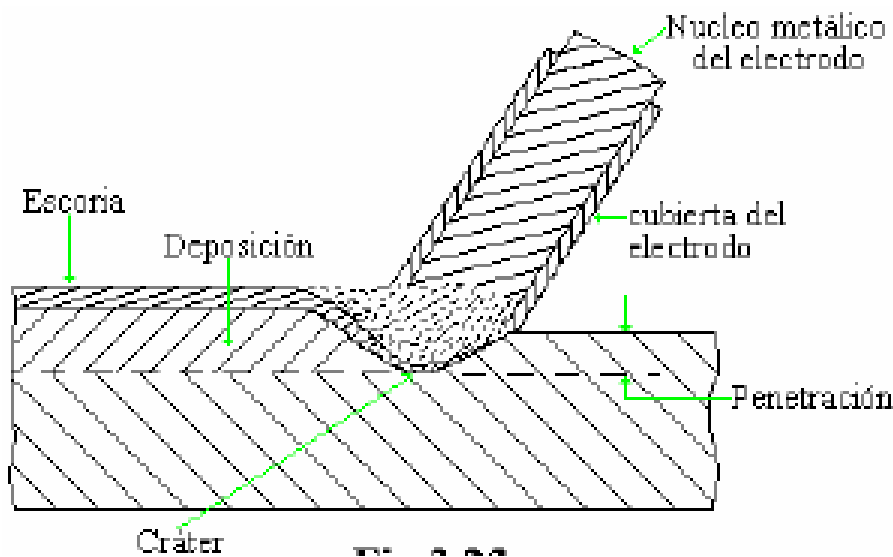


**Figura 9.3**

La gran cantidad de calor que se produce es debida al paso de electrones desde la varilla al metal a través de la capa de aire interpuesto que está fuertemente ionizado llegándose a temperaturas de alrededor de 3800 °C

Al fundirse el metal de la varilla, es transportado en forma de gotitas por el arco hasta depositarse sobre la pieza a soldar en la que el propio arco ha formado un pequeño cráter (Fig. 9.4)

Para iniciar la emisión de electrones hay que cebar el arco, poniendo el electrodo en contacto con la pieza durante breves instantes, separándolo y manteniéndolo luego a una distancia de 2 o 3 mm. Los electrodos usados pueden ser desnudos o revestidos.



**Figura 9.4**

La soldadura por arco va extendiéndose rápidamente pues con ella pueden soldarse casi todos los metales y sus aleaciones. En relación a la oxiacetilénica presenta las siguientes ventajas.

El arco eléctrico representa la alternativa más usada para unir materiales por fusión. Los avances tecnológicos mejoran las características de trabajo de las fuentes de poder, obteniéndose:

- Mejor soldabilidad (posición de soldadura, arco más suave, etc.)
- Mejor acabado de las soldaduras (buena apariencia, menos cantidad de salpicadura, menos defectos, etc.)
- Menores dificultades para soldar piezas de distinto espesor.
- No precisa precalentar las piezas.
- Mayor velocidad de operación.

- Deformaciones mínimas ya que los esfuerzos quedan bastante localizados en la zona de soldadura
- Mayor sanidad
- Mejores características mecánicas
- Mayor facilidad para la aplicación

### **9.1.a - Bajo Gas electrodo no consumible**

**La soldadura de hidrógeno atómico** es un proceso de soldadura por arco que usa un arco eléctrico entre dos electrodos de tungsteno metálico en una atmósfera protectora de hidrógeno. El arco eléctrico rompe eficientemente el enlace de las moléculas de hidrógeno, cuyos átomos luego se recombinan con tremendos desprendimientos de calor, alcanzando temperaturas de entre 3400 y 4000 °C.

La presencia de hidrógeno actúa como un escudo de gas protege a los metales de la contaminación por carbono, nitrógeno u oxígeno, los cuales podrían dañar severamente las propiedades de muchos metales a altas temperaturas. No es necesario usar fundente en este proceso.

El arco se mantiene estable independientemente de la pieza de trabajo o las partes que se estén soldando. El hidrógeno gaseoso normalmente es diatómico (H<sub>2</sub>), pero con las temperaturas mayores a 600 °C que hay alrededor del arco, el hidrógeno se disocia hasta su forma atómica, absorbiendo simultáneamente una gran cantidad de calor del arco. Cuando el hidrógeno golpea una superficie relativamente fría (como la zona de soldadura), se recombina en su forma diatómica y rápidamente libera el calor correspondiente a la energía de enlace. La potencia en la soldadura de hidrógeno atómico puede variarse fácilmente cambiando la distancia entre el flujo del arco y la superficie del área de trabajo. Este proceso está siendo reemplazado por la soldadura de arco metálico protegida, principalmente por la disponibilidad de gases inertes económicos.

**La soldadura por arco plasma** es conocida técnicamente como PAW (Plasma Arc Welding), y utiliza los mismos principios que la soldadura TIG, por lo que puede considerarse como un desarrollo de este último proceso. Sin embargo, tanto la densidad energética como las temperaturas son en este proceso mucho más elevadas ya que el estado plasmático se alcanza cuando un gas es calentado a una temperatura suficiente para conseguir su ionización, separando así el elemento en iones y electrones. La mayor ventaja del proceso PAW es que su zona de impacto es dos o tres veces inferior en comparación a la soldadura TIG, por lo que se convierte en una técnica óptima para soldar metal de espesores pequeños.

En la soldadura por plasma la energía necesaria para conseguir la ionización la proporciona el arco eléctrico que se establece entre un electrodo de tungsteno y el metal base a soldar. Como soporte del arco se emplea un gas, generalmente argón puro o en ciertos casos helio con pequeñas proporciones de hidrógeno, que pasa a estado plasmático a través del orificio de la boquilla que estrangula el arco, dirigiéndose al metal base un chorro concentrado que puede alcanzar los 28.000 °C. El flujo de gas de plasma no suele ser suficiente para proteger de la atmósfera al arco, el baño de fusión y al material expuesto al calentamiento. Por ello a través de la envoltura de la pistola se aporta un segundo gas de protección, que envuelve al conjunto.

La soldadura por plasma – PAW – se presenta en tres modalidades:

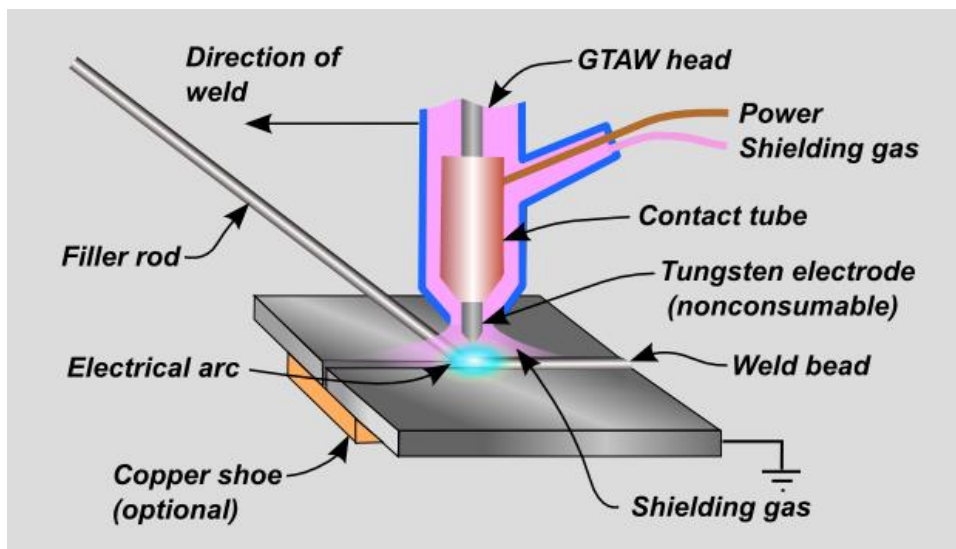
1. Soldadura microplasma, con corrientes de soldadura desde 0.1 Amp. hasta 20 Amp.
2. Soldadura por fusión metal con metal, con corrientes de soldadura desde 20 Amp. hasta 100 Amp.
3. Soldadura Keyhole, por encima de los 100 Amp. en el cual el arco plasma penetra todo el espesor del material a soldar.

Principalmente, se utiliza en uniones de alta calidad tales como en construcción aeroespacial, plantas de procesos químicos e industrias petroleras.

**La soldadura TIG** (Tungsten Inert Gas) o soldadura GTAW (del inglés Gas Tungsten Arc Welding), se caracteriza por el empleo de un electrodo permanente de tungsteno, aleado a veces con torio o zirconio en porcentajes no superiores a un 2%. Dada la elevada resistencia a la temperatura del tungsteno (funde a 3410 °C), acompañada de la protección del gas, la punta del electrodo apenas se desgasta tras un uso prolongado. Los gases más utilizados para la protección del arco en esta soldadura son el argón y el helio, o mezclas de ambos.

La gran ventaja de este método de soldadura es, básicamente, la obtención de cordones más resistentes, más dúctiles y menos sensibles a la corrosión que en el resto de procedimientos, ya que el gas protector impide el contacto entre el oxígeno de la atmósfera y el baño de fusión. Además, dicho gas simplifica notablemente el soldeo de metales ferrosos y no ferrosos, por no requerir el empleo de desoxidantes, con las deformaciones o inclusiones de escoria que pueden implicar. Otra ventaja de la soldadura por arco en atmósfera inerte es la que permite obtener soldaduras limpias y uniformes debido a la escasez de humos y proyecciones; la movilidad del gas que rodea al arco transparente permite al soldador ver claramente lo que está haciendo en todo momento, lo que repercute favorablemente en la calidad de la soldadura. El cordón obtenido es por tanto de un buen acabado superficial, que puede mejorarse con sencillas operaciones de acabado, lo que incide favorablemente en los costes de producción. Además, la deformación que se produce en las inmediaciones del cordón de soldadura es menor.

Como inconvenientes está la necesidad de proporcionar un flujo continuo de gas, con la subsiguiente instalación de tuberías, bombonas, etc., y el encarecimiento que supone. Además, este método de soldadura requiere una mano de obra muy especializada, lo que también aumenta los costes. Por tanto, no es uno de los métodos más utilizados sino que se reserva para uniones con necesidades especiales de acabado superficial y precisión.



### **9.1.b - Bajo electrodo consumible**

**Soldadura (MIG/MAG ó GMAW).** Este procedimiento, conocido también como soldadura MIG/MAG, consiste en mantener un arco entre un electrodo de hilo sólido continuo y la pieza a soldar. Tanto el arco como el baño de soldadura se protegen mediante **un gas que puede ser activo o inerte**. El procedimiento es adecuado para unir la mayoría de materiales, disponiéndose de una amplia variedad de metales de aportación. **Se obtiene temperaturas de hasta 7.200°C**

**Descripción del proceso de soldadura MIG/MAG** La soldadura por arco bajo gas protector con electrodo consumible es un proceso en el que el Arco se establece entre un electrodo de alambre continuo

y la pieza a soldar, estando protegido de la atmósfera circundante por **un gas inerte (proceso MIG)** o por **un gas activo (proceso MAG)**.

En la siguiente figura se indican los elementos más importantes que intervienen en el proceso:

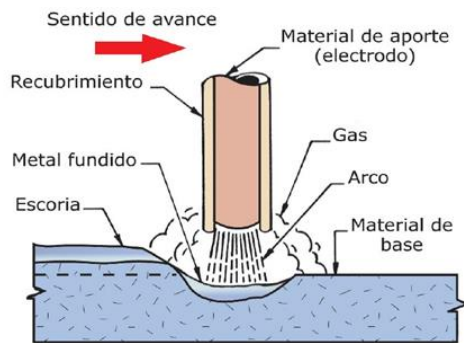


Fig. 1. Soldadura MIG

El proceso puede ser:

- SEMIAUTOMÁTICO: La tensión de arco, la velocidad de alimentación del hilo, la intensidad de soldadura y el caudal de gas se regulan previamente. El avance de la antorcha de soldadura se realiza manualmente.
- AUTOMÁTICO: Todos los parámetros, incluso la velocidad de soldadura, se regulan previamente, y su aplicación en el proceso es de forma automática.
- ROBOTIZADO: Todos los parámetros de soldeo, así como las coordenadas de localización de la junta a soldar, se programan mediante una unidad específica para este fin. La soldadura la efectúa un robot al ejecutar esta programación.

Este tipo de soldadura se utiliza principalmente para soldar aceros de bajo y medio contenido de carbono, así como para soldar acero inoxidable, aluminio y otros metales no férricos y tratamientos de recargue.

A continuación podemos observar los elementos más importantes que intervienen en el proceso:

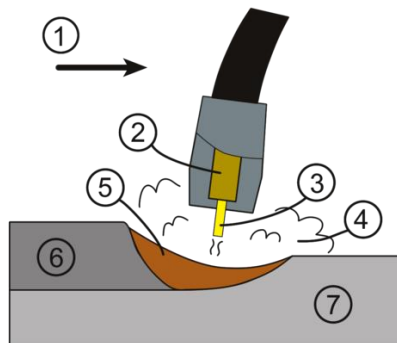


Fig.2. Proceso: 1. Dirección de la soldadura 2. Tubo de contacto 3. Hilo 4. Gas protector 5. Soldadura 6 y 7. Piezas a unir. [3]

**Gases de protección:** En la soldadura MIG (Metal Inert Gas), el gas que actúa como protección es inerte, es decir, que no actúa de manera activa en el propio proceso, y por tanto, muy estable. Dentro de los gases inertes disponibles en Europa el más empleado es el argón y en Estados Unidos, el helio es el que más se utiliza.

El argón con altas purzas sólo es utilizado en soldadura de titanio, aluminio, cobre y níquel. Para la soldadura de acero se tiene que aplicar con cantidades inferiores al 5% de mezcla con oxígeno ya que el argón puro produce mordeduras y cordones irregulares. Así se mejora la penetración y ensanchamiento de la parte inferior del cordón.

La utilización de helio produce cordones más anchos y una penetración menos profunda que la producida por el argón

En contrapartida, en la soldadura MAG (Metal Activ Gas), el gas de protección es el CO<sub>2</sub>. Es un gas inodoro, incoloro y con un sabor picante. Tiene un peso de una vez y media mayor que el aire, además es un gas de carácter oxidante que en elevadas temperaturas se disocia en una reacción en el arco de 2CO<sub>2</sub>-2CO<sub>2</sub>+O absorbiendo calor y en la recomposición en la base 2CO<sub>2</sub>+O cediendo calor.

Sus inconvenientes son que produce arcos muy enérgicos, con lo que también se producen un gran número de proyecciones.

Por otro lado es un gas mucho más barato que el argón, capaz de producir penetraciones mucho más profundas y anchas que éste. También se tiene la ventaja que reduce el riesgo de mordeduras y faltas de fusión.

La mezcla de Ar+CO<sub>2</sub> se suele utilizar con cantidades de mezcla de entre el 15 y el 25% de CO<sub>2</sub>. Las ganancias de trabajar con esta mezcla son una mejor visibilidad del baño, un arco más suave, con menores turbulencias, un baño de fusión más frío, un mejor aspecto y presentación del cordón, menos proyecciones y una mejor estabilidad de arco.

El único y mayor inconveniente de la mezcla es de tipo económico, pero por otro lado hay que compararlo con los grandes beneficios que nos aporta, siendo éstos normalmente mayores que el primero. se comporta como un gas inerte a efectos de contaminación de la soldadura, pero, sin embargo, interviene termodinámicamente en ella. En efecto, en las zonas de alta temperatura del arco, el gas se descompone absorbiendo calor, y se recompone inmediatamente en la base del arco devolviendo esta energía en forma de calor.

**Ventajas de soldadura MIG/MAG:** Las principales ventajas que ofrece el proceso MIG/MAG son:

- Se puede soldar en todas las posiciones
- Ausencia de escoria para retirar
- Buena apariencia o acabado (pocos salpicados)
- Poca formación de gases contaminantes y tóxicos
- Soldadura de buena calidad radiográfica
- Soldadura de espesores desde 0,7 a 6 mm sin preparación de bordes
- Proceso semiautomático o automático (menos dependiente de la habilidad de operador)
- Alta productividad o alta tasa de metal adicionado (principal ventaja)
- Las principales bondades de este proceso son la alta productividad y excelente calidad; en otras palabras, se puede depositar grandes cantidades de metal (tres veces más que con el proceso de electrodo revestido), con una buena calidad.

**Polaridad:** Lo más normal es que en las máquinas de hoy en día se trabaje con polaridad inversa o positiva (la pieza al negativo y el hilo de soldadura al positivo. En algunos casos concretos en los que se requiera mayor temperatura en la pieza que en el hilo se utilizan la polaridad directa o negativa ya que los electrones siempre van de polo negativo al positivo produciéndose un mayor aumento de temperatura en este último.

Constitución equipo de soldadura MIG/MAG: Las máquinas del tipo estándar están formadas por diferentes elementos para poder llevar a cabo la soldadura MIG/MAG.

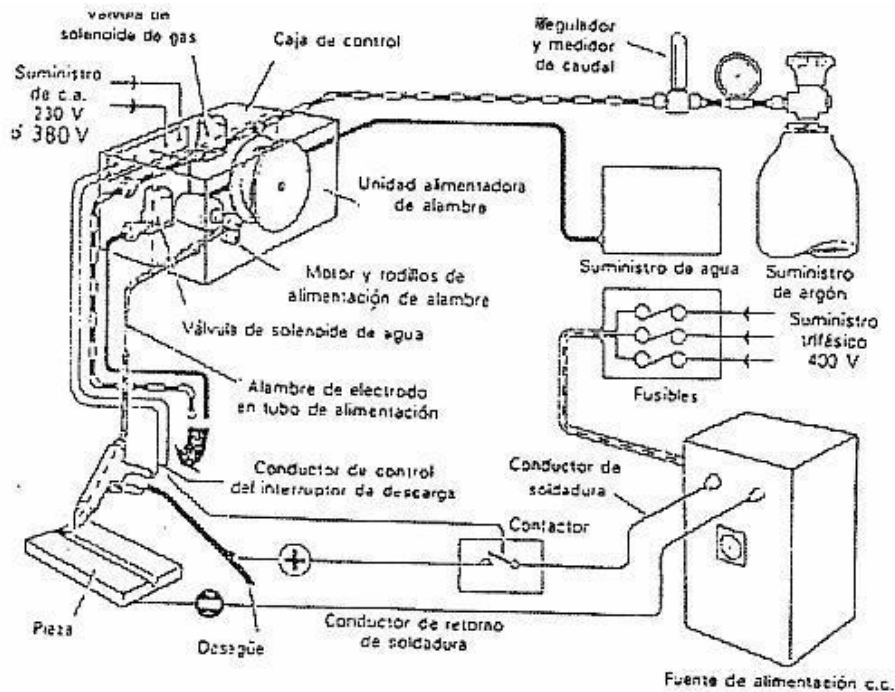


Fig. 3. Máquina de soldadura MIG/MAG

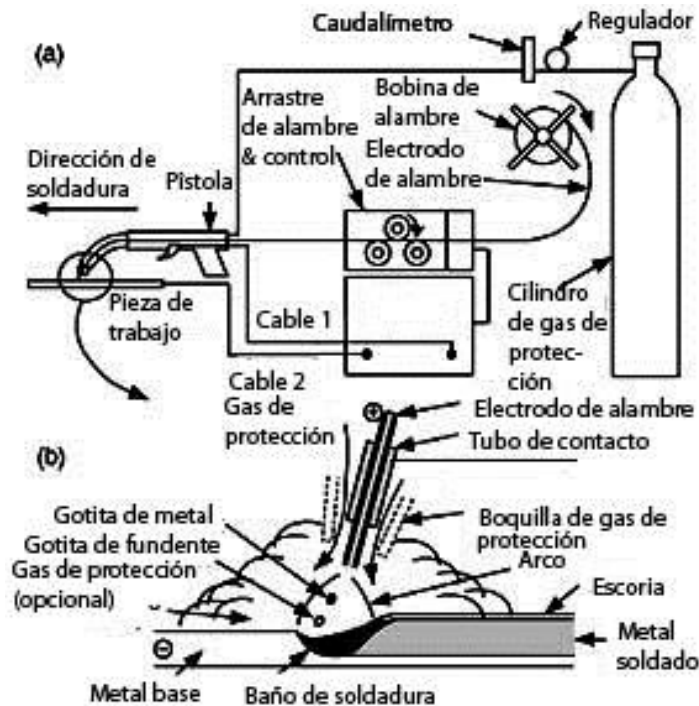
**Hilos o alambres de soldadura:** En la soldadura MIG/MAG, el electrodo consiste en un hilo macizo o tubular continuo de diámetro que oscila entre 0,8 y 1,6 mm. Los diámetros comerciales son 0,8; 1,0; 1,2; y 1,6 mm, aunque no es extraño encontrarse en grandes empresas con el empleo de diámetros diferentes a estos, y que han sido hechos fabricar a requerimiento expreso. En ciertos casos de soldeo con fuerte intensidad, se emplea hilo de 2,4 mm de diámetro.

Debido a la potencia relativamente elevada empleada en la soldadura bajo gas protector, la penetración del material en el metal de base es también alta. La penetración está pues, en relación directa con el espesor del material de base y con el diámetro del hilo utilizado. El efecto de la elección de un diámetro de hilo muy grande, es decir, que exija para su fusión una potencia también elevada, producirá una penetración excesivamente grande, y por esta causa se puede llegar a atravesar o perforar la pieza a soldar. Por contra, un hilo de diámetro demasiado pequeño, que no admite más que una potencia limitada, dará una penetración poco profunda, y en muchos casos una resistencia mecánica insuficiente.

Se presenta enrollado por capas en bobinas de diversos tamaños. El hilo suele estar recubierto de cobre para favorecer el contacto eléctrico con la boquilla, disminuir rozamientos y protegerlo de la oxidación.

En general, la composición del hilo macizo suele ser similar a la del material base; no obstante, para su elección, debe tenerse en cuenta la naturaleza del gas protector, por lo que se debe seleccionar la pareja hilo-gas a conciencia.

**Alambre relleno: SOLDADURA DE ARCO DE NÚCLEO FUNDENTE (FCAW),** usa un equipo similar al MIG pero utiliza un alambre que consiste en un electrodo de acero rodeando un material de relleno en polvo. Este alambre nucleado es más costoso que el alambre sólido estándar y puede generar humos y/o escoria, pero permite incluso una velocidad más alta de soldadura y mayor penetración del metal.



**Los hilos tubulares** van rellenos normalmente con un polvo metálico o con flux, o incluso con ambos. El relleno con polvo metálico, aparte de que puede aportar algún elemento de aleación, mejora el rendimiento gravimétrico del hilo.

## **9.2. BAJO ESCORIA**

**9.2,c) Electrodo manual:** La técnica de la soldadura por arco eléctrico tomó importancia en el sector industrial cuando el sueco Oscar Kjellberg en 1.904 descubre el electrodo revestido.

Este hecho es de suma importancia y el punto de inflexión que permitió posteriormente el gran desarrollo de la soldadura por arco. Hasta entonces se habían podido hacer experimentos de soldar electrodos desnudos, pero su uso acarrea muchos inconvenientes como son:

- la fijación de elementos nocivos en el baño de fusión;
- la generación de una fuerte porosidad dentro de la soldadura por los gases ocluidos;
- hay problemas de estabilización y soplado del arco eléctrico;
- y en general, se consigue una soldadura de mala calidad.

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

## **Fundamentos**

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 férricos principalmente;
- Tipo de proceso: manual, automático (soldadura por gravedad).

## **Principios del proceso manual con electrodo revestido**

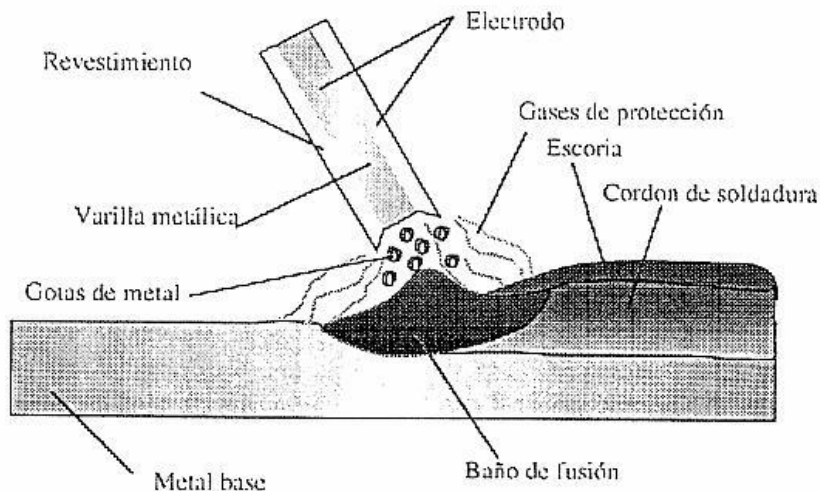
### **Generalidades**

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.



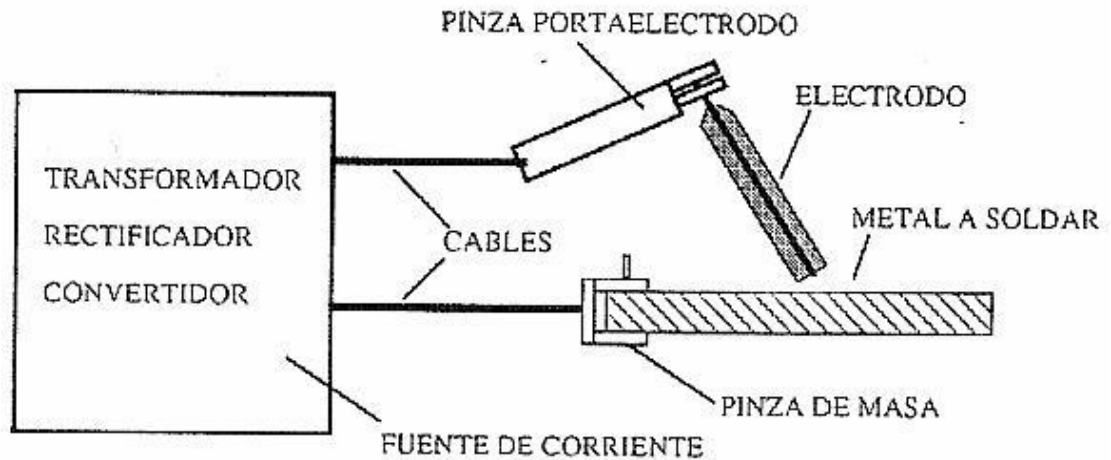
### **Equipo de soldadura**

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

- una fuente de corriente continua o alterna;
- pinza porta-electrodo 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.

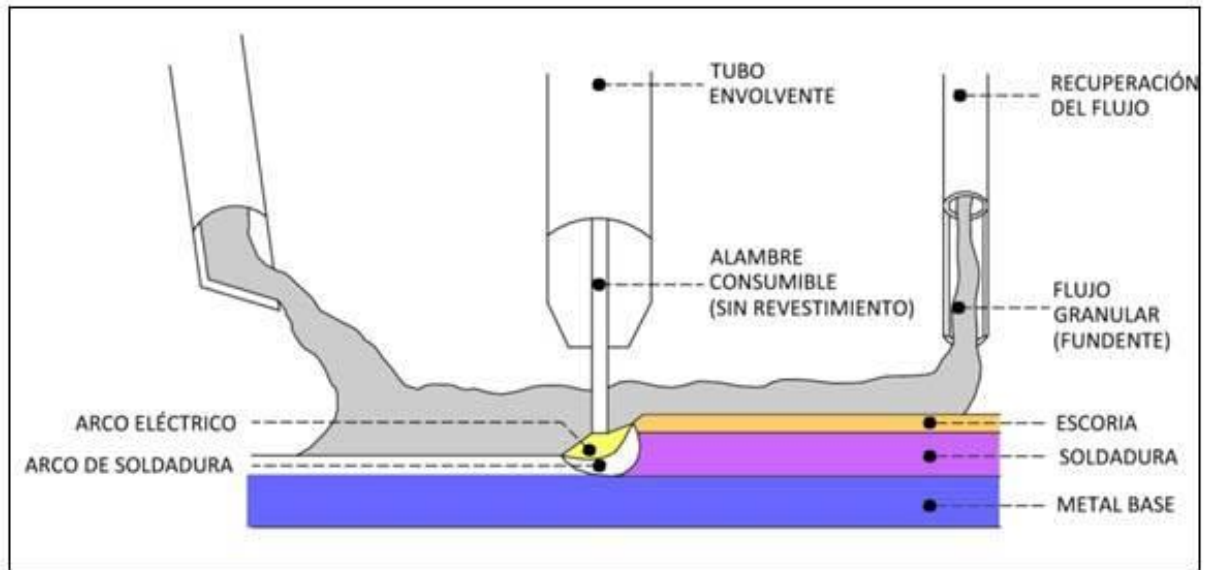
**9.2.d) Soldadura por arco sumergido, o método SAW**, consiste en la fusión de un electrodo continuo, que puede ser macizo o tubular, protegida por la escoria generada por un flux, granulado o en polvo, con el que se alimenta el arco por separado.

El proceso de Arco Sumergido permite depositar grandes volúmenes de metal de soldadura de excelente calidad (tasas de deposición de hasta 50 kg/hr) a bajo coste para una amplia gama de aplicaciones. El sistema es totalmente automático y permite obtener grandes rendimientos en producción. Se puede usar también como un proceso semiautomático, mediante una pistola manual, similar a la que se usa en soldadura MIG/MAG, pero con diámetros de hilo mayores (hasta 2,4 mm) y, de forma parecida a como en el proceso MIG se aportaría gas de protección, se aporta en este caso el flux que nos viene alimentado de un tanque a presión.

El arco eléctrico se establece entre el electrodo metálico y la pieza a soldar. Como electrodos, pueden utilizarse uno o varios alambres o hilos simultáneamente o bien flejes o bandas.

El flux protege el arco y el baño de fusión de la atmósfera circundante, de tal manera que ambos permanecen invisibles durante el proceso. Parte del flux se funde con un papel similar al del recubrimiento en los electrodos revestidos: protege el arco, lo estabiliza, genera una escoria de viscosidad y tensión superficial adecuadas e incluso permite añadir elementos de aleación o compensar la pérdida de ellos. El resto de flux, no fundido, puede recuperarse y reciclarse en el proceso.

La figura de abajo muestra cómo funciona el proceso de arco sumergido.



### **FUNDENTE:**

El fundente es un producto químico usado en proceso de soldar y en la fabricación de placas y otros componentes electrónicos. Sirve para, entre otras funciones, aislar del contacto del aire, disolver y eliminar los óxidos que pueden formarse y favorecer el “mojado” del material base por el metal de aportación fundido, consiguiendo que el metal de aportación pueda fluir y se distribuya en la unión.

Se suelen suministrar en forma de polvo, pasta o líquido y son mezclas de muchos componentes químicos, entre los que están los boratos, fluoruros, bórax, ácido bórico y los agentes mojantes.

### **SOLDABILIDAD**

La soldabilidad es la aptitud que tiene un metal o aleación para formar uniones soldadas. No obstante, este término denota un grupo extremadamente complejo de propiedades tecnológicas y es también función del proceso.

Veamos algunos requerimientos para producir una buena unión y los problemas que pueden aparecer, referidos a soldaduras de cualquier geometría y origen:

- En el caso de la soldadura por fusión, la temperatura de fusión, el calor específico y el calor latente de fusión determinan la cantidad de calor que es necesario añadir. Una alta conductividad térmica permitirá una mayor rapidez de entrada de calor y un enfriamiento más rápido. La adición insuficiente de calor causa falta de fusión y, en secciones gruesas, penetración incompleta. La entrada de calor excesiva puede originar quemado (agujereado del material).
- Los contaminantes superficiales, incluyendo óxidos, aceites, suciedad, pintura, provocan falta de enlace o conducen a porosidad por gas.
- Las reacciones indeseables con contaminantes superficiales o con la atmósfera se evitan sellando la zona de fusión con vacío, atmósfera inerte o escoria.
- Los gases liberados durante la soldadura pueden producir porosidad, que debilita la unión. Particularmente peligroso es el hidrógeno que se origina de la humedad atmosférica o de un fundente húmedo. Cuando se combina en forma molecular, causa porosidad en las aleaciones de aluminio. En la forma atómica se difunde en las puntas de las grietas y provoca fragilidad por hidrógeno del metal. Las grietas de solidificación aparecen bajo la influencia de esfuerzos en la soldadura cuando un líquido de bajo punto de fusión es expulsado durante la solidificación dendrítica. Las grietas de licuación a lo largo de las fronteras de grano se deben a la segregación de estado sólido de elementos de bajo punto de fusión.

- La contracción por solidificación junto con la concentración sólida impone esfuerzos internos de tensión en la estructura y pueden originar distorsión y agrietamiento. El problema se puede aliviar con un material que aporte menos aleado y más dúctil que reduzca la fragilidad térmica.
- Las transformaciones metalúrgicas son de gran importancia, especialmente cuando provocan la formación de fases frágiles como la martensita. Entonces, es esencial precalentar el metal base.
- El espesor de las partes que se van a unir y el diseño de la unión tienen una gran influencia sobre el calentamiento y enfriamiento, y por tanto sobre la soldabilidad.

No se puede generalizar sobre la soldabilidad de los materiales como pudiera hacerse con otras propiedades. Sin embargo se pueden formular algunas directrices.

Materiales ferrosos:

**Aceros al carbono.** Se sueldan fácilmente cuanto menor porcentaje de carbono haya; la formación de martensita es un riesgo en los aceros con alto contenido en carbono. La martensita no sólo es dura y frágil, sino que su formación procede con un incremento de volumen que impone esfuerzos adicionales en la estructura. El precalentamiento y, si es posible, el post-calentamiento son necesarios cuando la formación de martensita o bainita son inevitables.

El carbono equivalente de un acero es la medida de su tendencia potencial a figurarse durante la soldadura. Es una forma de estimar la soldabilidad de los aceros al carbono. **Averiguar que es el carbono equivalente**

**Aceros inoxidables.** Siempre contienen cromo, que forma una película extremadamente densa de  $\text{Cr}_2\text{O}_3$ . Se debe evitar su formación. Los aceros austeníticos (que contienen Cr y Ni) son también soldables, aunque los carburos de cromo formados reducen el nivel de cromo total en el acero y éste queda sin protección contra la corrosión. Para evitar esto, el contenido de carbono debe ser muy bajo, o debe estabilizarse el acero (Ti, Mo o Nb agregado para formar carburos estables), o la estructura debe calentarse por encima de los 1000 °C después de la soldadura y luego enfriarse rápidamente para retener el carbono redissuelto y el cromo en disolución (o utilizar aceros inoxidables con muy bajo contenido en carbono para evitar la formación de carburos).

**Hierro fundido.** La soldabilidad de los hierros fundidos varía en gran medida, pero muchos de ellos se sueldan, especialmente mediante soldadura por arco. Frecuentemente se emplea un metal de aporte al alto níquel para estabilizar el grafito. El precalentamiento y el enfriamiento lento también son útiles.

**Materiales no ferrosos**

**Materiales de bajo punto de fusión.** El estaño y el plomo se sueldan fácilmente, a condición de que la entrada de calor se mantenga suficientemente baja para evitar el sobrecalentamiento. El zinc es uno de los materiales más difíciles de soldar, porque se oxida fácilmente y también se vaporiza a baja temperatura (906 °C).

**Aluminio y magnesio.** La mayoría de sus aleaciones se sueldan fácilmente, particularmente con una envoltura de gas inerte. De otra manera, la película de óxido debe ser removida con un fundente poderoso, que a su vez puede requerir eliminarse después de la soldadura para evitar la corrosión. La humedad ( $\text{H}_2\text{O}$ ) se debe evitar, ya que reacciona y produce un óxido que vuelve frágil la unión al causar porosidad.

La alta conductividad térmica y el elevado calor específico, aunque con un bajo punto de fusión de estas aleaciones, requieren de una entrada de calor y de precauciones adecuadas contra el sobrecalentamiento. Debido a las dificultades encontradas con los materiales endurecidos por precipitación, las aleaciones a menudo son tratadas térmicamente después de la soldadura o, si esto no es posible, se utiliza un material de aporte diferente (con frecuencia Al-Si para aleaciones de aluminio).

**Aleaciones con base de cobre.** El cobre desoxidado se suelda de manera sencilla, especialmente si el material de aporte contiene fósforo para proporcionar una desoxidación instantánea. El cobre ETP no se puede soldar en presencia de hidrógeno porque su contenido en oxígeno (en forma de  $\text{Cu}_2\text{O}$ ) (~0.15%) reacciona con el hidrógeno y con el CO para formar agua y  $\text{CO}_2$ , que hacen frágil la unión. En la soldadura del cobre existe otro problema: el cobre ETP convenientemente tratado tiene el  $\text{Cu}_2\text{O}$  en forma de glóbulos

que no representan en principio ningún problema en condiciones normales. Sin embargo al soldar esta estructura desaparece al fundirse el cobre ETP, y al solidificar de nuevo la estructura que se obtiene es la del eutéctico Cu<sub>2</sub>O-Cu que da malas propiedades mecánicas. Los latones se pueden soldar pero las pérdidas de zinc son inevitables; por lo tanto, o el metal de aporte se enriquece en zinc, o se agrega Al o Si para formar un óxido que reduzca la evaporación. Los bronce de aluminio no representan problema, aunque el óxido formado se debe desalojar, igual que con el aluminio puro.

**Níquel.** Este metal y sus aleaciones de solución sólida se sueldan fácilmente. Todas las aleaciones de níquel son muy sensibles incluso a la cantidad más pequeña de azufre, que forma un eutéctico de bajo punto de fusión y provoca agrietamiento por calor.

**Titanio y zirconio.** Las aleaciones también son soldables, pero una atmósfera inerte es esencial para evitar la oxidación; por lo tanto, a menudo se encierran en cámaras de soldadura de atmósfera inerte o se sueldan con un haz de electrones. En la soldadura del titanio el principal defecto suele ser, como en el aluminio, la presencia de porosidad debida a los gases que se forman durante la soldadura, sobre todo hidrógeno.

Aleaciones de metal refractario. El W, el Mo y el Nb se pueden soldar, aunque la volatilidad de los óxidos hace obligatorio el uso de técnicas especiales (por ejemplo, soldadura por haz de electrones).

### **DILATACION Y CONTRACCION: TENSIONES DE CONTRACCION**

Una pieza calentada se dilata y al enfriarse se contrae. Cuando se funde una pieza, su estado de tensiones es nulo y su temperatura uniforme. Si el enfriamiento es progresivo y uniforme y nada se opone a la contracción, las piezas enfriadas se encuentran también en un estado de tensiones nulas.

Existen varias formas de dar origen a tensiones por contracción: por enfriamiento desigual; por calentamiento desigual, por ser las piezas solidarias a alguna estructura externa.

las tensiones de deformación o distorsión, incluso causar la rotura de las piezas de la propia soldadura.

**La deformación o distorsión** puede producirse al soldar como consecuencia de una dilatación y contracción no uniformes del metal de soldadura y del metal base a lo largo del ciclo de calentamiento y enfriamiento. En la soldadura se generan tensiones debido a los cambios de volumen, especialmente si está restringida por componentes fijos u otros materiales que la rodean. Estas tensiones pueden hacer que el material base se deforme y acabar provocando desgarros o fracturas. Evidentemente, corregir la distorsión puede resultar muy costoso, por lo que la prevención es importante.

**Existen diversos tipos de distorsión y alteración de las dimensiones**, entre ellos la longitudinal, transversal, angular, torsión y combamiento. Pueden darse simultáneamente dos o más tipos de distorsión.

#### **¿Cuáles son las causas principales de la distorsión?**

Numerosos factores pueden provocar distorsión al soldar o cortar, por lo que resulta muy difícil predecir la cantidad exacta de distorsión susceptible de producirse. Entre los factores que se deben tener en cuenta figura el grado de restricción; las propiedades térmicas, y otras, del material base; tensiones intrínsecas inducidas por procesos metalúrgicos anteriores como laminación, conformación y flexión; diseño de la soldadura; precisión de la fabricación y la naturaleza del propio proceso de soldadura -tipo de proceso, simetría de la junta, precalentamiento y número y orden de las soldaduras que hagan falta-.

#### **¿Qué puedo hacer para limitar la deformación?**

Los efectos de la contracción de la soldadura nunca se pueden suprimir por completo, pero sí se pueden reducir al mínimo adoptando unas cuantas medidas prácticas:

- Reducir el volumen de metal de soldadura para evitar el rebosamiento, y estudiar la posibilidad de recurrir a soldadura intermitente
- Minimizar el número de pases de soldadura
- Posicionar y equilibrar correctamente las soldaduras alrededor del eje
- Aplicar técnicas de soldadura de retroceso o intermitente, lo que implica colocar soldaduras cortas en sentido contrario
- Prever la contracción situando previamente fuera de posición las piezas que se van a soldar
- Planificar la secuencia de soldadura para contrarrestar progresivamente las contracciones

- Acortar el tiempo de soldadura
- Al cortar, es posible limitar la distorsión mediante el apoyo de la chapa sin sujeciones para que se pueda dilatar libremente ; asegurándose de que la chapa esté plana; y adoptando un patrón de diente de sierra para mantener juntas las piezas cortadas en caso de corte múltiple.

La distorsión se puede evitar o reducir considerablemente al soldar estructuras de acero mediante dispositivos de fijación, por ejemplo montantes o cuñas para pre-configurar uniones en chapas; abrazaderas flexibles para situar las piezas con el espacio adecuado antes de soldar y abrazaderas para soldadura de chapa fina. También se pueden usar refuerzos longitudinales para limitar este tipo de combamiento. Es importante, asimismo, aplicar la secuencia de soldadura adecuada, por ejemplo soldar el bastidor antes que una chapa de recubrimiento. La aplicación de técnicas de precurvatura o preconfiguración también puede ayudar a evitar la distorsión, y se puede usar agua para enfriar el proceso.

Tuberías y tubos pueden sufrir distorsión después de soldar, lo que se puede evitar aplicando montantes sujetos con cubrejuntas o cuñas dentro o fuera de la junta longitudinal; aplicando tiras de respaldo para impedir la contracción transversal o preconfigurando o aplicando pletinas adosadas al soldar bridas a tuberías.

En resumen, si es probable que la distorsión de soldadura se convierta en un problema, éste previamente se puede evitar o minimizar con planificación previa y aplicación de buenas prácticas.

### **¿Cómo debo corregir la deformación una vez que se ha producido?**

Corregir la distorsión es posible. Se puede lograr eliminando mecánicamente el combamiento usando una prensa, granallado, martilleo neumático o vibración sin tensión. Al mismo tiempo, se puede emplear un aparato de dimensionamiento para corregir el conjunto estructural distorsionado y restablecer las dimensiones previstas. También se pueden emplear distintas técnicas de calentamiento para corregir la distorsión aplicando calentamiento local o por puntos de varias maneras.

### **DEFECTOS EN LA SOLDADURA**

A parte de las tensiones residuales y la distorsión en el ensamble final, puede ocurrir otros defectos e la soldadura:

#### **1. CUARTEADURAS**

Las cuarteaduras son interrupciones tipo fractura en la soldadura misma, o en el metal base antecedente a la soldadura. Este tipo es tal vez el defecto de soldadura más serio debido a que constituye una discontinuidad en el metal, que produce una importante reducción en la resistencia de la soldadura.

Las grietas en la soldadura se originan porque la soldadura o el metal base o ambos son frágiles o tienen baja ductilidad combinadas con una alta limitación durante la contracción.

En general, este defecto debe repararse.

#### **2. CAVIDADES**

Estas incluyen diversos efectos de porosidad y contracción. La porosidad consiste en pequeños defectos en el metal de la soldadura, formados por gases atrapados durante la solidificación. Los defectos pueden tener forma esférica (huecos en forma de burbuja) o alargada (huecos en forma de gusano). Por lo general la porosidad es el resultado de la inclusión de gases atmosféricos, así como de sulfuro en el metal de soldadura o de contaminantes en la superficie. Los defectos de contracción son cavidades formadas por el encogimiento durante la solidificación. Estos dos tipos de defectos tipo cavidad son semejantes a los defectos que se encuentran en la fundición y ponen de manifiesto la similitud entre esta y la soldadura.

Los gases que forman los huecos se derivan de los gases liberados por el enfriamiento del metal de la soldadura, como consecuencia de la reducción de solubilidad al descender la temperatura y de las reacciones químicas que tienen lugar dentro de la propia soldadura.

#### **3. INCLUSIONES SÓLIDAS**

Las inclusiones sólidas son materiales sólidos no metálicos atrapados en la soldadura. Son los óxidos no metálicos que se encuentran a veces en forma de inclusiones alargadas y globulares en los cordones de soldadura.

La forma más común son las inclusiones de escoria generadas durante los diferentes procesos de soldadura con arco eléctrico que usan fundente. En lugar de flotar en la parte superior del pozo de soldadura los glóbulos de escoria quedan atrapados durante la solidificación del metal. Otra forma de inclusión son los óxidos metálicos que se forman durante la soldadura de ciertos metales como el aluminio los cuales normalmente tienen un recubrimiento superficial de  $Al_2O_3$ .

#### 4. FUSIÓN INCOMPLETA

Un defecto conocido como carencia de fusión es simplemente una gota de soldadura en la cual no ocurre la fusión a través de toda la sección transversal del al unión. Un defecto relacionado pero diferente es la carencia de penetración. El termino penetración hacen referencia a la profundidad que alcanza la soldadura dentro del metal base de la unión. Una carencia de penetración significa que la fusión no penetra lo suficiente en la raíz de la unión en relación con las normas especificadas.

#### 5. AGRIETAMIENTO

El agrietamiento de las juntas soldadas ocurre por la presencia de esfuerzos multi - direccionales localizados que en algún punto rebasan la resistencia máxima del metal. Cuando se abren grietas durante la soldadura o como resultado de ésta, generalmente solo es aparente una ligera deformación de la pieza de trabajo.

Después que se ha enfriado una junta soldada, hay más probabilidades de que ocurra agrietamiento cuando el material es duro o frágil. Un material dúctil soporta concentraciones de esfuerzo que pudieran ocasionar falla en un material duro o frágil.

#### 6. PENETRACIÓN INCOMPLETA

Esta expresión se usa para describir la situación en que el metal depositado y el metal base no se funden en forma integral en la raíz de la soldadura. Puede ser ocasionada porque la cara de la raíz de la soldadura de ranura no alcance la temperatura de fusión a toda su altura, o porque el metal de la soldadura no llegue a la raíz de una soldadura de filete, y deje el hueco ocasionado por el puenteo del metal de la soldadura desde un miembro al otro. Aunque la penetración incompleta puede deberse en unos cuantos casos a la falta de disolución de los óxidos e impurezas de la superficie, las condiciones de transmisión de calor que existen en la junta son una fuente mas frecuente de este defecto.

La penetración incompleta es indeseable, particularmente si la raíz de la soldadura esta sujeta ya sea a tensión directa o a esfuerzos flexionantes. El área que no se funde permite concentraciones de esfuerzos que pueden resultar en fallas sin deformación apreciable.

#### 7. FORMA IMPERFECTA O CONTORNO INACEPTABLE

La soldadura debe tener cierto perfil deseado para una máxima resistencia. Este perfil de soldadura maximiza la resistencia de la unión soldada y evita la fusión incompleta y la falta de penetración.

#### 8. DEFECTOS DIVERSOS

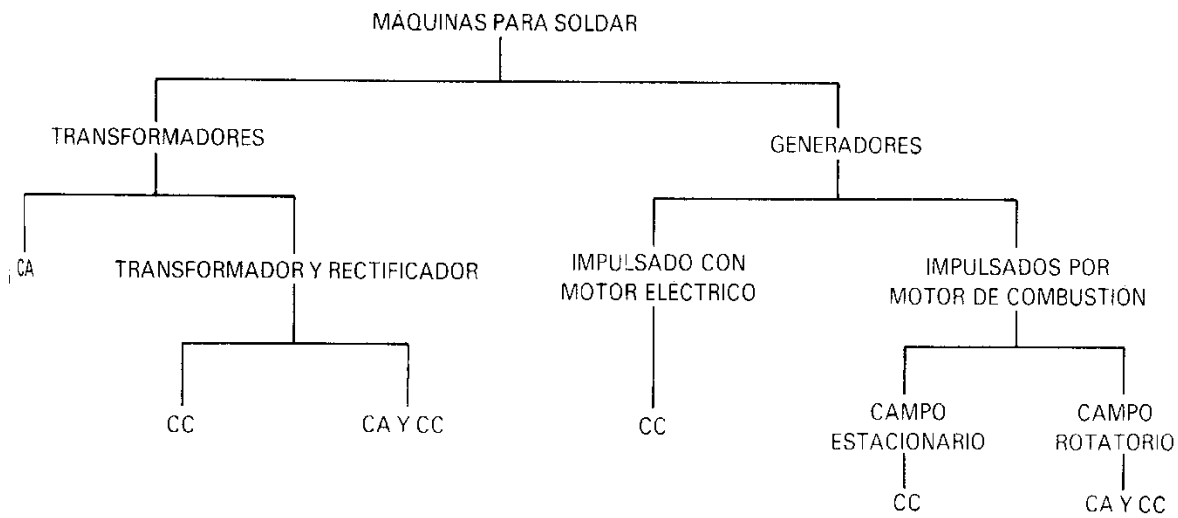
En la categoría de diversos están los golpes de arco en los cuales el soldador accidentalmente permite que el electrodo toque el metal base junto a la unión dejando una cicatriz en al parte; la salpicadura excesiva en la cual caen gotas del metal de soldadura fundido en la superficie de las partes base; y otros defectos no incluidos en las categorías anteriores.

**HOMOGENIDAD DE LA SOLDADURA** De lo visto se puede deducir que una soldadura autógena no es nunca homogénea. El metal fundido o recalentado se diferenciara siempre del resto que no ha sido alcanzado por el proceso.0

Esta falta de homogeneidad entre la zona soldada y su vecindad perjudica a la resistencia mecánica y sobre todo a su resistencia a la fatiga. La diferencia es escasa y puede limitarse a pequeñas proporciones si la soldadura es de buena calidad.

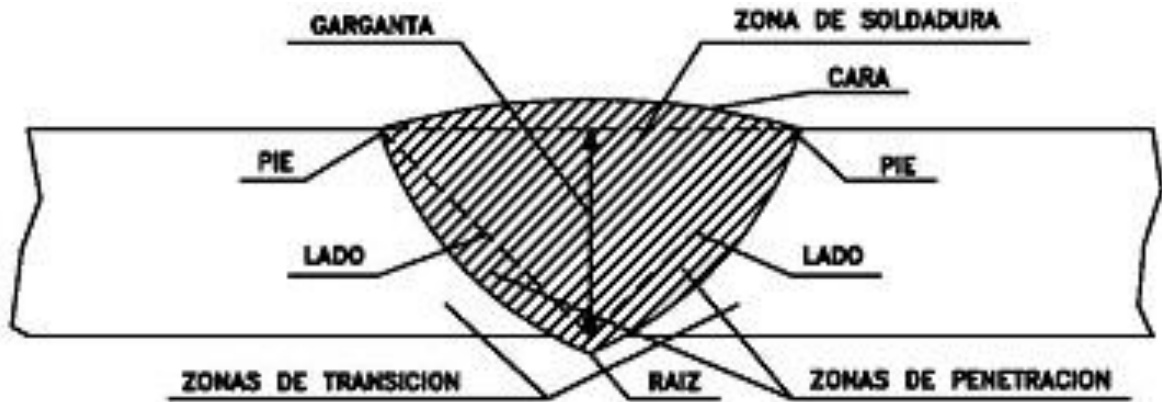
## EQUIPOS





## **CORDONES DE SOLDADURAS**

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



Partes del cordón de soldadura

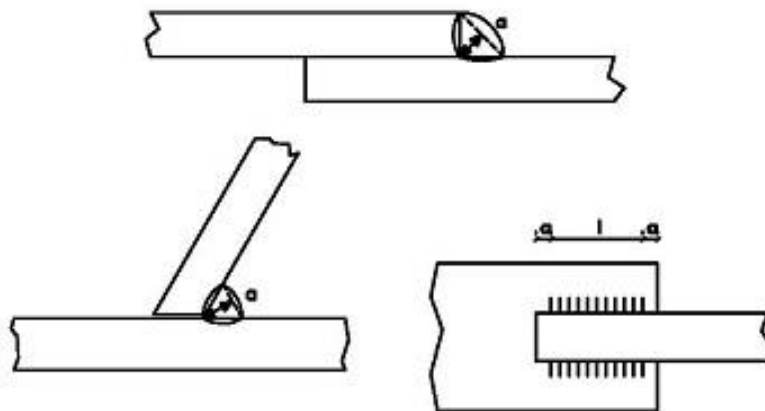
- a) Zona de soldadura: Es la parte central del cordón, que está formada fundamentalmente por el metal de aportación.
- b) Zona de penetración: Es la parte de las piezas que ha sido fundida por los electrodos. La mayor o menor profundidad de esta zona define la penetración de la soldadura. Una soldadura 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 la han 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 (l)** 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.

$$L_{\text{eficaz}} = L_{\text{geométrica}} - 2xa$$



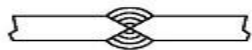
## Clasificación de los cordones de soldadura

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

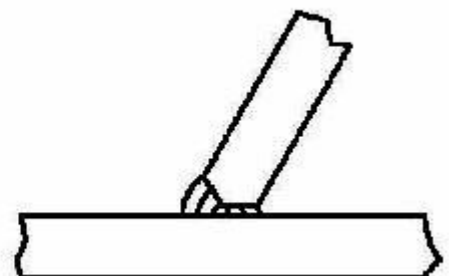
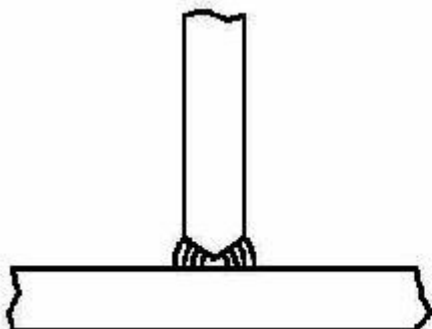
- Por la posición geométrica de las piezas a unir:
  - Soldaduras a tope;
  - Soldaduras en ángulo;
- Por la posición del cordón de soldadura respecto al esfuerzo:
  - Cordón frontal;
  - Cordón lateral;
  - Cordón oblicuo;
- Por la posición del cordón de soldadura durante la operación de soldeo:
  - 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);

### EJEMPLOS DE SOLDADURAS A TOPE

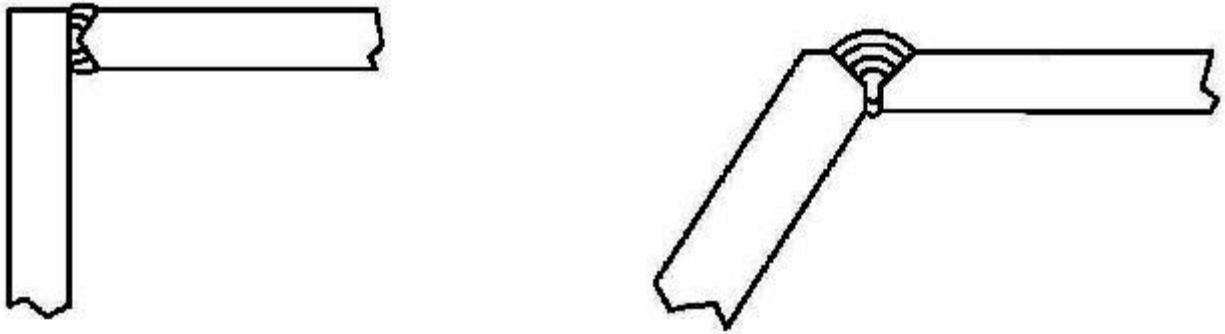
En prolongación



A tope en T

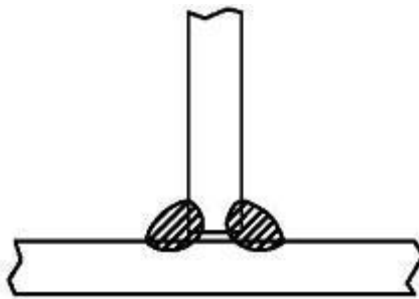


A tope en L

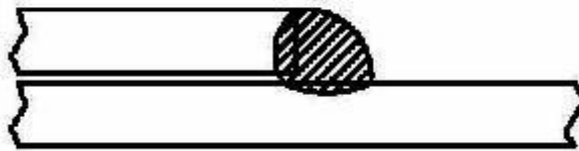


### EJEMPLOS DE SOLDADURAS EN ÁNGULO

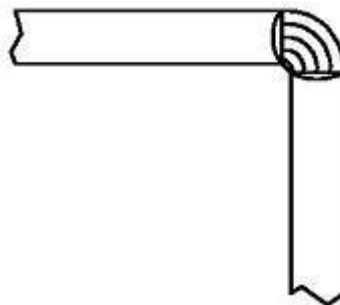
Ángulo en rincón



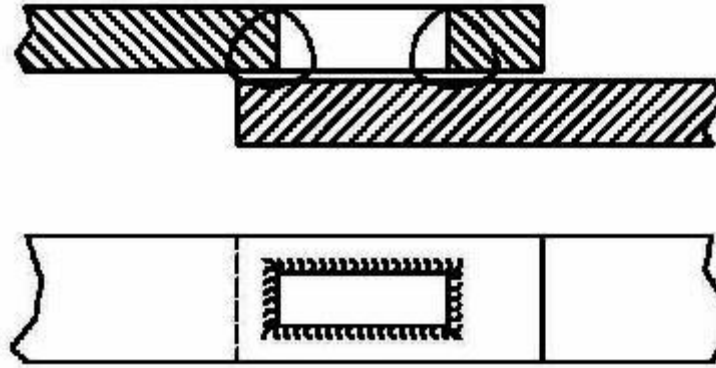
Ángulo en solape



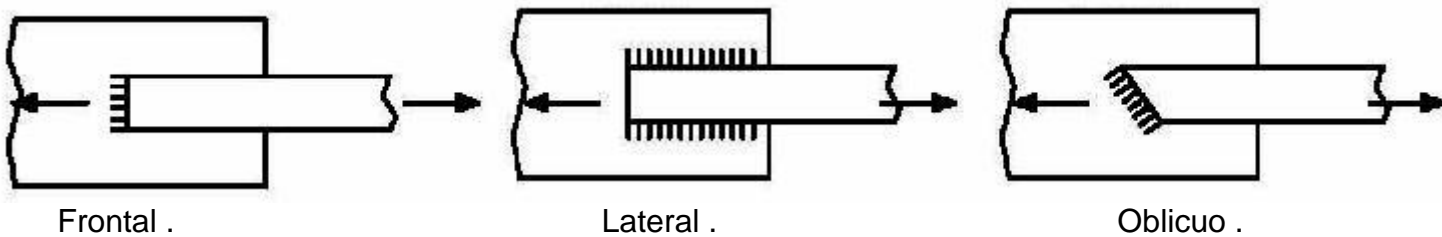
Ángulo en esquina



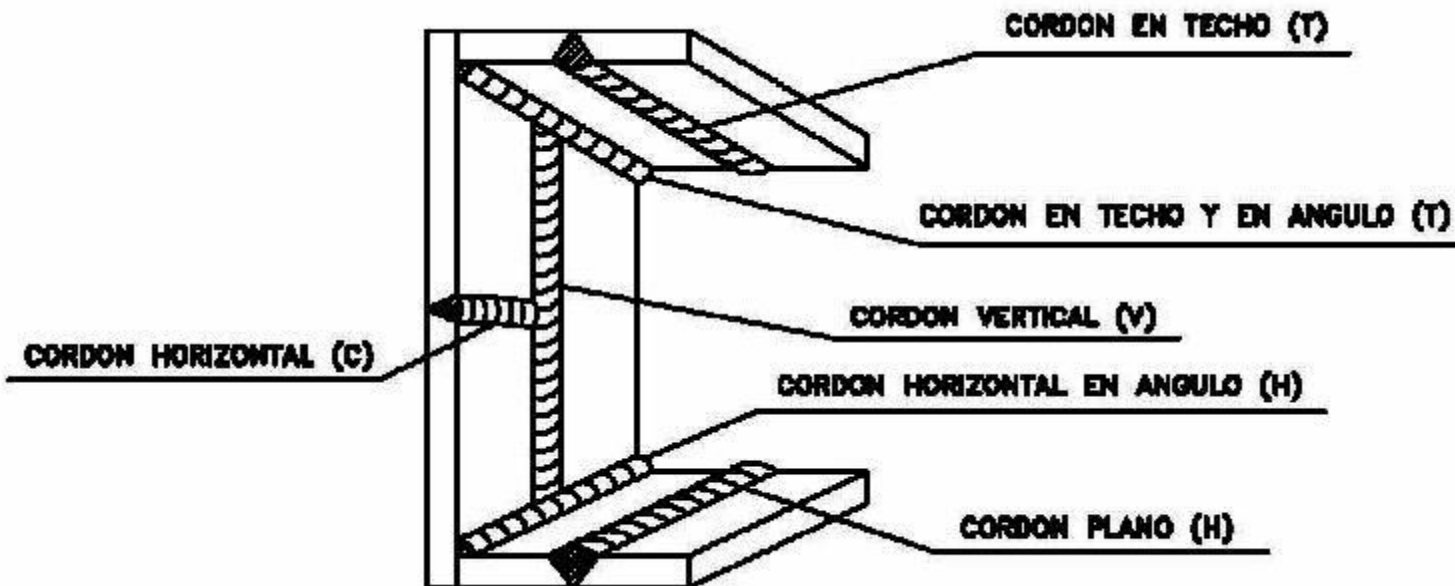
## Ángulo en ranura



- Clasificación de los cordones de soldadura respecto al esfuerzo



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

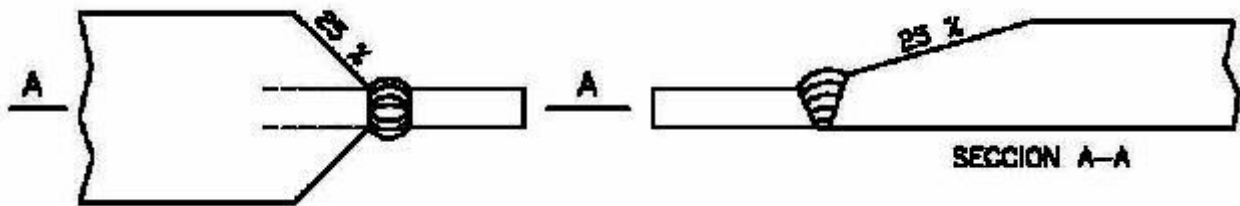


## Recomendaciones para la ejecución de cordones de soldadura

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.

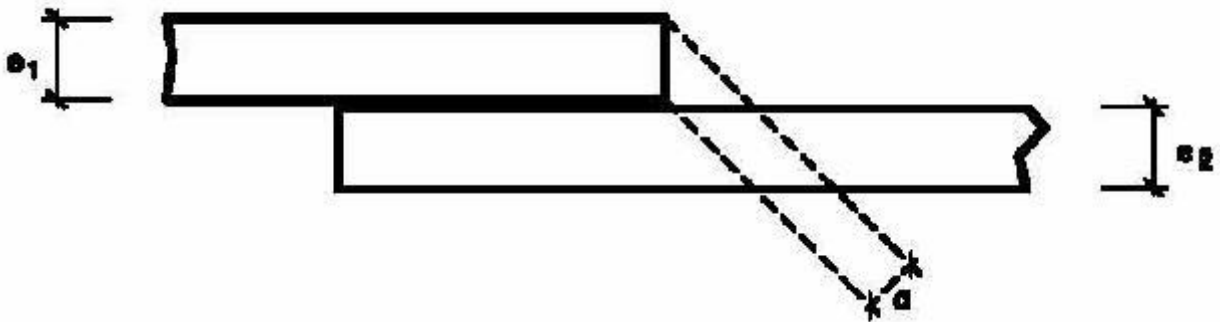
### a) Soldaduras a tope:

- 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,  $l \leq 12 \times b$

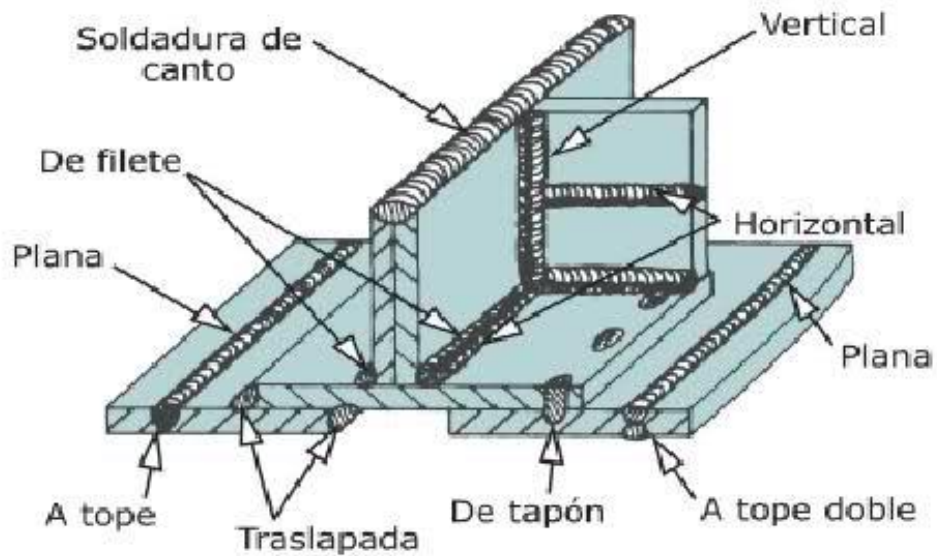
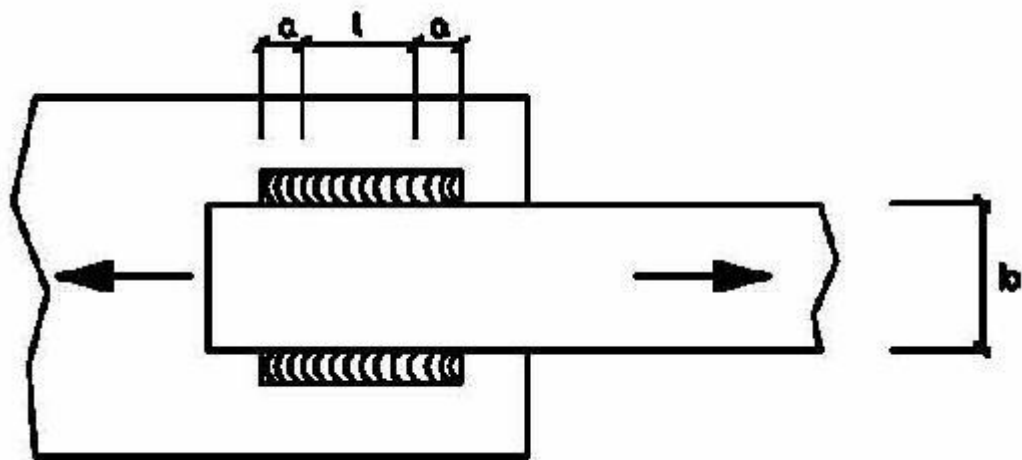


Fig. 2.15 Denominación de los tipos de soldadura

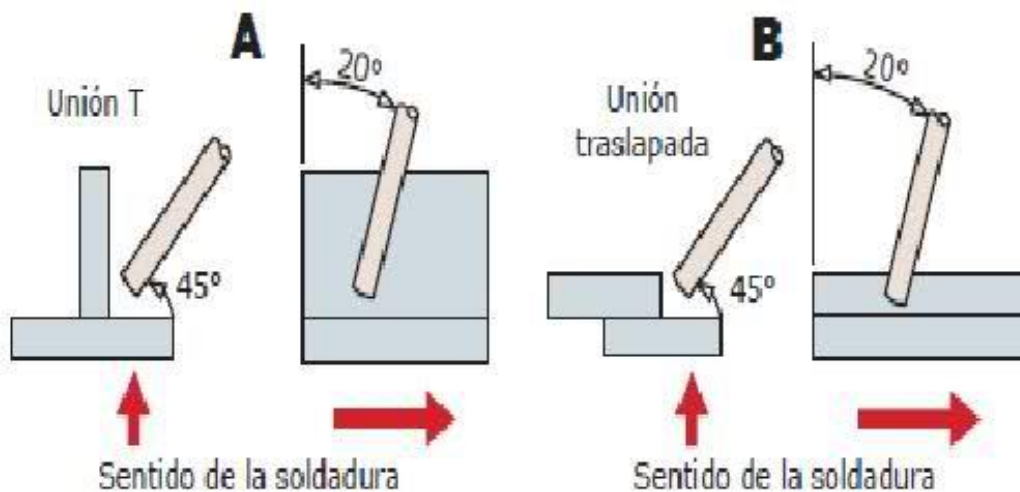


Fig. 2.16 Angulos de los electrodos para soldadura de filete