



Facultat de Nàutica de Barcelona

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA



**PROYECTO FINAL DE CARRERA**

**PROCESOS DE SOLDADURA**

**APLICADOS EN LA**

**CONSTRUCCION NAVAL**

**Autor: José Martín Guivernau**

**Director: Jordi Torralbo Gavilán**

**Ingeniería Técnica Naval en Propulsión y Servicios del buque**

**Octubre, 2011**





## ÍNDICE

0. MOTIVACIONES .....	III
1. PRESENTACIÓN HISTORICA.....	1
2. TERMINOS Y DEFINICIONES DE SOLDADURA.....	3
3. SIMBOLOGIA DE LA SOLDADURA.....	15
4. CLASIFICACIÓN DE LOS PROCESOS DE SOLDADURA .....	21
4.1 Clasificación EN ISO 4063.....	21
4.2 Clasificación AWS.....	23
5. PAUTAS PARA ELECCION SISTEMATICA DE UN PROCESO DE SOLDEO .....	25
5.1. Material base .....	25
5.2. Tamaño y complejidad de la soldadura.....	25
5.3. Lugar de fabricación .....	26
5.4. Estimación de costes .....	26
5.5. Aplicaciones.....	26
5.6. Capacitación de soldadores.....	27
6. DESCRIPCION DE LOS PROCESOS DE SOLDADURA MÁS UTILIZADOS EN CONTRUCCION NAVAL .....	28
6.1. Soldeo por arco con electrodo revestido.....	28
6.1.1. Principios del proceso .....	28
6.1.2. Parámetros de soldeo .....	29
6.1.3. Equipo de soldeo.....	34
6.1.4. Tipos de electrodos .....	35
6.1.5. Funciones del revestimiento.....	36
6.1.6. Tipos de revestimiento .....	39
6.1.8. Técnicas operativas .....	43
6.1.9. Ventajas y limitaciones del proceso.....	44
6.1.10. Aplicaciones .....	45
6.2. Soldeo por arco con gas inerte y electrodo de wolframio .....	45
6.2.1. Principios del proceso .....	45
6.2.2. Parámetros de soldeo .....	47
6.2.3. Equipo de soldeo.....	50
6.2.4. Electrodos no consumibles .....	54
6.2.5. Consumibles .....	56
6.2.6. Técnicas operativas .....	60
6.2.7. Ventajas y limitaciones del proceso.....	65
6.2.8. Aplicaciones .....	66
6.3. Soldadura por arco metálico con protección de gas (GMAW) .....	68
6.3.1. Principios del proceso .....	68
6.3.2. Tipos de transferencia.....	69



6.3.3. Equipo MIG/MAG.....	75
6.3.4. Variables del proceso .....	78
6.3.5. Gases de protección .....	81
6.3.6. Consumibles .....	82
6.3.7. Ventajas y limitaciones del proceso.....	83
6.3.8. Aplicaciones .....	84
6.4. Soldadura con alambre tubular con flux interior (FCAW).....	85
6.4.1. Principios del proceso .....	85
6.4.2. Alambres tubulares.....	86
6.4.3. Tipos de flux .....	87
6.4.4. Transferencia de metal.....	87
6.4.5. Gases de protección .....	87
6.4.6. Variables del proceso .....	87
6.4.7. Ventajas y limitaciones del proceso.....	88
6.4.8. Aplicaciones .....	88
6.5. Soldeo por arco de plasma (PAW).....	89
6.5.1. Principios del proceso .....	89
6.5.2. Modos de operación del plasma .....	91
6.5.3. Variables del proceso .....	92
6.5.4.- Consumibles .....	93
6.5.5. Equipo de soldeo.....	94
6.5.6. Ventajas y limitaciones del proceso.....	95
6.5.7. Aplicaciones .....	96
6.6. Soldeo oxi-acetilénico (OAW) .....	96
6.6.1. Principios del proceso .....	96
6.6.2. Gases.....	97
6.6.3. Llama oxi-acetilénica.....	97
6.6.4. Equipo de soldadura .....	101
6.6.5. Varillas de aportación y fundentes.....	106
6.6.6. Técnicas operativas .....	107
6.6.7. Ventajas y limitaciones del proceso.....	108
6.6.8. Aplicaciones .....	109
6.7. Soldeo por arco sumergido.....	109
6.7.1. Principios del proceso .....	109
6.7.2. Productos de aporte.....	111
6.7.3. Características y propiedades del metal depositado .....	115
6.7.4. Equipo de soldeo.....	119
6.7.6. Aplicaciones .....	121
7. CONCLUSIONES.....	123
8. AGRADECIMIENTOS.....	124
9. BIBLIOGRAFIA .....	125
10. LISTA DE FIGURAS .....	126



## 0. MOTIVACIONES

Ya desde comienzos de la carrera sabía que me quería dedicar profesionalmente a la inspección, pero por aquel entonces aun no tenía claro en que campo concretamente. Con la realización de las asignaturas de tecnología mecánica y construcción naval, con Joaquim Verdiell/Jordi Torralbo y Vicente Saenz como profesores respectivamente, en las cuales vimos en detalle todo lo relacionado con la soldadura e incluso pudimos conocerla de más cerca soldando nosotros mismos, vi claramente mi vocación por todo lo relacionado con el mundo de la soldadura.

Gracias a todo lo que hemos visto en la facultad con lo relacionado a la soldadura ha despertado mi interés y pasión sobre ella, tanto es así, que además estoy cursando un máster de soldadura para ampliar mis conocimientos sobre el tema. También, gracias a todo esto, tengo una motivación extra a la hora de la realización del proyecto final de carrera, que no solo es que me guste el tema y disfrutar su realización, sino que también quiero que me aporte lo máximo posible para mí, y para mi vida profesional. Por todo esto, la realización del proyecto me ha aportado más conocimientos mejorando así en el campo de la soldadura, los cuales han complementado los recibidos durante el transcurso de la carrera de Ingeniería Técnica Naval.

Llegado el momento de la realización del proyecto final de carrera, decidí optar, evidentemente, por el tema que me gustase más y que me sirviera de algo en un futuro, de este modo el tiempo invertido en la realización del proyecto tendría realmente valor para mí y para mi director de proyecto. Ese tema era la soldadura, el tema que había despertado mi pasión en la facultad de náutica de Barcelona.



## 1. PRESENTACIÓN HISTORICA

Es muy probable que el hombre desde sus primeros contactos con los metales, el oro y cobre, sintiese la necesidad constructiva de unir unas piezas metálicas a otras. No debió resultarle difícil conseguirlo con el oro, pues debido a su ductilidad y a que no forma óxidos superficiales es fácilmente soldable por martilleado a temperatura ambiente. Por esta técnica fueron construidas un grupo de cajas de oro, de aproximadamente 5cms. de diámetro, datadas del final de la Edad de Bronce (1300-700 a.C.).

Mayor dificultad debió encontrarse en el soldeo de la plata por percusión, ya que necesita calentarse hasta 500°C y trabajarla sobre un yunque para conseguir la unión. Los objetos encontrados de plata, soldados por esta técnica, se sitúan en los siglos IV-V a. de C.

El soldeo fuerte se utilizó desde tiempos muy tempranos. A juzgar por los objetos llegados hasta nosotros los orfebres sumerios del 2.700 a. de C. eran capaces de llevar a cabo esta clase de soldaduras. Parece ser que también los egipcios utilizaron este proceso para unir con plata fundida los tubos de cobre de la tumba de Herpheres.

El soldeo del hierro y del acero por forja no tuvo más limitación que la temperatura que es necesario alcanzar, por encima de 1000°C, para que adquiera el estado pastoso. Una vez en este estado se ponen en contacto las superficies a unir y se golpean, los golpes expulsan el óxido de la unión y se produce el contacto íntimo de los cristales limpios de ambas caras, que así se entrelazan.

Existen evidencias de que el hombre soldó el hierro por forja desde los primeros tiempo de la Edad de Hierro y éste fue uno de los procedimientos que utilizaron los romanos para fabricar sus espadas.

No volvió a recuperar el soldeo su importancia hasta que en las postrimerías del siglo XIX y principios del XX se hizo posible el soldeo por fusión, al disponerse industrialmente de fuentes caloríficas suficientemente intensas como para producir una fusión localizada de los bordes a unir. De esta forma nacen el soldeo oxiacetilénico, por arco eléctrico y por resistencia.

El soldeo por llama se desarrolló cuando fueron posibles el abastecimiento a escala industrial de oxígeno, hidrógeno y acetileno a precios accesibles, se inventaron los sopletes adecuados y se desarrollaron las técnicas de almacenamiento de dichos gases. En el año 1916 el soldeo oxiacetilénico era ya un proceso completamente desarrollado, capaz de producir soldaduras por fusión de calidad en chapas finas de acero, aluminio y cobre desoxidado, existiendo sólo



ligeras diferencias con los procesos utilizados en la actualidad.

El arco eléctrico fue descubierto por Sir Humphrey Davy en 1.801 y presentado en el Royal Institute de Inglaterra en 1.808. el descubrimiento permaneció durante muchos años como una mera curiosidad científica, hasta el punto que el propio Davy no aplicó el término “arco” al fenómeno hasta veinte años después.

En estos primeros tiempos, el soldeo por arco se utilizó fundamentalmente en la reparación de piezas desgatadas o dañadas. No fue hasta la Primera Guerra Mundial que empezó a ser aceptada como técnica de unión en la construcción.

En la actualidad, los desarrollos tecnológicos se centran en la aplicación de la microelectrónica y de la informática, para un mejor control del arco y de los parámetros de soldeo. Más que la aparición de nuevos procesos, se está consiguiendo la ampliación del campo de aplicación de los ya existentes a nuevos materiales no metálicos y a aleaciones metálicas hasta ahora difícilmente soldables, sin olvidar la mecanización, automatización, robotización y control de los procesos mediante ensayos no destructivos y registro de los parámetros en tiempo real.



## 2. TERMINOS Y DEFINICIONES DE SOLDADURA

El objetivo primordial de este glosario es el de ayudar a la comprensión de los siguientes procesos de soldadura tratados en este trabajo. Hay que tener en cuenta que solo aparecen términos genéricos y sus definiciones. Para hacer más útil este glosario, los términos están ordenados alfabéticamente como un diccionario tradicional.

**Alambre de soldeo:** material de aportación obtenido por trefilado y suministrado generalmente enrollado, formando bobinas.

**Ángulo bisel:** ángulo formado entre el borde recto preparado de una pieza y un plano perpendicular a la superficie de la misma.

**Ángulo de chaflán:** véase ángulo de bisel.

**Ángulo de trabajo:** ángulo que mide la inclinación del electrodo con respecto al plano perpendicular que contiene el cordón de soldadura.

**Anillo soporte:** soporte anular para el cordón de soldadura, utilizado generalmente en el soldeo de tuberías.

**Atmosfera protectora:** entorno de gas protector, que rodea parcial o totalmente la pieza a soldar, cortar o proyectar térmicamente, con características controladas de composición química, punto de rocío, presión, etc. Entre otros ejemplos están: los gases inertes, hidrocarburos, hidrogeno, vacio, etc.

**Baño de metal fundido:** estado liquido previo de una soldadura, que posteriormente solidificara para formar la unión.

**Bisel:** tipo de preparación de borde en forma angular.

**Boquilla de pistola:** parte extrema de la pistola de soldar o cortar, por donde salen los gases.

**Cualificación del procedimiento:** conjunto de acciones tendentes a comprobar que las uniones soldadas, realizadas por un determinado procedimiento pueden cumplir unas normas específicas.





**Cualificación del soldador:** demostración de la habilidad de un soldador para realizar soldaduras cumpliendo normas establecidas.

**Cara de la soldadura:** superficie final de la soldadura por el lado en que fue realizada.

**Certificación de soldador:** testimonio por escrito de que un soldador ha demostrado su capacidad para soldar, cumpliendo normas establecidas.

**Ciclo térmico:** variaciones de la temperatura, entre límites determinados, a que se somete un producto en función del tiempo.

**Conjunto soldado:** grupo de piezas unidas mediante soldadura.

**Cordón de soldadura:** metal aportado en una pasada.

**Corriente de soldeo:** corriente eléctrica que circula por el circuito de soldeo durante la realización de una unión soldada. En el soldeo por resistencia no se incluye, en este concepto, la corriente utilizada durante los intervalos de pre y postsoldadura. En el soldeo automático por arco, se excluye la corriente utilizada durante el inicio, ascenso, descenso y rellenado de cráter.

**Corte oxiacetilénico:** proceso de corte para separar metales, mediante la reacción química entre el oxígeno y el metal base a temperaturas elevadas. La temperatura necesaria se mantiene mediante la llama resultante de la combustión del acetileno con el oxígeno.

**Corte por arco:** nombre genérico para procesos de corte, que funden los metales a cortar con el calor del arco eléctrico entre un electrodo y el metal base.

**Corte por arco-aire:** proceso de corte por arco, en el cual los metales son fundidos por el calor del arco eléctrico, que se establece entre el electrodo de un grafito y el metal a cortar. La parte fundida es expulsada por un chorro de aire.

**Corte por plasma:** proceso de corte por arco que separa el metal, mediante la fusión de una zona localizada por un arco restringido y expulsándose el metal fundido por la inyección a alta velocidad de un gas caliente e ionizado, que sale por el orificio de la tobera de corte.

**Corte térmico:** nombre genérico para procesos de corte, en los que se funde el metal o material al ser cortado.

**Cráter:** en el soldeo por arco, la depresión al final del cordón de soldadura o del baño de fusión.



**Defecto:** discontinuidad o discontinuidades que por si o por efecto acumulativo, pueden hacer que una pieza o producto no alcance las especificaciones o valores mínimos de aceptación.

**Dilución:** cantidad de metal base o/y de metal depositado previamente que se incorporan al baño de fusión, modificando, en su caso, la composición química del metal de aportación. Se expresa habitualmente en porcentajes, que representan la cantidad relativa del metal base o del metal depositado previamente que se incorpora al baño de fusión.

**Dimensión de la soldadura:** medidas del cordón de soldadura, especificadas en función del tipo de unión.

**Discontinuidad:** interrupción en la estructura de una soldadura, tal como: falta de homogeneidad mecánica, metalúrgica o características físicas del material base o de la propia soldadura. Una discontinuidad no tiene que ser necesariamente un defecto.

**Eje de una soldadura:** línea a lo largo de la soldadura, perpendicular y en el centro geométrico de su sección recta.

**Electrodo de grafito:** electrodo empleado en el soldeo o corte por arco, que no produce aporte. Consiste en una varilla de carbón o grafito, la cual esta revestida por cobre u otro material.

**Electrodo de soldadura:** componente del circuito de soldeo, a través del cual pasa la corriente al arco, a la escoria fundida o al metal base.

**Electrodo de wolframio:** electrodo empleado en el soldeo o corte por arco, que no produce aporte. Consiste en una varilla de metal fabricada con wolframio o aleaciones de este metal.

**Electrodo revestido:** varilla metálica recubierta de una capa exterior (recubrimiento), con componentes formadores de escoria en el metal aportado por soldadura. El recubrimiento tiene diversas funciones, tales como: protección de la atmosfera exterior, desoxidación, estabilización del arco, facilitar el soldeo en posiciones distintas a la horizontal y aportar elementos metálicos al cordón de soldadura.

**Electrodo tubular con relleno metálico:** electrodo metálico de aporte, de forma tubular, relleno de elementos de aleación, con eventual adición de pequeñas cantidades de fundentes y estabilizadores de arco. Puede precisar o no protección gaseosa.

**Electrodo tubular relleno de fundente:** electrodo metálico de aporte, de forma tubular, relleno de fundentes. Las funciones de este relleno son tales como: protección de la atmosfera exterior,



desoxidación del baño y estabilización del arco.

**Especificación del procedimiento de soldeo:** documento que facilita con detalle las variables requeridas para asegurar la repetitividad en una aplicación específica.

**Extremo libre del electrodo:** longitud del electrodo comprendida entre el extremo de contacto con la boquilla y la parte extrema que se funde en el arco, en el soldeo bajo atmosfera protectora o en el soldeo por arco sumergido.

**Factor de marcha:** relación entre el tiempo de paso de corriente y la duración total del ciclo de trabajo de una maquina.

**Falta de fusión:** discontinuidad debida a que no ha llegado a fundir la superficie, del metal base o de los cordones precedentes, sobre la que se deposita el cordón.

**Falta de penetración en la unión:** penetración inferior a la específica en una unión.

**Fundente:** producto que se puede añadir durante el proceso de soldeo con la finalidad de proteger, limpiar, alear o modificar las características de mojado de las superficies.

**Galga de soldadura:** dispositivo diseñado para verificar la dimensión y forma de las soldaduras.

**Garganta efectiva:** altura del triangulo inscrito en la sección del cordón de una soldadura en ángulo.

**Garganta real:** distancia mínima entre el fondo de la raíz de una soldadura de rincón y su cara.

**Garganta teórica:** distancia mínima entre el origen de la raíz de la unión y la hipotenusa del mayor triangulo que pueda inscribirse dentro de la sección transversal de la soldadura de rincón.

**Gas de protección:** gas utilizado para prevenir la contaminación de la soldadura por la atmosfera.

**Grieta:** discontinuidad plana de factura, caracterizada por un extremo afilado y una relación alta entre longitud y anchura. Este tipo de defecto puede presentarse en el metal base, en el metal de soldadura o en la zona afectada y aflorar o no a la superficie.

**Inclusión de escoria:** material solido, no metálico, atrapado en el metal de soldadura o entre el metal de soldadura y el metal base.



**Inserto consumible:** metal de aportación, colocado antes de soldar, que se funde completamente en la raíz de la unión, convirtiéndose en parte de la misma.

**Metal base:** material que va a ser sometido a cualquier operación de soldeo, corte, etc.

**Metal de aportación:** material que se aporta en cualquier operación o proceso de soldeo.

**Metal de soldadura:** zona de la unión fundida durante el soldeo.

**Metal depositado:** metal de aportación que ha sido añadido durante la operación de soldeo.

**Mordedura:** falta de metal en forma de hendidura, de extensión variable, situada a lo largo de los bordes de la soldadura.

**Número de ferrita:** valor que se utiliza para designar el contenido de ferrita delta en la zona de soldadura de un acero austenítico. Puede utilizarse para indicar el tanto por ciento de ferrita delta tanto en peso como en volumen.

**Oxicorte:** nombre genérico para procesos de corte, utilizados para separar o eliminar metales por medio de la reacción química del oxígeno con el metal base a temperaturas elevadas. En el caso de metales resistentes a la oxidación, la reacción viene facilitada por el empleo de un fundente o polvo metálico.

**Pasada:** cada una de las capas que se depositan para realizar una unión soldada con electrodo, soplete, pistola, haz de energía, etc.

**Pistola:** útil empleado en el soldeo para transferir la energía y eventualmente los gases de protección en los diferentes procedimientos de soldeo.

**Plaqueado:** revestimiento de una superficie para obtener propiedades diferentes de las del sustrato. Véase untado, recargue y recrecimiento.

**Plasma:** gas que ha sido calentado hasta alcanzar, como mínimo, un grado de ionización parcial, que le permite conducir una corriente eléctrica.

**Porosidad:** cavidades formadas por una retención de gas durante la solidificación.

**Post-calentamiento:** aplicación de calor después de la operación de soldeo, proyección térmica o corte, con finalidad de eliminar tensiones o variar las estructuras metalográficas.



**Pre calentamiento:** aplicación de calor al metal base inmediatamente antes de la operación de soldeo, proyección térmica o corte, para conseguir la temperatura óptima de trabajo.

**Preparación de la unión:** operación que consiste en preparar los bordes y disponerlos según el perfil que se va a dar a la unión.

**Procedimiento cualificado:** aquel que está aceptado en base a cumplir unos determinados requisitos.

**Procedimiento de soldeo:** métodos y prácticas detallados involucrados en la realización de un conjunto soldado. Véase especificación del procedimiento de soldeo.

**Proyección térmica:** nombre genérico para procesos de soldeo o similares, en los que materiales metálicos o no metálicos, finamente divididos, se depositan en condición fundida o semifundida para formar un recubrimiento. El material del recubrimiento puede estar en forma de polvo, varilla o alambre.

**Proyecciones:** partículas metálicas, en forma de perlas, expulsadas durante el soldeo por fusión y que no forman parte del metal de soldadura.

**Pulsación:** periodo de tiempo durante el que actúa la corriente, de cualquier polaridad, a través del circuito de soldeo.

**Raíz de soldadura:** son los puntos, en una sección transversal, resultantes de la intersección de la parte posterior de la soldadura con las superficies del metal base.

**Raíz de la unión:** zona de la unión a soldar en las que las piezas a unir están más próximas. En una sección transversal, la raíz de la junta puede ser un punto, una línea o un área.

**Recargue:** deposición de un material de aportación sobre un metal base (substrato) para obtener las dimensiones o propiedades deseadas. Aplicación por soldeo, soldeo fuerte o proyección térmica de una capa de material a una superficie, para obtener las propiedades o dimensiones deseadas.

**Recocido:** tratamiento térmico que implica un calentamiento y un mantenimiento a una temperatura apropiada, seguido de un enfriamiento hecho en condiciones tales que el metal después de enfriado a la temperatura ambiente presenta un estado estructural próximo al estado de equilibrio.



**Recrecimiento:** variante de recargue en el que el material se deposita para conseguir las dimensiones requeridas.

**Registro del procedimiento de soldeo:** documento que especifica las variables de soldeo para producir una unión de ensayo aceptable, y de los resultados de los ensayos efectuados sobre esa unión para cualificar el procedimiento de soldeo.

**Revenido:** tratamiento térmico al que se somete un material metálico después del temple para buscar un cierto estado de equilibrio y conseguir las propiedades requeridas.

**Secuencias de soldeo:** orden de ejecución de las uniones o de los cordones en un conjunto soldado.

**Soldabilidad:** capacidad de un material para ser soldado bajo las condiciones de fabricación impuestas a una determinada estructura diseñada adecuadamente y para funcionar satisfactoriamente en las condiciones de servicio previstas.

**Soldador:** persona que realiza el soldeo. Térmico genérico utilizado tanto para los soldadores manuales como para los operadores de soldeo.

**Soldadura:** efecto de aplicar un proceso de soldeo. Coalescencia localizada de metales o no metales, producida por calentamiento de los materiales a temperaturas adecuadas, con o sin la aplicación de presión, o por la aplicación de presión únicamente, y con o sin el empleo de material de aportación.

**Soldadura autógena:** unión efectuada por fusión y sin aporte de material. También es un término, normalmente mal utilizado, para referirse a las soldaduras fuertes, blandas y soldaduras realizadas con soplete.

**Soldadura en ángulo:** soldadura para unir superficies que formen entre ellas un ángulo recto, aproximadamente, cuya sección transversal es sensiblemente triangular, y que se puede realizar en uniones a solape, en T, o en esquina.

**Soldadura fuerte:** soldadura realizada por calentamiento a temperatura adecuada de las partes a unir y utilizando un metal de aportación que funde a una temperatura por encima de 450°C e inferior a la temperatura de fusión del metal base. Las superficies de las piezas a unir deben estar muy próximas entre sí, para que el metal de aportación difunda por capilaridad entre ellas.



**Soldadura provisional:** soldadura efectuada para sujetar una o varias piezas, de forma temporal, a un conjunto soldado para su manipulación o envío a obra.

**Soldeo:** acción de realizar una soldadura. Proceso de unión que origina la coalescencia de materiales calentándolos a temperatura adecuada, con o sin la aplicación de presión, o por la aplicación de presión únicamente, y con o sin material de aportación.

**Soldeo automático:** proceso de unión en el que el operario se limita a fijar los parámetros iniciales de soldeo y al seguimiento de la operación.

**Soldeo blando:** grupo de procesos de unión, que origina la coalescencia de materiales calentándolos a la temperatura adecuada de las partes a unir y utilizando un metal de aportación, que funde a una temperatura inferior a 450°C, e inferior también a la temperatura de fusión del material base. Las superficies de las piezas a unir deben estar muy próximas entre sí, para que el metal de aportación difunda por capilaridad entre ellas.

**Soldeo con CO<sub>2</sub>:** variante del proceso de soldeo con gas, que emplea el CO<sub>2</sub> como gas protector.

**Soldeo por rayo láser:** proceso de soldeo que produce una coalescencia de los materiales con el calor obtenido por la aplicación de una radiación láser, que incide sobre la unión.

**Soldeo en estado sólido:** grupo de procesos de soldeo que producen la coalescencia mediante la aplicación de presión a una temperatura inferior a las de fusión de los materiales base y de aportación.

**Soldeo en frío:** proceso de soldeo en estado sólido en el que se emplea presión para producir una unión a temperatura ambiente con una deformación de mayor o menor grado en la soldadura. Véase soldeo por forja o soldeo por difusión.

**Soldeo hacia adelante:** técnica de soldeo, en la cual el electrodo o la pistola se dirige en el mismo sentido que el avance de la soldadura.

**Soldeo hacia atrás:** técnica de soldeo en la cual el electrodo o pistola se dirige en sentido contrario al de avance de la soldadura.

**Soldeo MIG:** término habitualmente utilizado para el soldeo semiautomático con gas inerte.

**Soldeo oxiacetilénico:** proceso de soldeo oxi-gás que utiliza el acetileno como gas combustible. Este proceso se utiliza sin presión y con o sin metal de aportación.



**Soldeo oxi-gás:** grupo de procesos de soldeo en el que la coalescencia de los materiales a unir se produce por calentamiento de una llama oxigás. Los procesos se utilizan con o sin aplicación de presión y con o sin metal de aportación.

**Soldeo por arco:** grupo de procesos de soldeo que producen la coalescencia de las piezas, mediante el calentamiento con un arco eléctrico. Estos procesos se utilizan con o sin aplicación de presión y con o sin metal de aportación.

**Soldeo con arco con electrodo de wolframio:** procesos de soldeo por arco eléctrico, en los que el arco se establece entre un electrodo de wolframio, no consumible, y el baño de fusión. Este proceso se utiliza con protección de gas y sin aplicación de presión y con o sin metal de aportación.

**Soldeo por arco con electrodo revestido:** proceso de soldeo por arco eléctrico, en el que el arco se establece entre el electrodo revestido y el baño de fusión. Este proceso se utiliza con la protección producida por la descomposición del revestimiento del electrodo, sin aplicación de presión y con la adición de metal de aportación desde el electrodo.

**Soldeo por arco con gas:** procesos de soldeo con arco eléctrico, en los que el arco se establece entre un metal de aporte continuo consumible y el baño de fusión. Estos procesos se utilizan con la protección procedente de una fuente de gas externa y sin aplicación de presión.

**Soldeo por arco con alambre caliente:** variante del proceso de soldeo por fusión, en la que el alambre/electrodo se calienta por resistencia, mediante el paso de una corriente, mientras se aporta al baño de fusión.

**Soldeo por arco con alambre tubular:** proceso de soldeo por arco eléctrico, en el que el arco se establece entre un alambre/electrodo tubular continuo, consumible, y el baño de fusión. Este proceso se utiliza con la protección gaseosa producida por la descomposición del fundente contenido en el interior del electrodo tubular, con o sin protección adicional de una fuente externa de gas y sin la aplicación de presión.

**Soldeo por arco con protección gaseosa:** nombre genérico para designar los procesos de soldeo por electrogás, soldeo por arco con alambre tubular, soldeo por arco con gas, soldeo con arco con electrodo de tungsteno y soldeo por arco plasma.

**Soldeo por arco plasma:** proceso de soldeo por arco eléctrico que utiliza un arco constreñido entre un electrodo no consumible y el baño de fusión (arco transferido), o entre el electrodo y la boquilla constrictora (arco no transferido). La protección de gas ionizado, suministrado por la pistola, puede complementarse por una fuente auxiliar de gas protector. El proceso se utiliza sin





aplicación de presión y con o sin metal de aportación.

**Soldeo por arco pulsado:** variante del proceso de soldeo por arco, donde la intensidad de corriente se programa por pulsos periódicos, de forma que pueden utilizarse grandes impulsos de corta duración.

**Soldeo por arco sumergido:** proceso de soldeo por arco que utiliza uno o más arcos eléctricos entre uno o varios electrodos desnudos y el baño fundido. El arco y el baño fundido se protegen con una capa de fundente granular depositado sobre las piezas. El proceso se utiliza sin aplicación de presión y con adición de metal de aporte, procedente del electrodo y a veces de otras fuentes como varillas, fundente o gránulos metálicos.

**Soldeo por difusión:** proceso de soldeo en estado sólido que produce la unión mediante la aplicación de presión a temperatura elevada sin deformación aparente o desplazamiento relativo de las piezas. Puede efectuarse intercalando un metal de aporte entre las superficies a unir.

**Soldeo por electroescoria:** proceso de soldeo por fusión, que produce coalescencia de los metales con la fusión de una escoria, que a su vez el metal de aportación y las superficies a unir. El baño de fusión, que avanza de abajo hacia arriba, está protegido por esta escoria. El proceso se inicia por un arco que calienta la escoria. Cuando se extingue el arco, la escoria semifundida permite el paso de la corriente de soldeo.

**Soldeo por electrogás:** proceso de soldeo por arco, que se establece entre un electrodo de aportación continua y el baño fundido. La soldadura se realiza en vertical ascendente, utilizando unos soportes para la retención del baño. El proceso se realiza con o sin gas de protección y sin aplicación de presión.

**Soldeo por haz de electrones:** proceso de soldeo por fusión, en el que la energía para producir la coalescencia de los metales procede de un haz concentrado de electrones a alta velocidad que incide sobre la unión. Este proceso se puede usar con o sin gas de protección y sin aplicación de presión.

**Soldeo por resistencia:** grupo de procesos de soldeo que producen una fusión en la intercara de las piezas a unir, mediante el calor que se produce por el paso de la corriente de soldeo a través de las superficies de contacto y la aplicación de presión durante el proceso.

**Soldeo semiautomático por arco:** proceso de unión por arco en el que uno o más parámetros se controlan automáticamente. El avance del soldeo se controla manualmente. Término generalmente usado para el MIG, MAG Y CO<sub>2</sub>.



**Soldeo TIG:** término no normalizado para el soldeo por arco con electrodo de wolframio y gas inerte.

**Soplete:** instrumento que permite dirigir una llama de la forma, potencia y propiedades requeridas, a partir de la combustión de un gas.

**Soplete de corte:** dispositivo empleado para orientar la llama de precalentamiento producida por una combustión controlada de gases para dirigir y controlar el corte por oxígeno.

**Soplo magnético del arco:** desviación no deseable de la trayectoria del arco, provocada por fuerzas electromagnéticas.

**Temperatura de precalentamiento:** temperatura que debe alcanzar el metal base inmediatamente antes que se inicie cualquier proceso de soldeo. En procedimientos de pasadas múltiples, es la temperatura que debe alcanzarse antes de depositar los siguientes cordones.

**Temperatura entre pasadas:** en el caso de soldeo con pasadas múltiples, es la temperatura a la que debe estar el área que se va a soldar antes de realizar la siguiente pasada.

**Tensión de vacío:** diferencia de potencial entre los terminales de salida de una fuente de energía eléctrica, cuando no circula la corriente.

**TIG pulsado:** término utilizado habitualmente para designar el proceso de soldeo por arco pulsado con electrodo de wolframio y gas inerte.

**Toma de tierra:** conexión eléctrica de la carcasa de la máquina de soldeo a tierra para seguridad.

**Transferencia globular:** soldeo por arco con gas. Transferencia del metal en la cual el metal fundido, procedente de un electrodo consumible, se deposita sobre la pieza en forma de gotas gruesas.

**Transferencia por cortocircuito:** soldeo por arco con gas. Transferencia del metal en la cual el metal fundido, procedente de un electrodo consumible, se deposita sobre la pieza por cortocircuitos.

**Transferencia por pulverización:** soldeo por arco con gas. Transferencia del metal en la cual el metal fundido, procedente de un electrodo consumible, es dirigido axialmente a través del arco y sobre la pieza en forma de gotas finas.



**Tratamiento térmico:** operación, o sucesión de operaciones, mediante la cual un producto en estado sólido se somete, parcialmente o en su totalidad, a uno o varios ciclos térmicos para obtener un cambio de sus propiedades o de su estructura.

**Unión:** espacio, a rellenar de metal aportado, entre dos piezas cuyos bordes han sido preparados convenientemente para tal fin. Por extensión: el resultado de la operación de soldeo.

**Unión a tope:** conjunto soldado en el que las piezas están alineadas aproximadamente en el mismo plano.

**Unión de solape:** soldadura entre dos piezas que están superpuestas en planos paralelos.

**Unión en T:** soldadura entre dos piezas, en el que el borde de una es aproximadamente perpendicular a la superficie de la otra, en las proximidades de la unión.

**Unión soldada en ángulo:** soldadura entre dos superficies que forman un ángulo, en una unión a solape, en forma de T o en ángulo, y de sección transversal aproximadamente triangular.

**Zona afectada térmicamente:** porción del metal base que no ha fundido, pero cuya microestructura o propiedades mecánicas han sido alteradas por el calor generado durante el proceso de soldeo o corte.

**Zona de fusión:** área del metal base fundido, determinada sobre la sección transversal de una soldadura.



### 3. SIMBOLOGIA DE LA SOLDADURA

En muchos diseños mecánicos se requiere la soldadura de piezas y partes, y esta información debe estar reflejada en los planos mecánicos y para ello se recurre a la simbología, la cual está perfectamente definida en las normas industriales. En esta pequeña exposición se hará referencia a la norma American AWS A 2.4, que es la más utilizada, la cual contempla los símbolos o ideogramas para definir a la soldadura, además de dictar las pautas para su representación en los planos mecánicos y de construcción.

Toda la información que puede contener el símbolo de la soldadura queda esquematizada en la figura siguiente:

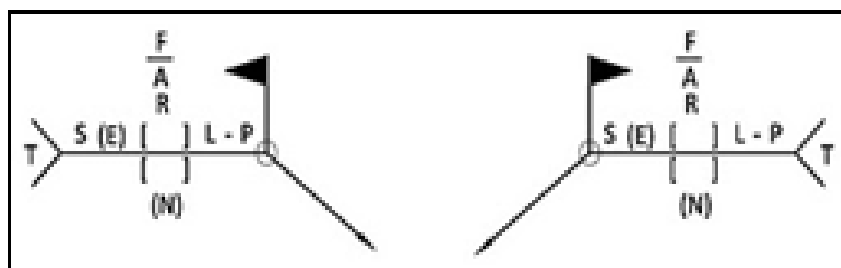


Figura 3.1. Esquema de la información que puede contener el símbolo de una soldadura.

S= Profundidad del bisel o garganta.

(E)= Profundidad de la soldadura.

[ ]= Espacio para el símbolo del tipo de unión.

F= Símbolo del acabado (maquinado, martillado, etc).

—= Símbolo para el contorno de la soldadura.

A= Ángulo del bisel o de la V.

R= Separación entre las piezas a soldar, separación en la raíz.

(N) =Número de puntos de soldadura.

L= Longitud del cordón de soldadura.

P= Separación o paso entre cordones.

T = Proceso de soldadura, electrodo, tolerancias, etc. (Opcional).

La estructura base del símbolo para definir el tipo de unión soldada, es la señalización, la cual está conformada por una línea horizontal unida a una flecha inclinada. La línea horizontal se le conoce como línea de referencia y la flecha apunta o indica la junta soldada. A nivel de la línea de referencia se coloca la información sobre la soldadura junto con el símbolo de la unión soldada. En muchos casos la línea que contiene a la flecha puede ser quebrada o múltiple si por razones del dibujo o plano es necesario.

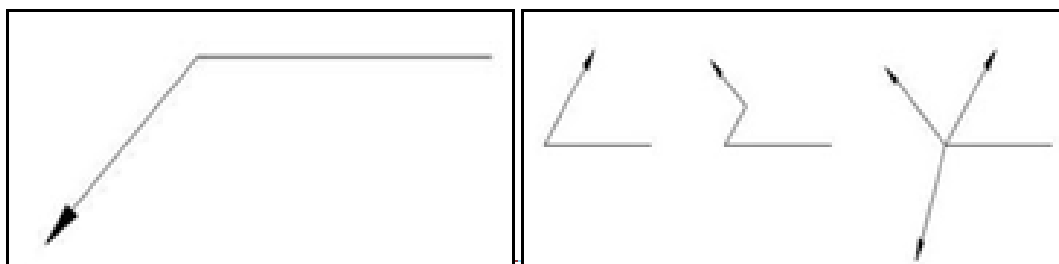


Figura 3.2. Distintas líneas de referencia.

A partir de las líneas de referencia, se va añadiendo toda la información necesaria para realizar la soldadura. La información que se escribe debajo de la línea de referencia corresponde a la soldadura que se realizará en la junta del lado que indica la flecha. Si la información se encuentra sobre la línea de referencia, la soldadura se realizará en el lado opuesto al indicado por la flecha.



Figura 3.3. Indicación del lado a realizar la soldadura.

Si la soldadura ha de realizarse en la obra o en el campo, al símbolo se le coloca un banderín relleno en el punto en donde se une la flecha con la línea de referencia.

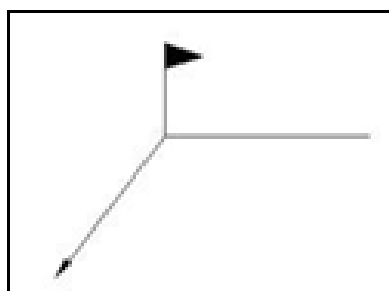


Figura 3.4. Indicación de soldadura realizada en la obra o en el campo.

Cuando la soldadura es continua alrededor de toda la unión, al símbolo se le coloca un pequeño círculo cuyo centro está en la unión de la línea de referencia y la flecha.

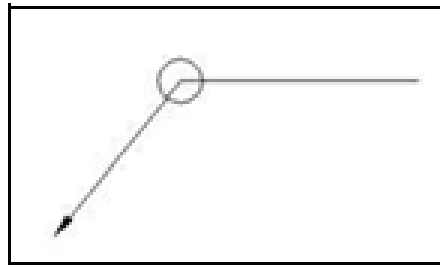


Figura 3.5. Indicación de soldadura continua alrededor de la unión.

Si es necesario colocar información adicional como el tipo de procedimiento, de proceso requerido, electrodo, tolerancias o cualquier otra información que ayude a entender la ejecución de la soldadura, la misma se coloca en la cola del símbolo.

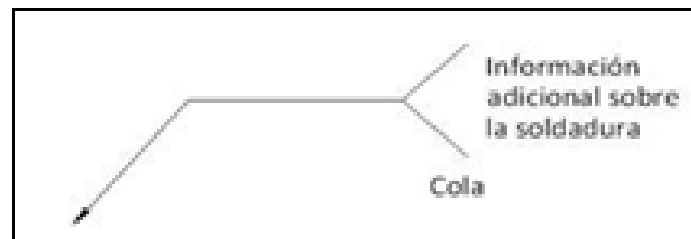


Figura 3.6. Información adicional.

Para definir el tipo de junta o unión soldada (soldadura a tope, en V, etc.) la norma contempla los símbolos adecuados para su representación. La tabla siguiente muestra los símbolos más comunes.



TIPO DE JUNTA	SÍMBOLO	POSICIÓN EN LA LÍNEA DE REFERENCIA
DE FILETE		POR ARRIBA DE LA LÍNEA DE REFERENCIA
		POR DEBAJO DE LA LÍNEA DE REFERENCIA
A TOPE		POR ARRIBA DE LA LÍNEA DE REFERENCIA
		POR DEBAJO DE LA LÍNEA DE REFERENCIA
EN V		POR ARRIBA DE LA LÍNEA DE REFERENCIA
		POR DEBAJO DE LA LÍNEA DE REFERENCIA
EN BISEL		POR ARRIBA DE LA LÍNEA DE REFERENCIA
		POR DEBAJO DE LA LÍNEA DE REFERENCIA
EN U		POR ARRIBA DE LA LÍNEA DE REFERENCIA
		POR DEBAJO DE LA LÍNEA DE REFERENCIA
EN J		POR ARRIBA DE LA LÍNEA DE REFERENCIA
		POR DEBAJO DE LA LÍNEA DE REFERENCIA
EN V CURVA		POR ARRIBA DE LA LÍNEA DE REFERENCIA
		POR DEBAJO DE LA LÍNEA DE REFERENCIA
EN BISEL CURVO		POR ARRIBA DE LA LÍNEA DE REFERENCIA
		POR DEBAJO DE LA LÍNEA DE REFERENCIA

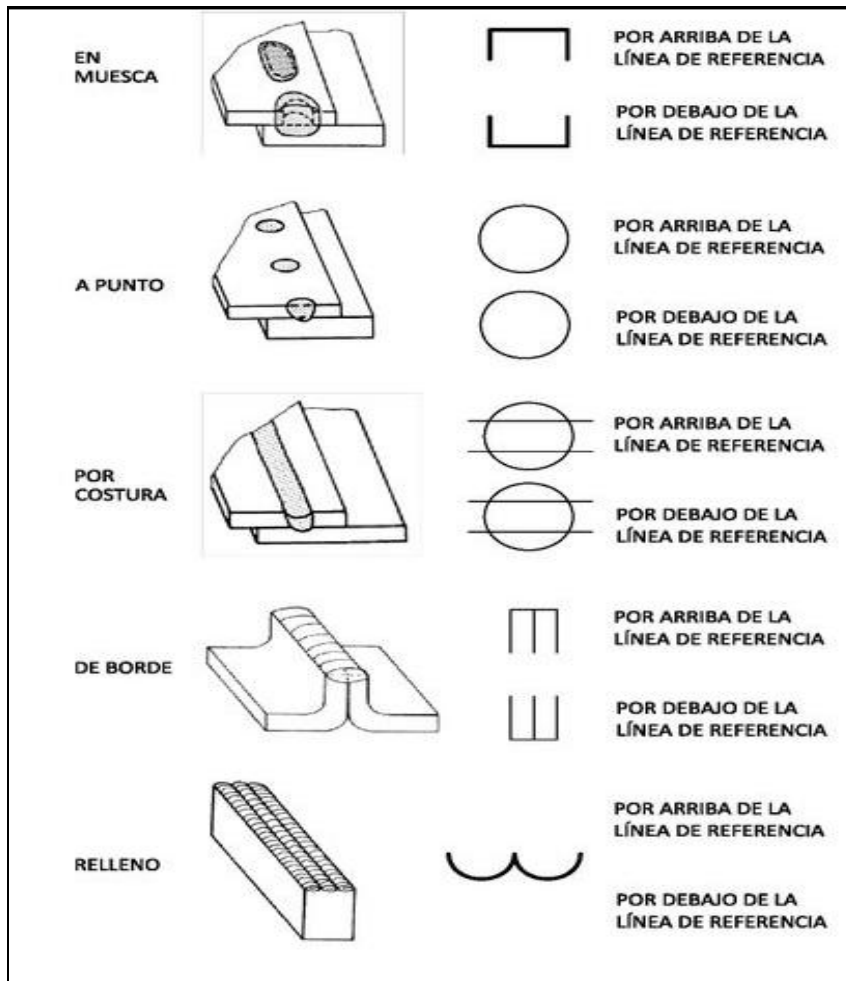


Figura 3.7. Indicación del tipo de junta.

Si la soldadura es simétrica, se coloca el mismo símbolo que representa a la unión soldada tanto arriba como debajo de la línea de referencia, si es asimétrica, se coloca un símbolo distinto a cada lado de la línea de referencia. Los símbolos pueden superponerse si la junta soldada requiere más de un tipo de soldadura.

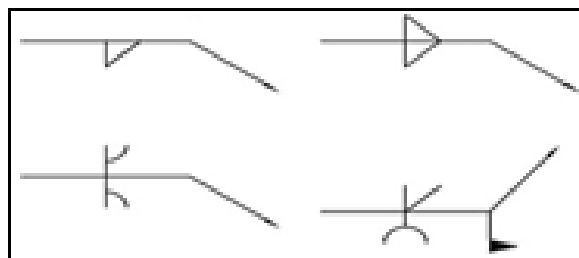


Figura 3.8. Indicación de simetría asimetría de la soldadura.





Para indicar el contorno de la soldadura, los símbolos normalizados según la AWS son:



Figura 3.9. Indicación del contorno de la soldadura.

Para especificar el acabado o remate de la soldadura se emplea una letra, que en la norma original son:

C= Burilado, cincelado.

G= Pulido, esmerilado.

H= Martillado.

M= Maquinado.

R = Laminado.

Toda esta información es de gran importancia, ya que en todos los procedimientos de diseño debe estar reflejada la información referente a la soldadura en los planos, y el soldador debe estar capacitado para su correcta comprensión.



## 4. CLASIFICACIÓN DE LOS PROCESOS DE SOLDADURA

Hacer una clasificación sistemática de todos los procesos de soldeo no resulta nada fácil, debido a que actualmente pasan del centenar y además son varios los criterios bajo los cuales pueden ser ordenados.

Algunos de estos criterios son:

- I. Por tipos de fuente de energía: arco eléctrico, corriente eléctrica, efecto joule, energía mecánica, energía química, energía radiante, etc.
- II. Por los procesos físicos de unión: fusión, en estado sólido, interacción solido-liquido.
- III. Por los medios de protección: fundentes, gases inertes, gases activos, vacío.

Además hay que tener en cuenta que ningún criterio es totalmente definitivo, ya que son muchos los procesos en que se superponen dos o más de estos parámetros.

### 4.1 Clasificación EN ISO 4063

La norma internacional EN ISO 4063 identifica a cada proceso con un número de referencia. Cubre los principales grupos de procesos (un dígito), grupos (dos dígitos) y subgrupos (tres dígitos). El número de referencia de cualquier proceso consta de tres dígitos como máximo. Este sistema intenta ser una ayuda para la información, planos, documentos de trabajo, especificaciones de procedimiento de soldeo, etc.

A continuación se indican los números de referencia y las designaciones de los procesos más utilizados.



Nº Referencia	Designación	Nº Referencia	Designación
1	Soldeo por arco	4	Soldeo por presión
11	Soldeo por arco sin protección gaseosa y electrodo de aporte	41	Soldeo por ultrasonidos
111	Soldeo por arco con electrodo revestido	42	Soldeo por fricción
112	Soldeo por gravedad con electrodo revestido	44	Soldeo por alta energía mecánica
114	Soldeo por arco con alambre tubular autoprotegido	441	Soldeo por explosión
12	Soldeo por arco sumergido	45	Soldeo por difusión
121	Soldeo por arco sumergido con un alambre electrodo	48	Soldeo por presión en frío
122	Soldeo por arco sumergido con banda electrodo	5	Soldeo por haz de alta energía
124	Soldeo por arco sumergido con adición de polvo metálico	51	Soldeo por haz de electrones
125	Soldeo por arco sumergido con alambre tubular	511	Soldeo por haz de electrones en vacío
13	Soldeo por arco protegido con gas y electrodo de aporte	512	Soldeo por haz de electrones sin vacío
131	Soldeo por arco con gas inerte; soldeo MIG	52	Soldeo láser
135	Soldeo por arco con gas activo; soldeo MAG	521	Soldeo láser de estado sólido
136	Soldeo por arco con alambre tubular y protección de gas activo	522	Soldeo láser de gas
137	Soldeo por arco con alambre tubular y protección de gas inerte	7	Otros procesos de soldeo
14	Soldeo con protección gaseosa y electrodo no consumible	71	Soldeo aluminotérmico
141	Soldeo por arco con gas inerte y electrodo de wolframio; soldeo TIG	72	Soldeo por electroescoria
15	Soldeo por arco plasma	73	Soldeo por electrogás
151	Soldeo MIG por arco plasma	74	Soldeo por inducción
152	Soldeo por arco plasma con polvo	77	Soldeo por percusión
2	Soldeo por resistencia	78	Soldeo de espárragos
21	Soldeo por puntos	782	Soldeo de espárragos por resistencia
22	Soldeo por costura	783	Soldeo de espárragos por arco inducido con férula cerámica o gas de protección
221	Soldeo por costura a solape	784	Soldeo de espárragos por arco inducido de ciclo corto
23	Soldeo por proyecciones	785	Soldeo de espárragos por arco inducido con descarga de condensadores
24	Soldeo por chisporroteo	786	Soldeo de espárragos con descarga de condensadores con ignición de la boquilla
25	Soldeo a tope por resistencia	787	Soldeo de espárragos por arco inducido con collarín fusible
3	Soldeo por llama	788	Soldeo de espárragos por fricción
31	Soldeo oxigás	8	Corte y resanado
311	Soldeo oxiacetilénico	81	Corte con llama
312	Soldeo oxipropano	82	Corte por arco
313	Soldeo oxhídrico	821	Corte por arco aire
		83	Corte con plasma
		84	Corte con láser
		86	Resanado con llama
		87	Resanado con arco
		871	Resanado con arco aire
		88	Resanado con plasma

Figura 4.1. Clasificación de los procesos de soldadura EN ISO 4063.



Nº Referencia	Designación	Nº Referencia	Designación
9	Soldeo fuerte, soldeo blando y cobresoldeo	943	Soldeo blando en horno
91	Soldeo fuerte	944	Soldeo blando por inmersión
911	Soldeo fuerte con infrarrojos	945	Soldeo blando en baño de sales
912	Soldeo fuerte por llama	946	Soldeo blando por inducción
913	Soldeo fuerte en horno	947	Soldeo blando por ultrasonidos
914	Soldeo fuerte por inmersión	948	Soldeo blando por resistencia
915	Soldeo fuerte en baño de sales	949	Soldeo blando por difusión
916	Soldeo fuerte por inducción	951	Soldeo blando por ola
918	Soldeo fuerte por resistencia	952	Soldeo blando con soldador (herramienta soldadora)
919	Soldeo fuerte por difusión	954	Soldeo blando en vacío
924	Soldeo fuerte en vacío	97	Cobresoldeo
94	Soldeo blando	971	Cobresoldeo con gas
941	Soldeo blando por infrarrojos	972	Cobresoldeo con arco
942	Soldeo blando por llama		

Figura 4.2. Clasificación de los procesos de soldadura EN ISO 4063.

### 4.2 Clasificación AWS

Esta clasificación se realiza en etapas consecutivas utilizando en cada una de ellas diferentes factores definitorios. En primer lugar, se clasifican los procesos atendiendo al tipo de interacción entre las dos partes del metal base y el metal de aportación. Las siguientes etapas clasificatorias se llevan a cabo progresivamente en función del tipo de energía, fuente de energía, con o sin refuerzo mecánico y tipo de protección.

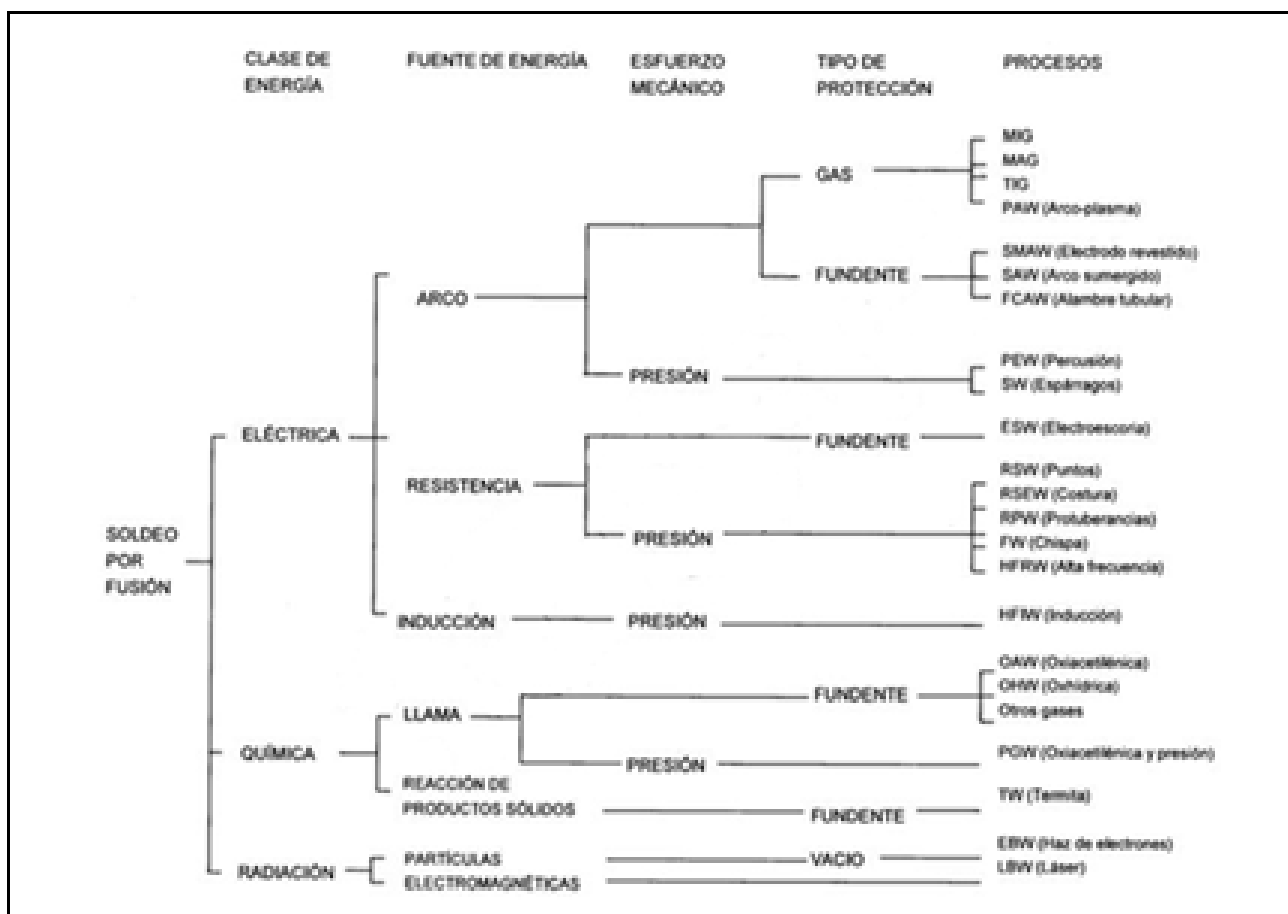


Figura 4.3. Clasificación de procesos de soldeo por fusión

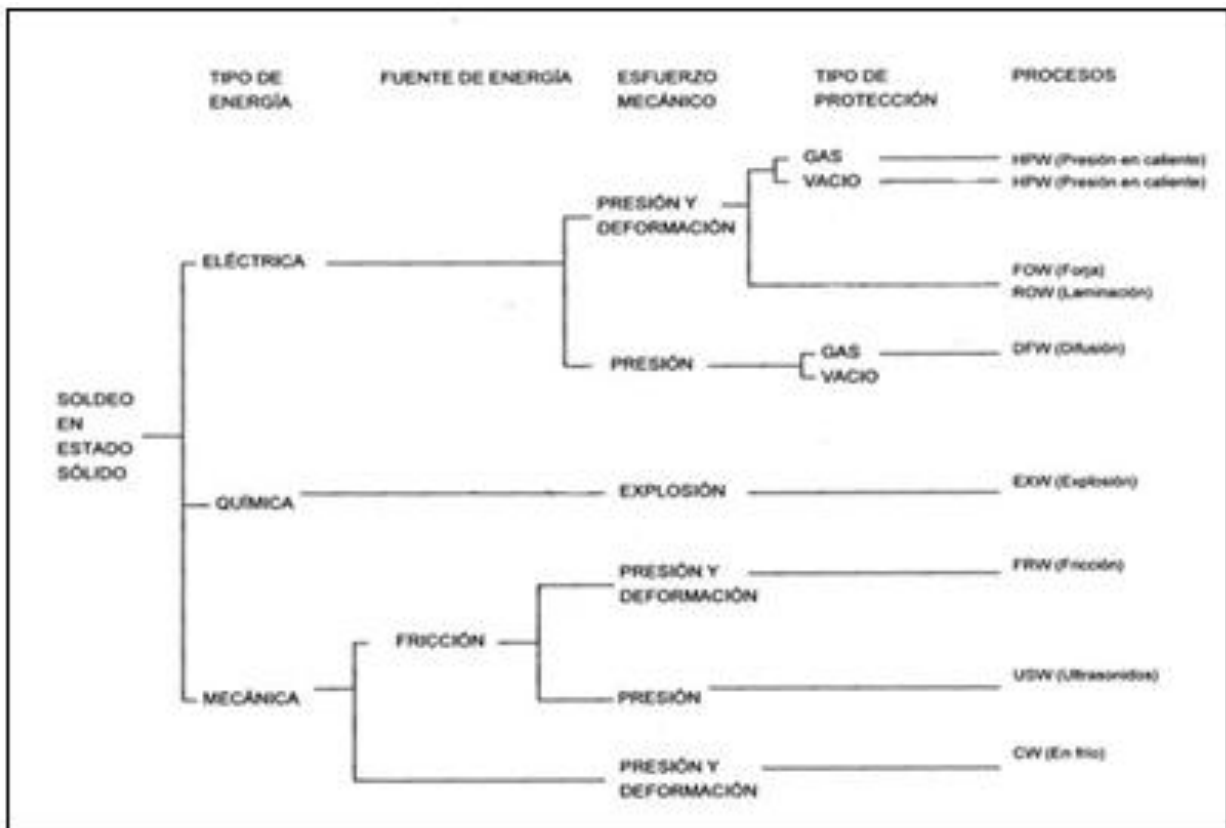


Figura 4.4. Clasificación de procesos de soldeo en estado sólido.

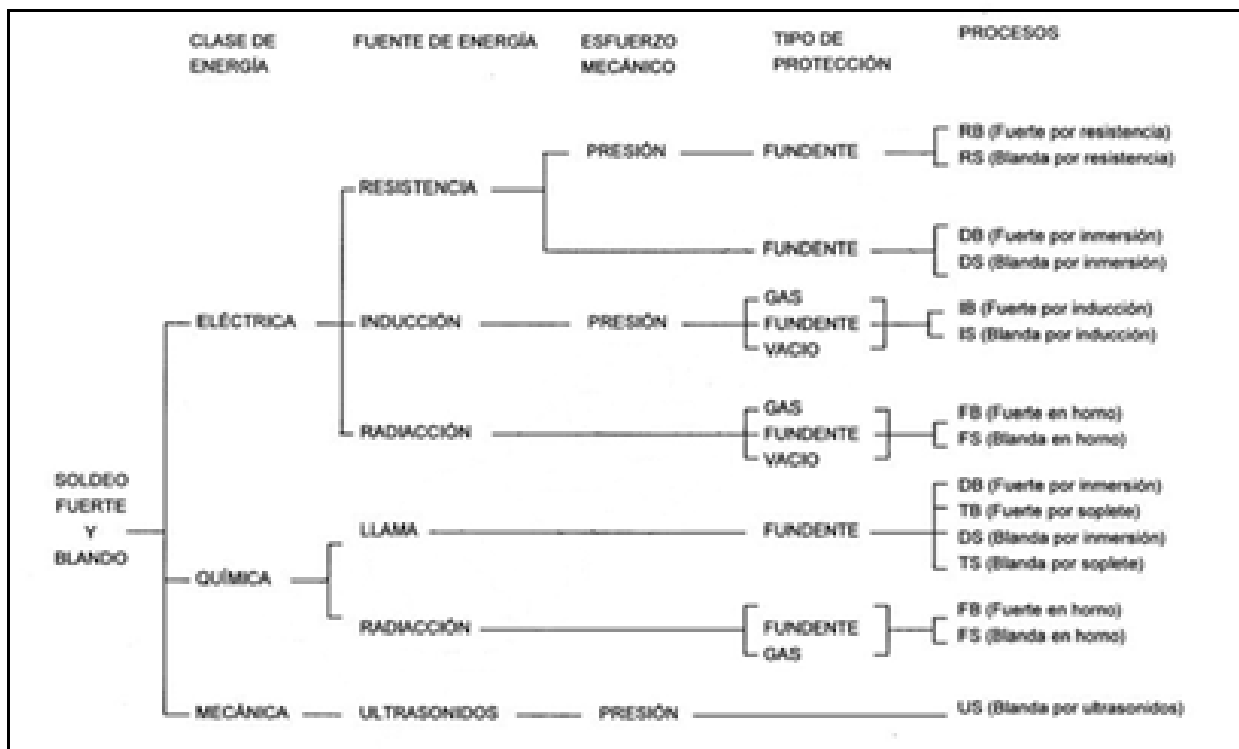


Figura 4.5. Clasificación de procesos de soldeo blando y fuerte



## **5. PAUTAS PARA ELECCION SISTEMATICA DE UN PROCESO DE SOLDEO**

Hoy en día existe una gran cantidad de técnicas de unión y el problema no es como llevar a cabo las uniones, sino seleccionar la más adecuada para cada tipo de trabajo. Cada proceso tiene sus propios atributos y deben ser valorados diferentes aspectos como la resistencia, facilidad de fabricación, coste, resistencia a la corrosión y aspecto, antes de tomar la decisión final en función de las aplicaciones específicas de cada producto.

La selección de un proceso de soldeo requiere un conocimiento previo de todos ellos y de sus 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 coste. La elección deberá llevarse a cabo teniendo en cuenta las siguientes consideraciones:

- I. El material o materiales a unir y su soldabilidad.
- II. Tamaño y complejidad de la soldadura.
- III. Aplicaciones.
- IV. Lugar de fabricación.
- V. Estimación de costes.
- VI. Capacitación de los soldadores.

### **5.1. Material base**

La naturaleza, estado de tratamiento y forma de los materiales que van a ser soldados condicionan la elección del proceso, ya que en función de sus características y de aquellos efectos metalúrgicos y mecánicos que puedan llegar a generar, podrían modificar las propiedades físicas y mecánicas del material y su composición química.

### **5.2. 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 va a llevar a cabo la ejecución de la soldadura, la longitud del cordón y la preparación de los bordes de unión.

La unión de piezas de espesores elevados aconseja la utilización de procesos con alto aporte de energía y gran penetración, como el soldeo por arco sumergido. En cambio, para la unión de



espesores finos deben emplearse procesos con un aporte de energía bajo y fácilmente regulable, como el soldeo TIG.

La posición de la soldadura afecta severamente a la elección del proceso, ya que muchos procesos la ejecución de la soldadura está limitada a una serie de posiciones.

### **5.3. Lugar de fabricación**

No todos los procesos de soldeo tienen la misma versatilidad, ya que algunos pueden ser empleados en casi todos los lugares y medios ambientes, mientras el uso de otros está limitado por las instalaciones que requieren y equipos complejos.

La selección para una localización determinada viene condicionada por factores como el medio ambiente, la movilidad del equipo, disponibilidad de energía eléctrica, agua, aire, gases, etc.

Como ejemplo, el soldeo por arco con electrodo revestido es el más simple y versátil de todos los procesos, ya que el equipo necesario se reduce a una fuente de energía eléctrica, los cables y la pinza.

### **5.4. Estimación de costes**

En el uso industrial, cada proceso tiene un área de aplicación donde ofrece ventajas económicas, pero las áreas son amplias y presentan solapamientos con otros procesos, por ello es importante la elección adecuada para cada aplicación a fin de obtener el mínimo coste.

A la hora de evaluar el coste total, se tienen en cuenta factores como la mano de obra, materiales consumibles, coste del equipo, velocidades de deposición, tiempo real de soldeo, calidad de la soldadura, etc.

### **5.5. Aplicaciones**

La elección del proceso de soldeo depende, en gran medida, del trabajo a realizar. Por ejemplo, para la construcción de estructuras, edificios y puentes, suelen utilizarse generalmente los procesos con electrodo revestido, arco sumergido y con gas.

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 del petróleo, petroquímica, química y producción de energía, la elección del proceso viene delimitada por el diseño, costes y normas que rigen la fabricación.

En la construcción naval el proceso más utilizado es el electrodo revestido, aunque crecen progresivamente las aplicaciones del arco sumergido y gas.



En las industrias del automóvil y ferrocarril se usan todos los procesos de soldeo a causa de los muchos tipos de materiales y las múltiples aplicaciones a que se destinan.

### **5.6. Capacitación de soldadores**

Otro factor a valorar en la selección del proceso de soldadura es el nivel de los soldadores disponibles en cada uno de los procesos a utilizar. Hay que tener en cuenta que muchas de las aplicaciones han de efectuarse de acuerdo con las normas y códigos específicos que exigen la cualificación de los soldadores u operadores de maquinas de soldeo.



## 6. DESCRIPCIÓN DE LOS PROCESOS DE SOLDADURA MÁS UTILIZADOS EN CONTRUCCION NAVAL

### 6.1. Soldeo por arco con electrodo revestido

#### 6.1.1. Principios del proceso

El proceso de soldeo metálico por arco con electrodo revestido, también conocido por las siglas SMAW (Shielded Metal Arc Welding), es un proceso en el que la fusión del metal se produce por el calor generado en un arco eléctrico establecido entre el extremo de un electrodo revestido y el metal base de una unión a soldar.

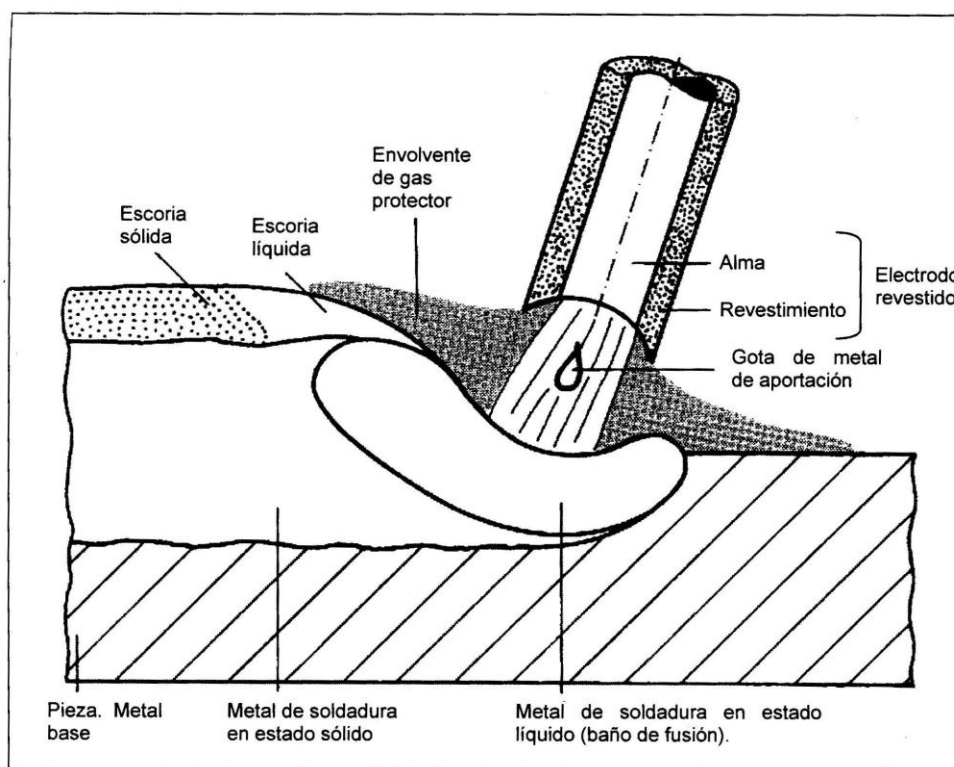


Figura 6.1. Descripción del proceso.

El proceso se inicia con el cebado del arco, operación que consiste en tocar la pieza con el extremo libre del electrodo, cerrándose durante ese corto tiempo el circuito. El paso de corriente genera por efecto Joule el calentamiento del punto de contacto y de las zonas inmediatas, particularmente el extremo del electrodo. En el momento de separar el extremo del electrodo de la pieza, el metal del extremo libre del electrodo produce una fuerte emisión de electrones que se aceleran por la presión, chocan con los electrones de otros átomos del medio gaseoso, generando una atmosfera ionizada en su entorno que permite el paso de corriente a través del aire. Los electrodos que van del electrodo al ánodo provocan la fusión



parcial del electrodo y producen así el salto del arco.

El arco eleva extraordinariamente la temperatura, del orden de 5000°C, siendo estas muy por encima de la temperatura de fusión del metal. Es por ello, que tanto el extremo del electrodo como la zona afectada por el arco en el metal base se funden. Del extremo del electrodo se desprenden pequeñas gotas de metal fundido, que se proyectan sobre el metal base también fundido, mezclándose con él y formando lo que se denomina baño de fusión.

A medida que el electrodo se va consumiendo con este proceso, se hace avanzar el baño fundido a lo largo de la unión a soldar, al tiempo que la parte del baño fundido que deja de estar en contacto directo con el arco se va solidificando por la difusión del calor, formando lo que denominamos metal soldado.

Cuando la parte útil del electrodo se ha consumido, se interrumpe el arco, solidificándose la última porción de baño fundido y obteniéndose así un cordón de soldadura correspondiente a un electrodo. La sucesión de cordones, hasta la terminación de la unión a soldar constituye la soldadura propiamente dicha.

Este proceso de soldadura es el más extendido entre todos los procedimientos de soldadura por arco, debido fundamentalmente a su versatilidad, aparte de que el equipo necesario para su ejecución es más sencillo, transportable y barato que el de los demás. Así, la soldadura manual puede ser utilizada en cualquier posición, tanto en locales cerrados como en el exterior, se puede aplicar en cualquier localización que pueda ser alcanzada por un electrodo, incluso con restricciones de espacio, que no permiten la utilización de otros equipos. Además, al no requerir ni tuberías de gases ni conducciones de agua de refrigeración, puede ser empleado en lugares relativamente alejados de la unión generadora. También la soldadura manual es aplicable a casi todos los tipos de aceros: al carbono, débilmente aleados, inoxidable, resistentes al calor, etc., y a un gran número de aleaciones, como las de cobre-zinc (latones) y cobre-estaño (bronces) principalmente.

No obstante, factores como la productividad y la mayor uniformidad de las soldaduras obtenidas para numerosas aplicaciones, hace que otros procedimientos vayan desplazando a la soldadura manual.

### **6.1.2. Parámetros de soldeo**

Los parámetros principales de soldeo metálico por arco con electrodo revestido son:

- I. Diámetro de electrodo
- II. Intensidad de soldeo
- III. Longitud de arco



- IV. Velocidad de desplazamiento
- V. Tipo de corriente

#### **i. Diámetro de electrodo**

En general, se deberá seleccionar el mayor diámetro posible que asegure los requisitos de aporte térmico y que permita su fácil utilización en función de la posición, el espesor del material y el tipo de unión, que son los parámetros de los que depende la selección del diámetro del electrodo.

Los electrodos de mayor diámetro se seleccionan para soldeo de materiales de gran espesor y para soldeo en posición plana debido a sus altas tasas de deposición. En el soldeo en posición cornisa, vertical y bajo techo el baño de fusión tiende a caer por efecto de la gravedad, este efecto es más acusado, y más difícil de mantener el baño en su sitio, cuanto mayor es el volumen de este, es decir, cuanto mayor es el diámetro del electrodo, por lo que en estas posiciones convendrá utilizar electrodos de menor diámetro.

En el soldeo con pasadas múltiples el cordón de raíz conviene efectuarlo con un electrodo de pequeño diámetro, para conseguir el mayor acercamiento posible del arco al fondo de la unión y asegurar una buena penetración, después se pasará a utilizar electrodos de mayor diámetro para completar la unión.

El aporte térmico depende directamente de la intensidad, tensión del arco y velocidad de desplazamiento, todos ellos parámetros que dependen del diámetro del electrodo. El aporte térmico será mayor cuanto mayor sea el diámetro del electrodo. En las aplicaciones con materiales donde se requiera que el aporte térmico sea bajo se deberán utilizar electrodos de pequeño diámetro.

Por lo tanto se deberán emplear:

- Electrodos de poco diámetro (2, 2.5, 3.25, 4 mm) en: punteado, uniones de piezas de poco espesor, primeras pasadas, soldaduras en posición cornisa, vertical y bajo techo y cuando se requiera que el aporte térmico sea bajo.
  
- Electrodos de mayores diámetros para: uniones de piezas de espesores medios y gruesos, soldaduras en posición plana y recargues.

La utilización de grandes diámetros puede dar lugar a un cordón de soldadura excesivo, innecesario y costos económicamente, pudiendo también actuar como concentrador de tensiones debido a un perfil inadecuado.

## ii. Intensidad de soldeo

Cada electrodo, en función de su diámetro, posee un rango de intensidades en el que puede utilizarse y que en ningún caso se debe superar ese rango ya que se producirían mordeduras, proyecciones, intensificación de los efectos del soplo magnético e incluso grietas. Cuanto mayor sea la intensidad utilizada mayores serán la penetración y la tasa de deposición.

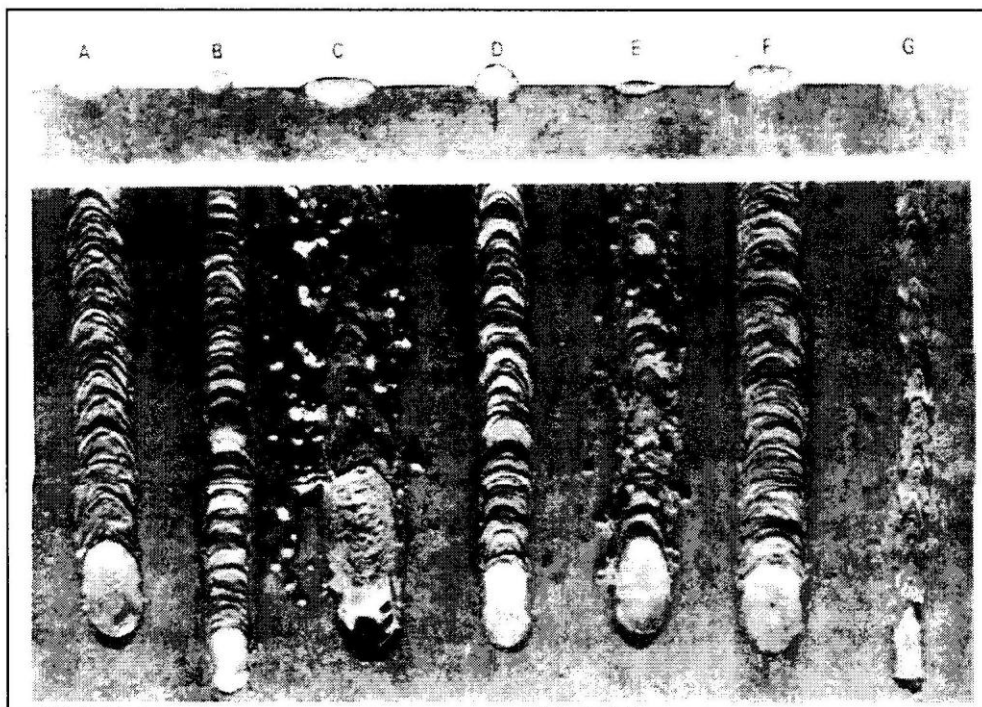


Figura 6.2. Efecto de los principales parámetros de soldeo en el cordón.

- A. Amperaje, longitud de arco y velocidad de desplazamiento apropiadas.
- B. Amperaje demasiado bajo.
- C. Amperaje demasiado alto.
- D. Longitud de arco demasiado corta.
- E. Longitud de arco demasiado larga.
- F. Velocidad de desplazamiento demasiado lenta.
- G. Velocidad de desplazamiento demasiado rápida.

La intensidad a utilizar depende de la posición de soldeo y del tipo de unión.

Como regla práctica y general, se deberá ajustar la intensidad a un nivel en que la cavidad del baño de fusión sea visible. Si esta cavidad es muy grande y tiene forma elíptica, significa que la intensidad es excesiva.

## iii. Longitud de arco

La longitud del arco a utilizar depende del tipo de electrodo, su diámetro, la posición de soldeo y de intensidad. En general, la longitud del arco debe ser igual al diámetro del electrodo,



excepto cuando se emplee el electrodo de tipo básico, que deberá ser igual a la mitad de su diámetro.

Es conveniente mantener siempre la misma longitud de arco, con objeto de evitar oscilaciones en la tensión e intensidad de la corriente y con ello una penetración desigual. En el soldeo en posición plana, sobre todo cuando se utilizan electrodos de revestimiento grueso, se puede arrastrar ligeramente el extremo del electrodo, con lo que la longitud del arco vendrá automáticamente determinada por el espesor del revestimiento. En las primeras pasadas de las uniones a tope y en las uniones en ángulo, el arco se empuja hacia la unión para mejorar la penetración. Cuando se produzca sople magnético, la longitud del arco se deberá acortar todo lo posible.

Un arco demasiado corto puede ser errático y producir cortocircuitos durante la transferencia del metal, mientras que un arco demasiado largo perderá direccionalidad e intensidad, además el gas y el fundente generados por el revestimiento no son tan eficaces para la protección del arco y del metal de soldadura, por lo que se puede producir porosidad y contaminación del metal de soldadura con oxígeno e hidrógeno.

#### **IV. Velocidad de desplazamiento**

La velocidad de desplazamiento durante el soldeo debe ajustarse de tal forma que el arco adelante ligeramente al baño de fusión. Cuanto mayor es la velocidad de desplazamiento menos es la anchura del cordón, menor es el aporte térmico y más rápidamente se enfriará la soldadura. Si la velocidad es excesiva se producen mordeduras, se dificulta la retirada de la escoria y se favorece el atrapamiento de gases produciendo poros.

Según vamos aumentando la velocidad de soldeo, el cordón se va haciendo más estrecho y va aumentando la penetración hasta un cierto punto a partir del cual un aumento de la velocidad trae como consecuencia una disminución de la penetración, debido a que el calor aportado no es suficiente para conseguir una mayor penetración.

Con una baja velocidad el cordón será ancho, convexo y con poca penetración, debido a que el arco reside demasiado tiempo sobre el metal depositado en vez de concentrarse sobre el metal base.

#### **V. Tipo de corriente**

El soldeo por arco con electrodos revestidos se puede realizar tanto con corriente alterna como con corriente continua, la elección dependerá del tipo de fuente de energía disponible, del electrodo a utilizar y del metal base. En la tabla siguiente vemos que corriente es la más adecuada en función de una serie de parámetros.



Características	Corriente continua (CC)	Corriente alterna (CA)
Pérdida de tensión en cables	Grande	Pequeña
Electrodos	Todos	Solo con revestimiento que reestablezcan el arco
Encendido del arco	Fácil	Difícil
Mantenimiento del arco	Fácil	Difícil
Efecto de sopleo	Muy sensible, sobretodo cerca de los extremos	Raramente
Salpicaduras	Pocas	Frecuentes, debidas a la pulsación
Posiciones de soldeo	Todas	Todas
Soldadura de hojas metálicas	Preferible a CA	Difícil
Soldaduras de secciones gruesas	Bajo rendimiento	Preferible a CC

Figura 6.3. Comparativa de las características de soldeo en CC y CA.

En cuanto a la polaridad en corriente continua depende del material a soldar y del electrodo empleado, sin embargo se obtienen mayor penetración con polaridad inversa.

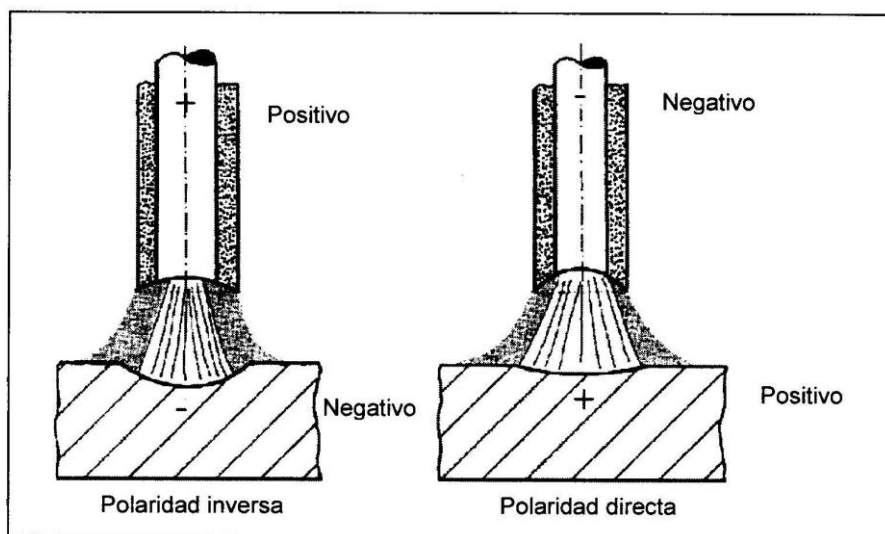


Figura 6.4. Penetración obtenida en función de la polaridad.



### 6.1.3. Equipo de soldeo

#### i. Fuente de energía

En el soldeo con electrodo revestido se trabaja con tensiones bajas e intensidades altas. Las compañías eléctricas suministran corriente alterna de baja intensidad y de alto voltaje, parámetros que no resultan adecuados para el manejo del arco. La fuente de energía es el elemento que se encarga de transformar y/o convertir la corriente eléctrica de la red en otra alterna o continua, con una tensión e intensidad adecuadas para la formación y estabilización del arco eléctrico. Dichas fuentes de energía son máquinas eléctricas que, según sus estructuras, reciben el nombre de transformadores, rectificadores o convertidores.

Un aspecto a considerar desde el punto de vista práctico es la relación existente entre la fuente de alimentación y las características del arco. Una fuente de alimentación en soldadura tiene su propia característica voltaje- intensidad. La corriente y el voltaje reales obtenidos en el proceso de soldeo vienen determinados por la intersección de las curvas características de la máquina y la del arco. Este es el punto de funcionamiento o punto de trabajo definido por la intensidad y tensión de soldeo.

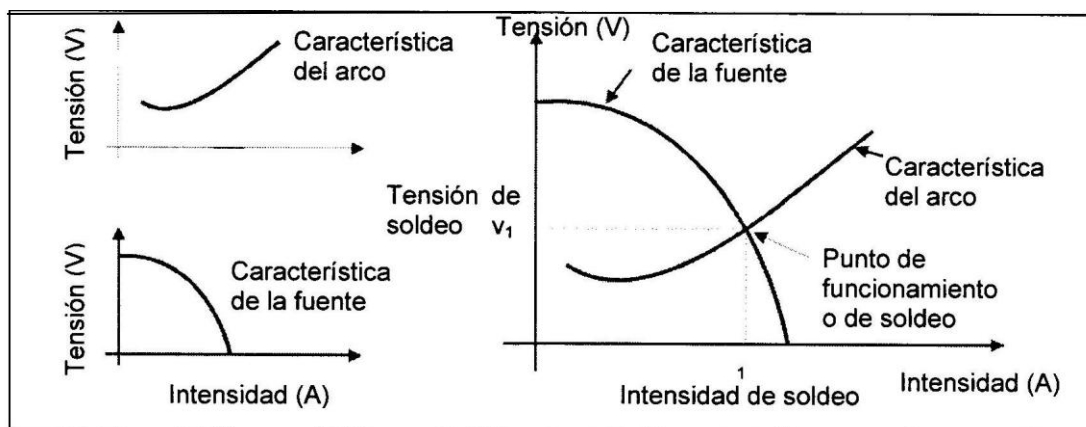


Figura 6.5. Curva característica del arco, de la fuente y punto de funcionamiento.

La fuente de energía para el soldeo debe presentar una característica descendente (de intensidad constante), para que la corriente de soldeo se vea poco afectada por las variaciones de longitud de arco.

#### ii. Portaelectrodo

En el soldeo metálico por arco revestido el portaelectrodo tiene la misión de conducir la electricidad al electrodo y sujetarlo. Para evitar un sobrecalentamiento en las mordazas, estas deben mantenerse en perfecto estado, ya que un sobrecalentamiento se traduciría en una disminución de la calidad y dificultaría la ejecución del soldeo. Se debe seleccionar siempre el portaelectrodos adecuado para el diámetro de electrodo que se vaya a utilizar.

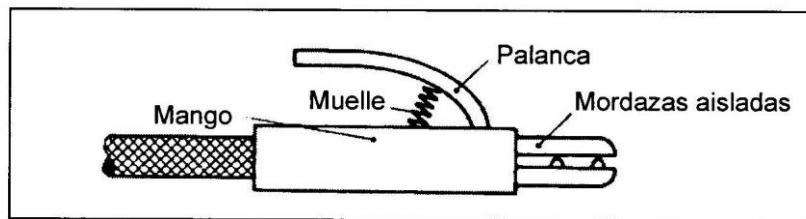


Figura 6.6. Portaelectrodo.

### iii. Conexión de masa

Es muy importante la correcta conexión del cable de masa y la especial situación en el soldeo con corriente continua. Una situación incorrecta puede provocar el soplo magnético, dificultando el control del arco. También es muy importante el método de sujeción del cable, ya que un cable mal sujeto no proporcionará un contacto eléctrico consistente y la conexión se calentará, pudiendo producirse una interrupción en el circuito y la extinción del arco. El mejor método es emplear una zapata de contacto de cobre sujeta con una mordaza. Si fuese perjudicial la contaminación por cobre del metal base con este dispositivo, la zapata de cobre debe adherirse a una chapa que sea compatible con la pieza, que a su vez se sujeta a la pieza.

#### 6.1.4. Tipos de electrodos

El elemento fundamental para la soldadura manual es el electrodo, que soporta el arco y que al consumirse produce la aportación del material que, unido al material fundido del metal base, va a constituir el metal soldado. El electrodo está básicamente constituido por un alambre, de composición similar al del metal base, con o sin un revestimiento que lo envuelve.

Los electrodos se clasifican en dos grupos dependiendo de si llevan revestimiento o no, estos grupos son electrodos desnudos y electrodos revestidos.

##### i. Electrodos desnudos

Salvo para uniones de muy poca responsabilidad y en piezas de acero dulce, los electrodos desnudos no se utilizan, ya que las soldaduras obtenidas tienen muy malas cualidades mecánicas.

El arco absorbe los componentes del aire y los incorpora al baño fundido por lo que el metal soldado presenta gran cantidad de óxidos, nitruros, poros y escorias que le confieren esas malas cualidades mecánicas. En la utilización de electrodos desnudos es muy difícil mantener el arco, siendo imposible hacerlo con corriente alterna.

##### ii. Electrodos revestidos

Los electrodos revestidos están formados por:

- Un alambre de sección circular uniforme, denominado alma, de composición normalmente similar a la del metal base.





- El revestimiento que es un cilindro que envuelve el alma, concéntrico con ella y de espesor uniforme, constituido por una mezcla de compuestos que caracterizan el electrodo y que cumple varias funciones, las cuales evitan los inconvenientes del electrodo desnudo.

Los electrodos tienen longitudes normalizadas de 150, 200, 250, 300, 350 y 450 mm en función del diámetro del electrodo. Un extremo del alma está sin cubrir de revestimiento, el cual es de una longitud de 20 a 30 mm, para poderlos coger con la pinza del portaelectrodo. Los diámetros de los electrodos también están normalizados, siendo los más comunes los de 1.6, 2, 2.5, 3.25, 4, 5, 6, 6.3, 8, 10 y 12.5 mm (diámetro del alma).

Atendiendo al espesor del revestimiento o a la relación entre el diámetro del alma y el del revestimiento, los electrodos se clasifican en:

- I. Delgados: este tipo de electrodos de revestimiento delgado protegen poco al metal fundido, por lo que solo se utilizan en el aprendizaje de las técnicas de soldeo.
- II. Medios: este tipo de electrodos obtienen mejor estabilidad del arco, permiten soldeo con corriente alterna y protegen mejor al metal soldado, la escoria recubre al metal ya solidificado reduciendo la velocidad de enfriamiento y la oxidación.
- III. Gruesos: este tipo de electrodos con revestimiento grueso permiten obtener las mejores cualidades del metal soldado

#### **6.1.5. Funciones del revestimiento**

Las funciones básicas que debe cumplir un revestimiento son:

- Asegurar la estabilización del arco.
- Proteger al metal fundido de su contacto con el aire, tanto en el trayecto de las gotas fundidas a lo largo del arco, mediante gases que lo envuelvan, como en el baño de fusión mediante la formación de una capa de escoria que lo recubra.
- Eliminar o reducir las impurezas en el interior de la soldadura, mediante el barrido de las mismas por medio de la escoria.



- Aportar elementos aleantes a la soldadura, que suplan las pérdidas ocasionadas por la alta temperatura y/o que comuniquen a la misma las cualidades mecánicas deseadas.

- Asegurar un enfriamiento seguro de la soldadura, a fin de obtener un mejor comportamiento mecánico de ella.

Estas funciones pueden agruparse para su estudio bajo los siguientes aspectos:

- I. Función eléctrica.
- II. Función física.
- III. Función metalúrgica.

#### **i. Función eléctrica del revestimiento**

La función primordial del revestimiento desde el punto de vista eléctrico, es asegurar una buena ionización entre el ánodo y el cátodo, facilitando la estabilidad del arco.

Cuando se trabaja con corriente alterna, la ionización elevada se consigue mediante la inclusión en el revestimiento de sales de baja tensión de ionización y de elevado poder termoiónico, principalmente las de sodio, potasio, bario y en general de metales alcalinos. También favorecen el cebado y la estabilidad del arco otros productos como silicatos, carbonatos y óxidos de hierro y titanio. Cada tipo de electrodo tiene un potencial de ionización y por tanto una tensión de cebado que les caracteriza.

#### **ii. Función física del revestimiento**

El revestimiento cumple varias funciones físicas en el proceso de soldeo manual siendo las principales la generación de gases y la formación de escorias.

La generación de gases se consigue mediante la inclusión en el revestimiento de materiales como la celulosa, carbonato cálcico, dolomita y otros compuestos orgánicos e inorgánicos que por efecto de la temperatura generada por el arco, se descomponen liberando gases, principalmente monóxido de carbono, hidrogeno y vapor de agua. Los gases generados realizan una doble función, por un lado establecen alrededor de la columna del arco una cortina de gas que evita el contacto directo del oxígeno y del nitrógeno del aire con las gotas de metal que se desprenden del extremo del electrodo y la superficie del baño fundido. En segundo lugar, el gas generado experimenta una gran expansión por efecto de calor del arco y contribuye al arranque de las gotas de metal de la superficie del extremo del electrodo y al arrastre e impulsión de las mismas, dándoles velocidad y permitiendo así las soldaduras en posición vertical, cornisa y bajo techo.



La escoria empieza realizando una tarea de protección del metal desde el momento que se forma. La tensión superficial de la escoria fundida, muy inferior a la del acero, hace que se extienda sobre la superficie de este, en el extremo del electrodo, envolviendo las gotas que se desprenden con una delgada capa que le proporciona una protección suplementaria en su recorrido a lo largo de la columna del arco.

El baño fundido de halla en un estado de agitación térmica, que permite que las gotas de escoria efectúen un barrido recogiendo las impurezas como óxidos, sulfuros, etc, que se adhieren a las gotas de escoria y son arrastradas hasta la superficie, donde solidifican por tener una temperatura de fusión más elevada que el acero. De esta forma se crea sobre el baño fundido una capa de escoria solidificada que lo protege cuando deja de estar cubierto por los gases que rodean el arco y lo sigue protegiendo cuando se solidifica evitando su contacto con la atmosfera. Una vez la temperatura haya descendido lo suficiente, la escoria sólida se desprende de la solida, por si sola o con ayuda de algún medio mecánico.

La escoria la caracterizan tres cualidades físicas. Su punto de fusión, su tensión superficial y su viscosidad. El punto de fusión de la escoria debe ser superior al punto de fusión del metal base, muy útil cuando se suelda en posiciones ascendentes donde la escoria forma una barrera solida que impide el derramamiento del baño fundido.

La tensión superficial tiene una importancia fundamental, ya que una tensión superficial muy baja facilita el mojado de la superficie del metal base y la posterior fusión del mismo y su mezcla con el metal de aportación.

En cuanto a la viscosidad de la escoria, ésta debe ser controlada. Una viscosidad elevada asegura una buena retención del metal soldado en las soldaduras en posición, pero dificulta el movimiento de la escoria en el seno del baño de fusión en su función de barrido de las impurezas y facilita la retención de la misma en la solidificación. Por el contrario, una viscosidad baja hace la escoria más fluida y facilita el barrido de las impurezas y su expulsión antes de que se produzca la solidificación, pero en las soldaduras en posición la escoria excesivamente fluida se puede desprender en forma de gotas y crear dificultades para retener el baño fundido.

### **iii. Función metalúrgica del revestimiento**

En su función metalúrgica el revestimiento puede actuar de diversas maneras dependiendo de la naturaleza de sus componentes.

Por una parte, los componentes pueden aportar elementos que se incorporan al baño fundido a través de las gotas de revestimiento fundido o escoria. Estos elementos pueden actuar proporcionando a la soldadura determinadas cualidades de ductilidad, tenacidad, resiliencia, etc, que mejoren su comportamiento mecánico a diversos niveles de temperatura.



También pueden aportar elementos que compensen las pérdidas que el metal soldado sufre por evaporación u oxidación producidas por las elevadas temperaturas generadas en el proceso de soldadura.

El revestimiento puede incorporar ciertas cantidades de polvo de hierro y de óxido de hierro, que se alean con el metal fundido aumentando el rendimiento o tasa de deposición de metal de los electrodos cuyo diámetro está limitado por la tecnología de fabricación.

Otros componentes del revestimiento actúan como elementos desoxidantes y desulfurantes para eliminar los riesgos de formación de grietas en caliente y de porosidad en el interior, mediante la reacción de dichos elementos con el oxígeno y el azufre presentes en el baño fundido. Finalmente la escoria solidificada sobre el cordón previene el enfriamiento excesivamente rápido del baño, manteniéndolo en estado de fusión durante el tiempo necesario para que salgan a la superficie los gases generados y las impurezas segregadas en el interior.

#### **6.1.6. Tipos de revestimiento**

Prácticamente en todos los electrodos revestidos se utiliza un acero de la misma composición para la fabricación del alma, por lo cual, lo que caracteriza las distintas clases de electrodo son los revestimientos. Dependiendo de los compuestos que forman parte de los revestimientos y la proporción en que están presentes, los electrodos se comportan de distinta forma. Por tanto, habrá que tener en cuenta su aplicación en función de las características de la unión, espesores, tipo de preparación, posición de la soldadura, composición del metal, etc.

##### **i. Revestimiento de los electrodos de acero al carbono**

El revestimiento se clasifica según UNE-EN 287-1:

- Ácido (A)
- Básico (B)
- Celulósico (C)
- Rutilo (R)
- Rutilo-ácido (RA)
- Rutilo-básico (RB)
- Rutilo-celulósico (RC)
- Rutilo grueso (RR)
- Otros (S)



### **Ácido (A)**

- Composición del revestimiento: óxidos de hierro y manganeso.
- Características de la escoria: bastante fluida, de aspecto poroso y abundante.
- Ventajas: la velocidad de fusión es bastante elevada, así como la penetración. Se puede utilizar con intensidades elevadas.
- Limitaciones: solo se puede utilizar con metales base con buena soldabilidad, contenidos muy bajos de azufre, fósforo y carbono, de lo contrario puede presentarse fisuración en caliente ya que los componentes del revestimiento no son capaces de extraer el azufre y el fósforo como pueden hacerlo los revestimientos básicos.
- Posición: especialmente indicados para la posición plana, pero pueden utilizarse en otras posiciones.
- Tipo de corriente: corriente continua y corriente alterna.

### **Básico (B)**

- Composición del revestimiento: carbono cálcico y otros carbonatos también básicos.
- Características de la escoria: es densa, no muy abundante, de color pardo oscuro y brillante, se separa fácilmente y asciende con facilidad por lo que se reduce el riesgo de inclusiones de escoria.
- Ventajas: metal de soldadura muy resistente a la fisuración en caliente. Son de bajo contenido en hidrogeno lo que reduce la fisuración en frío.
- Limitaciones: su manejo es algo dificultoso, debiéndose emplear un arco muy corto y con intensidades poco altas.  
Son muy higroscópicos, por lo que es necesario mantenerlos en paquetes herméticamente cerrados y conservados en recintos adecuados para mantenerlos perfectamente secos. A veces se deben secar en estufas adecuadas justamente antes de su empleo.
- Aplicaciones: soldaduras de responsabilidad. Su gran tenacidad los hace recomendables para soldar grandes espesores y estructuras muy rígidas. Aceros débilmente aleados e incluso aceros que presentan baja soldabilidad.
- Posición: todas las posiciones.
- Tipo de corriente: corriente continua y polaridad inversa, aunque haya algún tipo de electrodo preparado para ser empleado también con corriente alterna.

### **Celulósico (C)**

- Composición del revestimiento: sustancias orgánicas que generan gran cantidad de gases por el calor.
- Características de la escoria: la escoria que producen es escasa y se separa con gran



facilidad.

- Ventajas: los gases forman una gran envoltura gaseosa entorno al arco e imprimen a las gotas metálicas gran velocidad, por lo cual se consigue gran penetración. Gran velocidad de fusión.
- Limitaciones: muchas proyecciones. Superficie de la soldadura muy irregular.
- Posición: todas.
- Aplicaciones: se emplean principalmente para el soldeo de tuberías en vertical descendente, por la buena penetración que consiguen y por la rapidez del trabajo, debida a su alta velocidad de fusión.
- Tipo de corriente: corriente continua y polaridad directa. Para utilizarlos con corriente alterna se necesita emplear una máquina con tensión de vacío muy elevada.

#### **Rutilo (R)**

- Composición del revestimiento: rutilo (óxidos de titanio).
- Características de la escoria: es muy densa y viscosa.
- Ventajas: fácil cebado y manejo del arco. Fusión del electrodo suave. Cordón de soldadura muy regular y de buen aspecto.
- Posición: todas. Especialmente adecuado para soldar en posición vertical y bajo techo gracias a las características de su escoria.
- Aplicaciones: es el electrodo más comúnmente utilizado.
- Tipo de corriente: corriente alterna y corriente continua.

#### **Rutilo-ácido (RA)**

- a) Composición del revestimiento: óxido de hierro o de manganeso y rutilo (óxido de titanio).

Sus propiedades son similares a los electrodos de tipo ácido, aunque son más manejables, porque mantienen mejor el arco debido a la presencia del óxido de titanio.

#### **Rutilo grueso (RR)**

Igual que los de rutilo pero con revestimiento más grueso.

#### **Otros (S)**

Este grupo engloba todos aquellos electrodos que no tienen unas características que permitan encajarlos en alguno de los grupos anteriores.

#### **ii. Revestimiento de los electrodos de aceros aleados y materiales no féreos.**

Los revestimientos más comunes para los aceros aleados (de baja, media o alta aleación) son los de tipo básico y de tipo rutilo, siendo más frecuentes los primeros.



El revestimiento de los electrodos de aleaciones no férricas suele depender en gran medida de la aleación en cuestión, aunque predominan los revestimientos de tipo básico.

### iii. Revestimiento de los electrodos con polvo de hierro

Se pueden introducir polvos de diferentes metales en el revestimiento para compensar la pérdida de elementos de aleación, que se producen durante la fusión del electrodo, o para aportar elementos de aleación y mejorar así las propiedades mecánicas del metal de soldadura.

Uno de los elementos que se agregan al revestimiento de los electrodos de acero (al carbono, de baja aleación, inoxidable y de alta aleación) es el polvo de hierro, que permite aumentar la cantidad de metal depositado y mejora el comportamiento del arco.

Este tipo de electrodos solo se pueden emplear en posición plana.

## IV. Electrodo de gran rendimiento

Cualesquiera que sean las características del electrodo siempre que su rendimiento gravimétrico (peso del metal depositado dividido por el peso del alma, multiplicado por cien) sea superior al 110%.

### 6.1.7. Clasificación de los electrodos

Para el sistema de clasificación AWS para soldaduras de aceros al carbono con electrodos revestidos, la nomenclatura de los electrodos tiene el siguiente significado:

E- ABCD

E: Indica electrodo.

AB: Indica la carga de rotura mínima del metal de aporte en múltiplos de 1000 psi. Toma valores entre 60 i 70

C: Indica las posiciones de soldeo en las que el electrodo puede ser utilizado satisfactoriamente, según la codificación siguiente:

1: En todas las posiciones de soldeo.

2: Solo en posición plana

3: Especialmente en vertical descendente

D: Indica el tipo de revestimiento y las características de la corriente adecuada para su utilización.

Ejemplo:

Electrodo de rutilo E6013: esta designación nos indicará que es un electrodo (E), el cual nos garantiza una carga de rotura mínima del metal de soldadura de 60 ksi (60), que se podrá



emplear en todas las posiciones de soldadura (1), y que posee un revestimiento de rutilo y se podrá emplear con CA y CC en polaridad inversa y directa (3).

### **6.1.8. Técnicas operativas**

#### **I. Establecimiento o cebado del arco**

El arco se establece golpeando ligeramente el extremo del electrodo sobre la pieza en las proximidades del lugar donde el soldeo vaya a comenzar, a continuación se retira lo suficiente de forma rápida para producir un arco de longitud adecuada. Otra técnica de establecer el arco es mediante un movimiento de raspado similar al que se aplica para encender una cerilla. Cuando el electrodo toca la pieza, se manifiesta una tendencia a mantenerse juntos, lo cual se evita por medio del golpeteo y del raspado. Cuando el electrodo se pega es necesario apartarlo rápidamente, de otra forma se sobrecalentará y los intentos para retirarlo de la pieza solo conseguirán doblarle, siendo preciso entonces utilizar un martillo o cortafrío para su retirada.

El establecimiento del arco con electrodos de bajo hidrogeno requiere una técnica especial para evitar la porosidad de la soldadura donde se inicia el arco. La técnica consiste en establecer el arco a una distancia de unos pocos diámetros del electrodo por delante del lugar donde vaya a comenzar el soldeo. A continuación el arco se mueve hacia atrás y el soldeo se empieza de forma normal. El soldeo continúa sobre la zona en la cual el arco fue establecido, refundiendo cualquier pequeño glóbulo de metal de soldadura que pudiese haberse producido cuando se estableció el arco.

#### **II. Interrupción del arco de soldeo**

Nunca se debe interrumpir el arco de forma brusca, ya que pueden producirse grietas y poros en el cráter del cordón. El arco puede interrumpirse por medio de diferentes técnicas:

- I. A cortar el arco de forma rápida y a continuación mover el electrodo lateralmente fuera del cráter. Esta técnica se emplea cuando se va a reemplazar el electrodo ya consumido, continuando el soldeo a partir del cráter.
- II. Otra técnica es la de tener el movimiento de avance del electrodo y permitir el llenado del cráter, retirándose a continuación el electrodo.
- III. Otra forma es dar al electrodo una inclinación contraria a la que llevaba y se retrocede, sobre el mismo cordón unos 10 o 12 mm antes de interrumpir el arco. De esta forma se rellena el cráter.





### III. Retirada de la escoria

Una vez depositada una pasada completa de soldadura, debe picarse la escoria y cepillar la totalidad del cordón antes de realizar la pasada siguiente.

Se deberá retirar la escoria especialmente en las proximidades de las caras del chaflán que es donde se puede quedar ocluida, utilizando esmeriladora si fuera necesario. También se deberá eliminar el sobreespesor del cordón cuando este sea excesivo antes de depositar el siguiente cordón.

Como medida de protección de los ojos el soldador debe de utilizar para picar y cepillar la soldadura unas gafas con los cristales transparentes.

#### 6.1.9. Ventajas y limitaciones del proceso

Las ventajas del proceso son:

- I. El equipo de soldeo es relativamente sencillo, no muy caro y portátil.
- II. El metal de aportación y los medios para su protección durante el soldeo proceden del propio electrodo revestido. No es necesaria protección adicional mediante gases auxiliares o fundentes granulares.
- III. Es menos sensible al viento y a las corrientes de aire que los procesos por arco con protección gaseosa. No obstante el proceso debe emplearse siempre protegido del viento, lluvia y nieve.
- IV. Se puede emplear en cualquier posición, en locales abiertos y en locales cerrados, incluso con restricciones de espacio. No requiere conducciones de agua de refrigeración, ni tuberías o botellas de gases de protección, por lo que puede emplearse en lugares relativamente alejados de la fuente de energía.
- V. Es aplicable para una gran variedad de espesores, en general mayores de 2mm.
- VI. Es aplicable a la mayoría de los metales y aleaciones.

Las limitaciones de este proceso son las siguientes:

- I. Es un proceso lento, por la baja tasa de deposición y por la necesidad de retirar la escoria, por lo que en determinadas aplicaciones ha sido desplazado por otros procesos.



- II. Requiere gran habilidad por parte del soldador.
- III. No es aplicable a metales de bajo punto de fusión como plomo, estaño y zinc, debido a que el intenso calor del arco es excesivo para ellos. Tampoco es aplicable a metales de alta sensibilidad a la oxidación como el titanio, zirconio, Tántalo y niobio, ya que la protección que proporciona es insuficiente para evitar la contaminación de oxígeno de la soldadura.
- IV. No es aplicable a espesores inferiores a 1,5 - 2mm (se podría pero habría que poner una chapa de cobre debajo para que absorba rápido el calor).
- V. Aunque en teoría se puede soldar cualquier espesor por encima de 1,5mm, el proceso no resulta productivo para espesores mayores de 38mm.

#### **6.1.10. Aplicaciones**

El proceso por arco con electrodos revestidos es uno de los procesos de mayor utilización, especialmente en soldaduras de producción cortas y trabajos de mantenimiento. El proceso es aplicable a aceros al carbono, aceros aleados, inoxidable, fundiciones y metales no féreos como el aluminio, cobre, níquel y sus aleaciones.

La mayor parte de las aplicaciones de soldeo por arco con electrodos revestidos se dan con espesores comprendidos entre 3 y 38 mm.

Este proceso de soldadura es el más utilizado en la construcción naval. Esto es debido fundamentalmente a su versatilidad, ya que puede ser transportado y empleado en cualquier lugar, incluso con restricciones de espacio, lo que lo hace ideal para la construcción naval. Su uso, por tanto, es de carácter muy general.

Mediante la soldadura con electrodos revestidos se unen refuerzos del casco, refuerzos en portillos, gateras y todo tipo de pasacascos. En muchos casos también es utilizado para recargues superficiales. Además, como ya se ha comentado anteriormente, debido a su ligereza, portabilidad y a que puede ser utilizado tanto en locales cerrados como abiertos, el proceso de soldadura manual es muy utilizado en tareas de reparación.

## **6.2. Soldeo por arco con gas inerte y electrodo de wolframio**

### **6.2.1. Principios del proceso**

El procedimiento de soldeo por arco bajo gas protector con electrodo no consumible, también llamado TIG (Tungsten Inert Gas), utiliza como fuente de energía el arco eléctrico que se establece entre un electrodo no consumible y la pieza a soldar, mientras un gas inerte



protege el baño de fusión. En este proceso de soldadura también es posible la utilización de varillas como material de aportación.

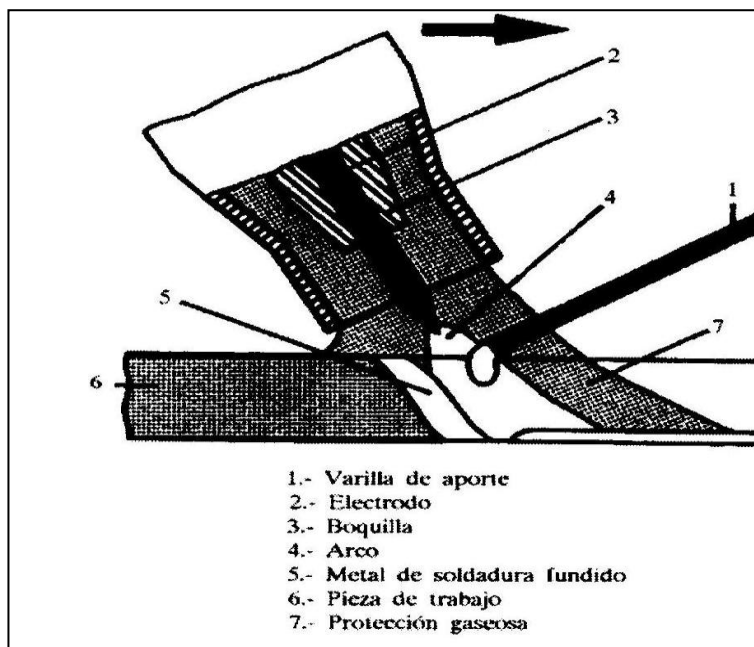


Figura 6.6. Descripción del proceso TIG.

El proceso de soldeo TIG también recibe las denominaciones de:

- GTAW, Gas Tungsten Arc Welding (AWS)
- 141, Soldeo por arco con electrodo de wolframio y gas inerte (UNE-EN ISO 4603)
- Gas-Shielded Tungsten-Arc Welding (UK)

El proceso TIG se puede utilizar para el soldeo de todos los materiales, incluidos el aluminio y el magnesio y los materiales sensibles a la oxidación como el titanio, circonio y sus aleaciones.

Con este proceso se consiguen soldaduras de alta calidad y con una elevada pureza metalúrgica, exentas de defectos y buen acabado superficial, por ello es ideal para soldaduras de responsabilidad en la industria del petróleo, química, petroquímica, alimentación, generación de energía, nuclear y aeroespacial.

Como su tasa de deposición es baja, no resulta económico para soldar materiales con espesores mayores de 6-8 mm. En estos casos el soldeo TIG se utiliza para efectuar la pasada de raíz, empleándose otros procesos de mayor productividad para el resto de las pasadas de relleno.



### 6.2.2. Parámetros de soldeo

#### I. Diámetro del electrodo

El diámetro del electrodo es muy importante ya que determina la intensidad de soldeo del proceso. Si empleamos una intensidad baja para un diámetro de electrodo dado se producirá inestabilidad del arco. Si por el contrario utilizamos una intensidad excesiva podremos originar erosión y fusión de la punta del electrodo, así como inclusiones de tungsteno en el metal soldado.

Con corriente directa los electrodos tienen su máxima capacidad de conducción de corriente. Con corriente inversa solo se puede conducir un 10%, de la cantidad que podría conducir en las condiciones anteriores, mientras que en caso de utilizar corriente alterna podríamos obtener un 50% de la capacidad máxima de conducción de corriente.

Es muy importante usar un diámetro interior de la tobera adecuado para cada diámetro de electrodo, ya que de ello dependerá la correcta protección del gas inerte.

#### II. Selección del tipo de corriente

El proceso TIG puede utilizarse tanto en corriente continua como en corriente alterna, cuya elección de la clase de corriente y polaridad dependerá del material a soldar. Con el fin de realizar esta elección correctamente, vamos a destacar algunos aspectos diferenciales de ambas alternativas.

Tipo de corriente	Corriente continua	Corriente continua	Corriente alterna
Polaridad	Directa	Inversa	
Flujo de electrones e iones			
Aspecto de la penetración			
Acción decapantes	No	Si	Si. Una vez durante el semiciclo positivo
Balance calórico (aproximado)	70% en la pieza. 30% en la punta del electrodo	30% en la pieza 70% en la punta del electrodo	50% en la pieza 50% en la punta del electrodo
Penetración	Profunda y estrecha	Ancha y menos profunda	Media
Comportamiento del electrodo	Excelente. Ej. 400 A; 3,2 mm	Pobre. Ej. 30 A; 3,2 mm	Buena Ej. 225 A; 3,2 mm

Figura 6.8. Características de soldeo de acuerdo con la corriente seleccionada.



### - Arco con corriente continua:

Cuando se utiliza la polaridad directa, o sea, el electrodo conectado al polo negativo, la energía del arco se concentra fundamentalmente en la pieza, por lo que se obtiene un rendimiento térmico relativamente aceptable, una velocidad de soldeo mas rápida y una buena penetración. Por otra parte el electrodo soporta intensidades del orden de 8 veces mayores que si estuviese conectado al polo positivo, sin fundirse ni deteriorarse.

Si se invierte la polaridad, es decir, el electrodo conectado al polo positivo, el reparto térmico es menos favorable, lo que se traduce en un baño relativamente ancho, con poca penetración y una excesiva acumulación de calor en el electrodo, que provoca su calentamiento y rápido deterioro, incluso a bajas intensidades de corriente. De acuerdo con esto, la polaridad recomendada en corriente continua es la polaridad directa. No obstante, en el caso de soldar aleaciones ligeras de aluminio o manganeso, no es posible soldar con polaridad directa y se utiliza la polaridad inversa. Estos materiales forman una capa de óxidos refractarios que recubren el baño e imposibilitan su soldadura con polaridad directa. En cambio, con polaridad inversa se produce la vaporización de los óxidos y la rotura de los mismos, que flotan y se desplazan a los bordes del baño de fusión facilitando esta acción limpiadora la continuidad de la soldadura.

### - Arco con corriente alterna:

La corriente alterna reúne, aunque reducidas, las ventajas de las dos polaridades: el buen comportamiento durante el semiciclo de polaridad directa y el efecto decapante del baño durante el semiciclo de polaridad inversa.

Como principales inconvenientes presenta dificultades de cebado y de estabilidad del arco, lo que obliga a incorporar al equipo un generador de alta frecuencia.

Con corriente alterna, el arco se apaga cada vez que el voltaje es nulo, dos veces cada ciclo. Para mejorar la estabilidad la tensión de vacío debe incrementarse, y para ello añadimos al transformador una fuente de alta frecuencia, la cual puede ser aplicada continuamente, o cada vez que la corriente de soldeo pase por cero (la selección se realiza desde el panel de control).

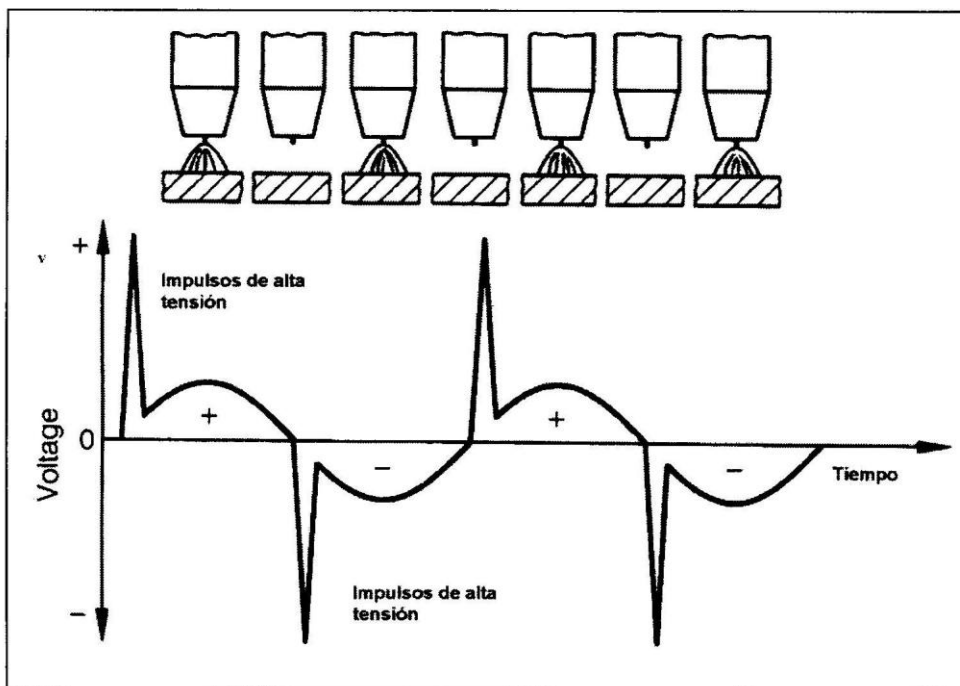


Figura 6.9. Corriente alterna con impulsos de alta frecuencia.

### III. Intensidad de soldeo

Tal y como se ha comentado hasta ahora, conectando el electrodo no consumible al polo negativo, se obtiene mayor penetración que conectándolo al polo positivo. Esto es debido a que si intentáramos soldar con polaridad inversa, no se podría hacer con lata intensidad, puesto que el punto de fusión del volframio es de  $3800^{\circ}\text{C}$  y conectándolo al polo positivo, en el que la temperatura es superior a los  $4200^{\circ}\text{C}$ , el electrodo se fundiría. Con polaridad directa si es posible mantener el electrodo con la punta afilada (mejora la estabilidad del arco), ya que la temperatura no supera los  $3600^{\circ}\text{C}$  en el electrodo, pudiéndose soldar así con mayor intensidad.

Por ejemplo, con un electrodo de volframio de 2.5 mm de diámetro se puede soldar hasta con 200 amperios con polaridad directa. Sin embargo con polaridad inversa, un electrodo de volframio de 6 mm de diámetro no puede emplearse con más de 120 amperios, porque el electrodo se fundiría.

### IV. Velocidad de soldeo

La velocidad de soldeo afecta tanto a la anchura del cordón como a la penetración, siendo su efecto más importante en el primero. Ya que para dos cordones de soldadura en los cuales el único parámetro que se varia es la velocidad de soldeo, veremos como el cordón que se ejecuta a mayor velocidad se incrementara considerablemente la anchura y disminuirá la penetración.

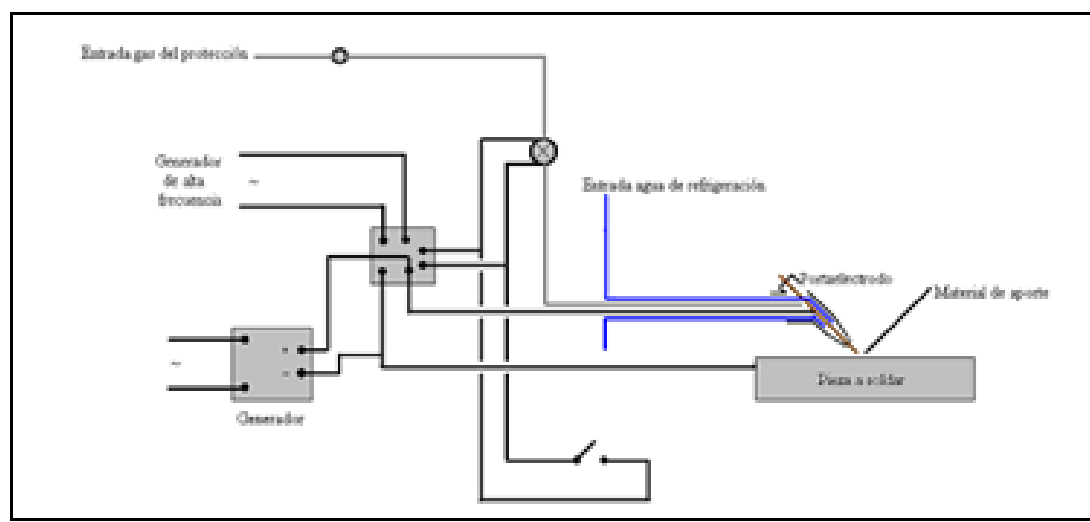
La velocidad de soldeo es un parámetro muy importante, el cual siempre se intenta que sea el



mínimo posible para elevar el rendimiento económico, y ser mucho más productivos. Sin embargo, en muchos otros casos, la velocidad de soldadura deberá adaptarse a los requisitos de calidad necesarios.

### 6.2.3. Equipo de soldeo

El equipo básico para el soldeo TIG consiste en una fuente de energía o de alimentación, un portaelectrodos, electrodo, cables de soldeo, botella de gas inerte y mangueras para la conducción del gas.



ura 6.10. Esquema de una instalación del proceso de soldeo TIG.

#### I. Fuentes de energía

La fuente de energía para el soldeo TIG debe presentar una característica descendente (de intensidad constante), para que la corriente de soldeo se vea poco afectada por las variaciones en la longitud del arco.

La fuente de energía debe tener un rango de variación de intensidad y una intensidad mínima baja (5-8 A). Además debe ser capaz de suministrar una intensidad tan alta como sea requerida por los espesores y el material que se va a soldar.

Debido a que en el proceso TIG podemos soldar con corriente continua y alterna, podemos encontrar distintos tipos de fuente dependiendo del tipo de corriente.



- Maquina de corriente alterna:

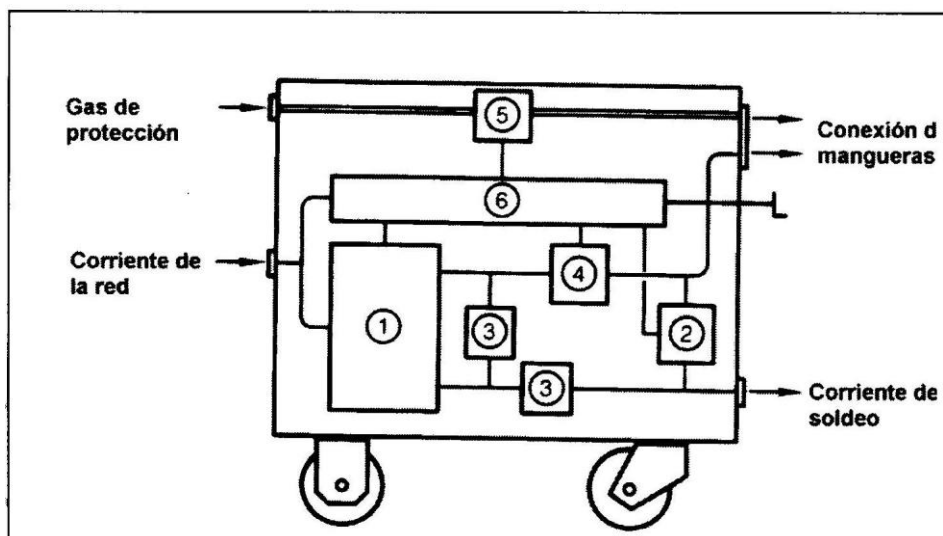


Figura 6.11. Componentes del equipo de corriente alterna.

- 1.- Transformador: convierte la corriente de la red en corriente adecuada para el soldeo, disminuyendo la tensión de la red e incrementando la intensidad.
- 2.- Generador de impulsos de alta frecuencia: genera impulsos de alta frecuencia y elevada intensidad para cebar el arco.
- 3.- Protector: protección del transformador contra los impulsos de alta tensión que podrían destruirle.
- 4.- Filtro capacitivo: compensación de la diferencia entre las dos mitades de cada onda que pueden provocarse durante el soldeo.
- 5.- Válvula magnética del gas de soldeo: apertura y cierre del gas de protección mediante medios electromagnéticos.
- 6.- Módulo de control: para el encendido y apagado de la corriente de soldeo, regulación de la corriente de soldeo, control del gas de protección con tiempo ajustable de pre y post flujo y control del balance de onda.



- Máquina de corriente continua:

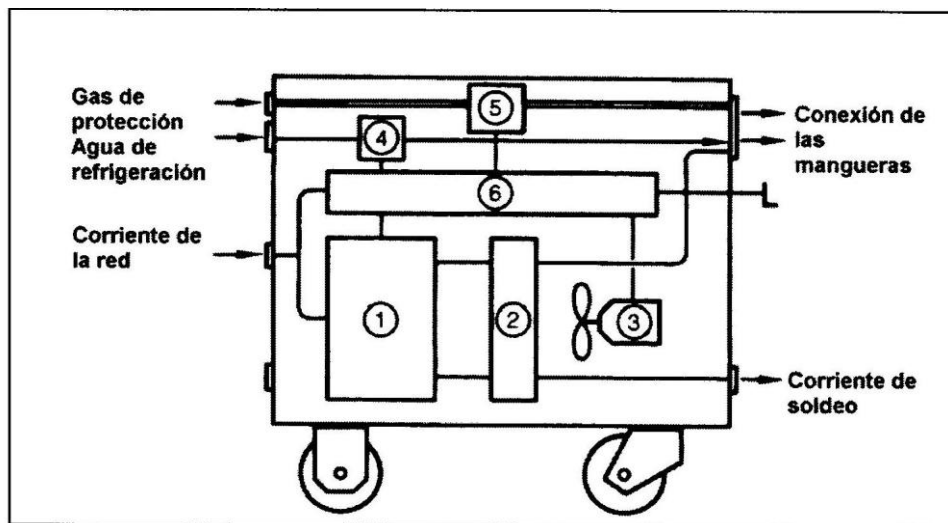


Figura 6.12. Componentes del equipo de corriente continúa.

- 1.- Transformador: convierte la corriente de la red en corriente adecuada para el soldeo, disminuyendo la tensión de la red e incrementando la intensidad.
- 2.- Rectificador: convertir la corriente alterna en corriente continua.
- 3.- Ventilador: enfriar el transformador y rectificador para evitar la destrucción por sobrecalentamiento.
- 4.- Controlador de agua de refrigeración: control de la presión del agua de refrigeración.
- 5.- Válvula magnética del gas de soldeo: apertura y cierre del gas de protección mediante medios electromagnéticos.
- 6.- Módulo de control: para el encendido y apagado de la corriente de soldeo, regulación de la corriente de soldeo, control del gas de protección con tiempo ajustable de pre y post flujo y apagado de la corriente de soldeo en caso de falta de agua.

Estos equipos también pueden tener una función pulsatoria, para los casos que se quiera obtener un mayor control del aporte térmico al metal base, este es conocido como TIG con arco pulsado. Mediante este proceso conseguimos una buena penetración con bajo aporte térmico, menor distorsión y una fácil soldadura de espesores finos.

## II. Portaelectrodo

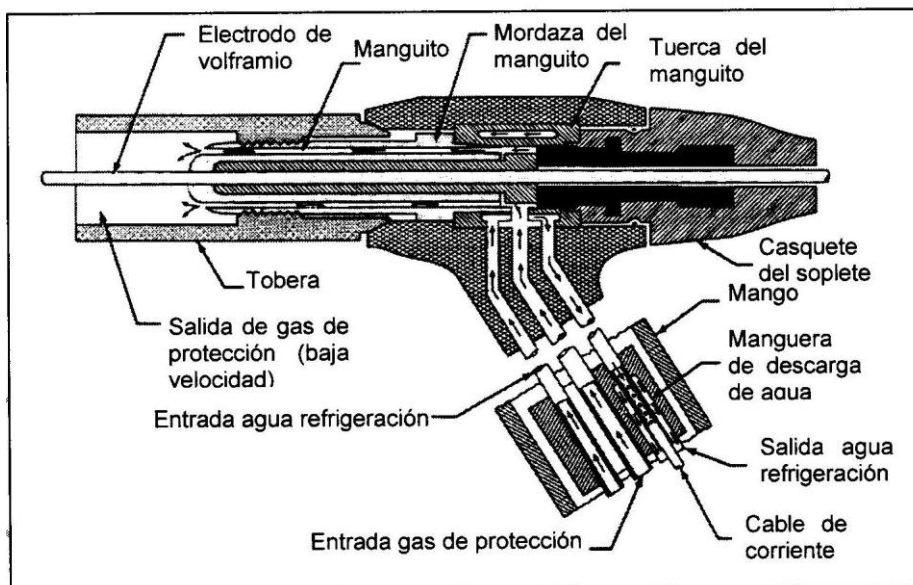


Figura 6.13. Portaelectrodo con refrigeración por agua para TIG.

Los portaelectrodos, también denominados sopletes, tienen la misión de conducir la corriente y el gas de protección hasta la zona de soldeo. Pueden ser de refrigeración natural (por aire) o de refrigeración forzada (mediante la circulación de agua). Los primeros se emplean en el soldeo de espesores finos, que no requieren grandes intensidades y los de refrigeración forzada se recomiendan para trabajos que exijan intensidades superiores a los 150-200 amperios. En estos casos la circulación de agua por el interior del portaelectrodos evita el sobrecalentamiento del mismo y a la vez de la boquilla.

El electrodo de wolframio que transporta la corriente hasta la zona de soldeo se sujeta rígidamente mediante una pinza alojada en el cuerpo del portaelectrodos. Cada portaelectrodos dispone de un juego de pinzas de distintos tamaños para la correcta sujeción de los diferentes diámetros de electrodos. Es muy importante que exista un buen contacto eléctrico entre electrodo y pinza.

El gas de protección llega hasta la zona de soldeo a través de una tobera de material cerámico, sujeta en la cabeza del portaelectrodos. Esta tobera tiene la misión de dirigir y distribuir el gas protector sobre la zona de soldeo. Cada portaelectrodos va equipado con un juego de toberas para las distintas exigencias de consumo de gas protector.

La mayoría de las boquillas llevan alojadas en su interior una lente de gas, la cual está formada por una malla de acero inoxidable con diminutos agujeros concéntricos que enfocan el gas protector produciendo un flujo estable y reduciendo así las turbulencias, asegurando una protección más efectiva.



#### 6.2.4. Electrodo no consumibles

La misión del electrodo en este proceso es únicamente la de mantener el arco sin aportar material al baño de fusión. Por este motivo y para evitar su desgaste, es muy importante que posea un elevado punto de fusión. Esta es la razón por la que cuando se suelda con corriente continua, el electrodo se suele conectar al polo negativo, ya que el calor generado es menor que en positivo.

En general se emplean tres tipos de electrodos que se clasifican en función de su composición.

- Wolframio puro
- Wolframio aleado con torio
- Wolframio aleado con zirconio

Al añadir al wolframio óxidos de torio o de zirconio aumentamos la emisividad, incrementándose el flujo de electrones, favoreciéndose el encendido y reencendido del arco y, como consecuencia su estabilidad. Además estos elementos permiten utilizar mayores intensidades de corriente, ya que elevan el punto de fusión del electrodo. De este modo se evita el desgaste del electrodo de wolframio puro que posteriormente contaminaría el baño de fusión.

Los diámetros disponibles para estos electrodos son 1, 1.6, 2, 2.4, 3.2, 4, 4.8, 5 y 6.4, y su longitud estándar es de 150 mm.

##### I. Tipos de electrodos

- Wolframio puro: está compuesto, tal y como su nombre indica, de wolframio puro, el cual su punto de fusión es de 3400°C aproximadamente.

En este tipo de electrodos es necesario que el extremo del electrodo sea redondeado.

El electrodo de wolframio puro es utilizado fundamentalmente con corriente alterna en el soldeo de aluminio y sus aleaciones, ya que con corriente alterna los electrodos de wolframio puro mantienen la punta del electrodo en buenas condiciones y esto permite una buena estabilidad del arco. También pueden ser utilizados en corriente continua, pero no tienen la facilidad de cebado ni la estabilidad de los electrodos con torio.

- Wolframio aleado con torio: el punto de fusión de esta aleación es de 4000°C aproximadamente.

En este tipo de electrodos es necesario que el extremo del electrodo esté afilado.

Es utilizado en el soldeo con corriente continua para aceros al carbono, de baja aleación, inoxidable, cobre, titanio, etc. Gracias al contenido de torio en el electrodo se produce un



incremento del flujo de electrones, el cual conlleva a un mejor cebado, una mayor resistencia a la contaminación y proporciona un arco más estable.

- Volframio aleado con zirconio: el punto de fusión de esta aleación es de unos 3800°C. Este tipo de electrodos tiene unas características intermedias entre los electrodos de volframio puro y los electrodos de volframio con torio. Este tipo de electrodos es utilizado tanto en corriente continua como con corriente alterna ya que combina las características de estabilidad de arco y punta adecuada típicas de los electrodos de volframio puro, con la facilidad de cebado y la permisibilidad de mayores intensidades de los electrodos aleados con torio.

### II. Acabado del extremo

La forma del extremo del electrodo es muy importante, ya que una correcta geometría favorece considerablemente la estabilidad del arco eléctrico. En general es preferible seleccionar un electrodo tan fino como sea posible, con el objetivo de concentrar el arco y obtener de este modo un baño de fusión reducido.

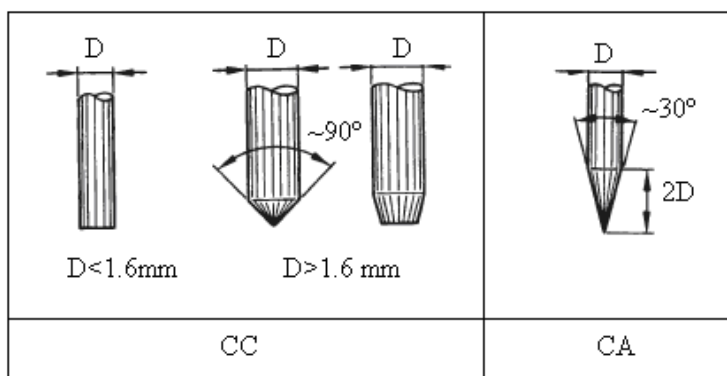


Figura 6.14. Afilado del electrodo según el tipo de corriente.

Los electrodos para soldeo con corriente continua deben tener punta. Es importante que el amolado se efectúe correctamente, el cual debe ser efectuado en la dirección longitudinal del electrodo.

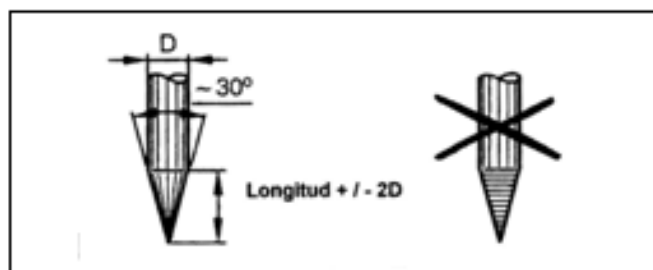


Figura 6.15. Preparación aconsejable para la punta del electrodo para soldeo con corriente continúa.



La longitud de la punta también debe ser la correcta, la cual es aconsejable que sea dos veces el diámetro del electrodo. También es importante evitar el extremo puntiagudo en exceso, ya que aumenta el riesgo de desprendimiento de tungsteno y se incorpore al baño de fusión como inclusión.

En el soldeo con corriente alterna el extremo de la punta debe estar ligeramente redondeado.

### 6.2.5. Consumibles

#### I. Varillas

El metal de aportación en el soldeo TIG no es siempre necesario cuando se sueldan piezas delgadas (de menos de 3 mm de espesor) utilizando una preparación de bordes recta o con bordes levantados. En el caso que sea necesario utilizar el material de aportación, es muy importante que este se mantenga libre de contaminaciones ya sea en forma de humedad, polvo o suciedad.

Puesto que el proceso de soldadura TIG es un proceso que no produce escorias y que se realiza en una atmósfera inerte que no provoca reacciones en el baño, el material de aportación deberá tener una composición química similar a la del material base.

Durante el proceso de soldeo es muy importante que la parte caliente de la varilla este lo suficientemente cerca del baño de fusión para que lo cubra el gas protector.

Normalmente las varillas se presentan en distintos diámetros, 1.1, 1.6, 2, 2.4, 3.2, 4 y 4.8 mm, y con una longitud de 900 mm.

Las varillas obedecen actualmente a las siguientes especificaciones de la American Welding Society, clasificadas en tres tipos:

- Varillas para aceros al carbono: estas varillas se clasifican en base a su composición química y propiedades mecánicas del material depositado.
- Varillas para aceros de baja aleación: estas varillas se clasifican de acuerdo con su composición química y propiedades mecánicas del metal depositado.
- Varillas para aceros inoxidable: estas varillas se clasifican de acuerdo con su composición química y propiedades mecánicas e incluyen aceros en los que el cromo excede del 4% y el níquel no supera el 50% de la aleación.



## II. Insertos consumibles

Los insertos consumibles se utilizan para las pasadas de raíz realizadas desde un solo lado, donde se requiera una alta calidad de la soldadura, así como cuando el soldeo se deba realizar en zonas de difícil accesibilidad. Éstos generan un aporte de material extra en la raíz del cordón que asegurara una correcta soldadura. Los insertos tienen diferentes formas, por ello el diseño de la unión deberá ser compatible con la forma del inserto para conseguir soldaduras de alta calidad.

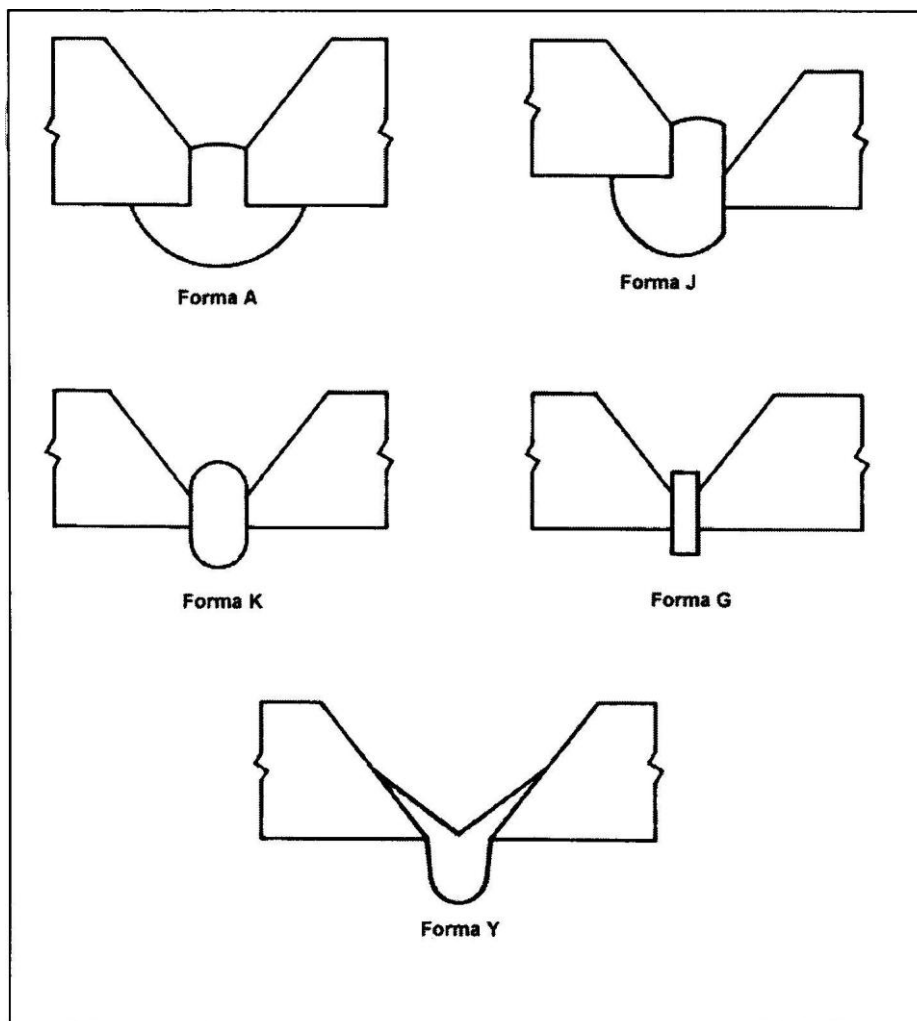


Figura 6.16. Insertos consumibles más comunes.

Los insertos son muy empleados en tuberías para asegurar la penetración, en depósitos a presión y en estructuras.

## III. Gases de protección

- Descripción y funciones:

La función principal del gas de protección es desplazar el aire de la zona de soldadura para proteger al metal fundido, baño de fusión y el electrodo, para evitar su contaminación. Esta contaminación es originada principalmente por el oxígeno, nitrógeno y agua presentes en la



atmosfera que pueden reaccionar con el metal fundido, causando defectos que debilitan la soldadura.

El gas de protección también influye en muchos otros factores, por eso habrá que tener en cuenta todos ellos. Estos factores son:

- el tipo de transferencia de metal
- la estabilidad del arco
- la cantidad y en la calidad de los humos
- las propiedades mecánicas
- la penetración y en el tipo y tamaño de cordón
- la velocidad de soldadura
- los costes de soldadura
- la cantidad de energía que pasa a través del arco eléctrico
- formar parte del plasma que se genera al pasar la intensidad de soldadura a través del espacio entre el electrodo y el metal a soldar.

Debido a todos estos factores a los cuales influye el gas de protección, a la hora de la selección del gas adecuado, en ocasiones, un factor será el que tendrá mayor importancia, pero en otras será necesario hacer una evaluación de todos ellos.

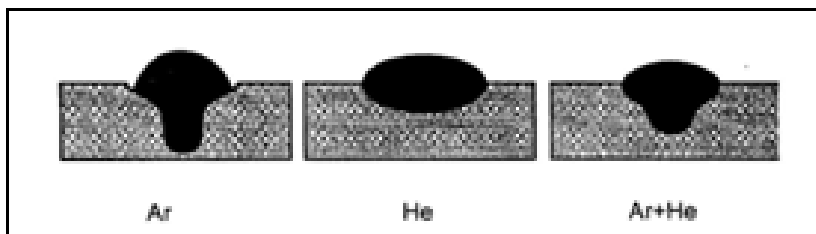


Figura 6.17. Forma del cordón en función del gas de protección.

Para el soldeo TIG los gases de protección utilizados son los siguientes:

- helio
- argón
- mezclas de argón + helio
- mezclas de argón + hidrogeno
- mezclas de argón + hidrogeno + helio

Las características principales de estos gases son:

- Argón:
  - I. eficiente protección debido a su alta densidad: el argón es 1.4 veces más pesado que el aire, lo que significa que tiende a cubrir bien el área de



soldadura en contraposición al helio que es mucho más ligero que el aire. Debido a que la densidad del argón es 10 veces superior a la del helio se requiere un caudal de helio dos o tres veces superior a la del argón para proporcionar la misma protección. Debido a su alta densidad el argón es aconsejable para soldar bajo techo y vertical y es menos sensible a las corrientes de aire.\* Véase anexo I. Normativa EN 1089-3. Código de colores de las botellas de gas.

- II. Cebado fácil: es más fácil cebar el arco con el argón que con el helio, por la menor energía de ionización del argón.
  - III. Buena estabilidad del arco: el argón al tener una baja energía de ionización facilita el cebado y origina arcos estables y tranquilos con pocas proyecciones.
  - IV. Económico: el argón es generalmente menos costoso que el helio (Europa).
  - V. Idóneo para pequeños espesores: al tener una energía de ionización reducida, necesita tensiones reducidas y produce consecuentemente arcos eléctricos poco energéticos, con un aporte de calor reducido, resultando idóneo para el soldeo de piezas de pequeños espesores.
  - VI. Forma del cordón y penetración: el argón tiene una conductividad térmica más baja que el helio, por lo que el calor se concentra en la zona central del arco produciendo mayores penetraciones.
- Helio:
- I. Potencial de ionización elevado: esto se refleja con un elevado aporte térmico, por ello será ideal para la soldadura de grandes espesores. También influirá en la estabilidad del arco, siendo inferior a la del argón.
  - II. Alta conductividad: por lo que la columna de plasma será ancha y se obtendrán cordones de soldadura anchos y de poca penetración.
  - III. Muy baja densidad.
  - IV. Mayor velocidad de soldeo debido a la mayor aportación térmica.
- Mezclas argón/helio: las mezclas de estos gases inertes entre sí, ofrecerá prestaciones complementarias en relación a la proporción que haya de cada uno de ellos.





- Hidrógeno: se utiliza el hidrogeno como aditivo del argón para obtener las siguientes ventajas:
  - I. Aumentar el aporte térmico.
  - II. Permite aumentar la velocidad de desplazamiento.
  - III. Aumenta la anchura y penetración del cordón de soldadura.

### 6.2.6. Técnicas operativas

#### I. Cebado del arco

El método más sencillo de cebado de arco, es el cebado por raspado. Este método consiste en raspar el electrodo muy cuidadosamente contra el metal base, pero hay un elevado riesgo de inclusiones de volframio en el metal base. Para evitar esto el arco puede ser cebado en una placa adicional de cobre, conocida como pieza de arranque. Otra desventaja del cebado por raspado es la facilidad con la que puede dañarse el electrodo.

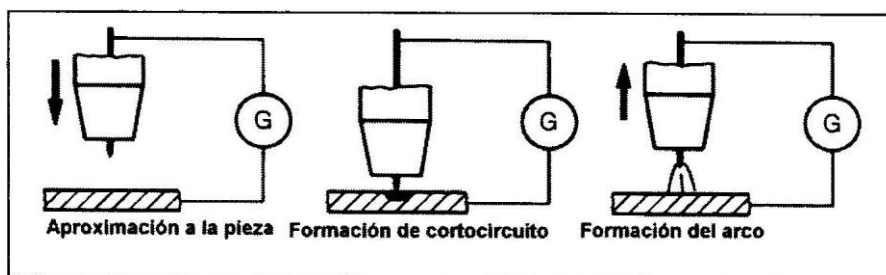


Figura 6.18. Cebado del arco por raspado.

Para evitar los inconvenientes del cebado por raspado, se utiliza una corriente de alta frecuencia y elevada tensión. Este método es utilizado mayoritariamente en corriente alterna y algunas veces en corriente continua. Por tanto, cuando se utiliza corriente alterna no es necesario tocar con el electrodo la pieza para establecer el arco, sino poner bajo tensión el circuito de soldeo y sujetar el portaelectrodos de tal forme que quede a una distancia de entre 2-3 mm de la pieza. En ese momento, la corriente de alta frecuencia vence la resistencia del aire y se establece el arco.

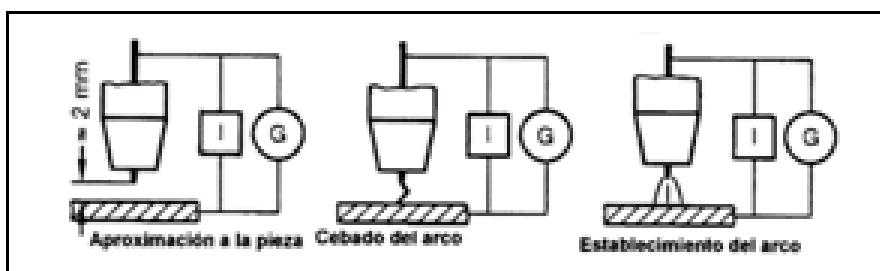


Figura 6.19. Cebado del arco por corriente de alta frecuencia.



Existen otros sistemas de cebado de arco tales como:

- La aplicación de un pulso de alto voltaje entre el electrodo y la pieza (utilizado generalmente en corriente continua).
- La utilización de un arco piloto entre el electrodo y la pieza (el cual proporciona la cantidad de gas ionizado necesario para establecer el arco).
- 
- La utilización de condensadores de descarga.
- El método "lift-arc": este método consiste en tocar suavemente la pieza con el electrodo manteniendo el portaelectrodo perpendicularmente a la pieza. En este instante la maquina detecta un cortocircuito y establece una corriente de bajo voltaje en el circuito, que contribuye a calentar el electrodo. Cuando se eleva el electrodo, la maquina detecta la ausencia de cortocircuito y automáticamente se inicia el arco favorecido por el precalentamiento del electrodo.

Para extinguir el arco, tanto en corriente alterna como en corriente continua, basta con retirar el electrodo mediante un rápido movimiento de muñeca.

Algunos equipos llevan instalados un dispositivo que se acciona por medio de un pedal, que permite disminuir gradualmente la intensidad de la corriente al acercarse al final de la soldadura. Este dispositivo disminuye el tamaño del cráter y se opone a su fisuración. En otros equipos el accionamiento de esta función se realiza directamente desde el portaelectrodos.

## **II. Técnica de soldeo manual**

En el proceso de soldadura TIG, la técnica que se debe seguir para iniciar y efectuar el soldeo manual es:

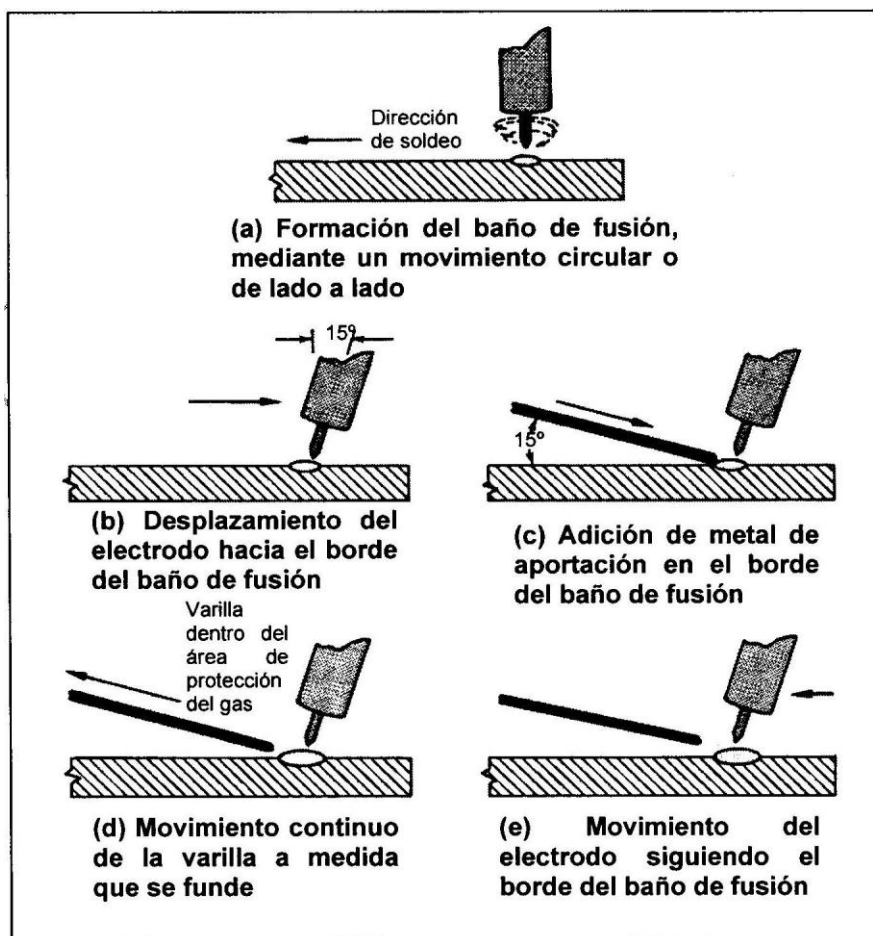


Figura 6.20. Técnica a seguir para el soldeo manual.

### III. TIG con arco pulsado

El proceso TIG con arco pulsado se emplea con la finalidad de obtener un mayor control sobre el aporte térmico al metal base (por razones metalúrgicas o para espesores finos) y una mejor calidad de soldadura.

Las principales ventajas del arco pulsado frente al soldeo convencional son:

- Menor aporte térmico, que produce menores deformaciones y un baño de fusión y un ZAT más estrecha.
- Mayor penetración.
- Mejor control del baño de fusión en posiciones difíciles.

El proceso TIG con arco pulsado consiste en una variante del proceso TIG en la que la corriente de soldadura varía cíclicamente entre un nivel mínimo (corriente de fondo) y máximo (impulso), a frecuencias que dependerán del trabajo a realizar y que pueden oscilar entre milésimas de segundo y segundo. El resultado es una corriente y arco pulsatorios, que al



aplicarlos a la soldadura, producen una serie de puntos que se solapan hasta formar un cordón continuo.

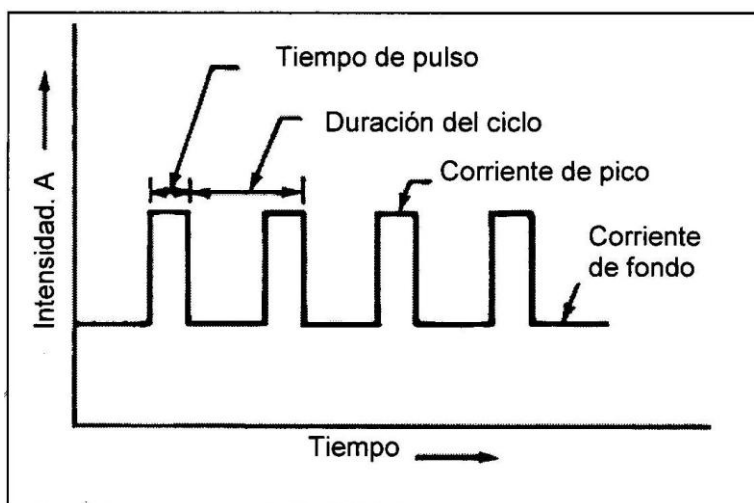


Figura 6.21. Ciclo de corriente en el soldeo con arco pulsado.

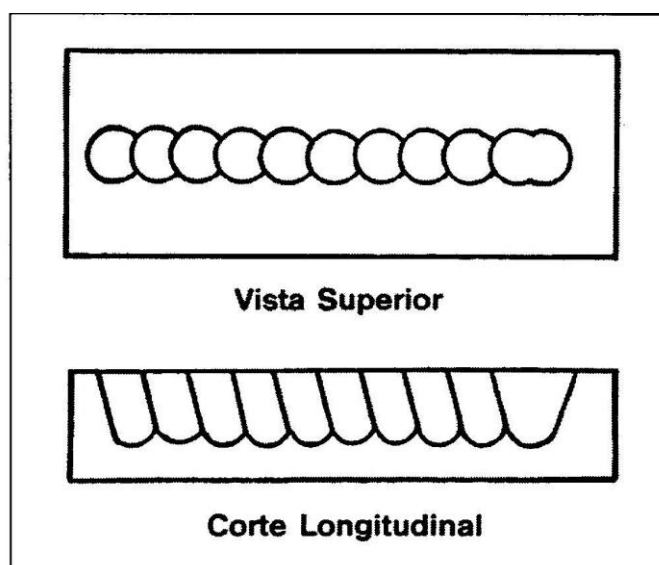


Figura 6.22. Soldadura obtenida por el proceso TIG.

Cada uno de estos impulsos que constituyen el cordón de soldadura se obtiene al producirse un impulso de gran intensidad. Posteriormente, al disminuir la corriente hasta el valor base, se produce un enfriamiento del baño y la solidificación parcial del mismo, hasta la generación de un nuevo impulso vuelve a iniciar todo el proceso.

El proceso de soldadura TIG por arco pulsado puede aplicarse manual o automáticamente, y puede realizarse con o sin material de aportación.

La intensidad de fondo suele ser de 15 a 30 amperios de intensidad, mientras que la intensidad



de pico depende del material a soldar, penetración deseada y de la duración del pulso. En general se puede decir que la corriente de pico será un 40 a 60 % más alta que la corriente en el soldeo no pulsado.

#### IV. Soldeo orbital

El soldeo orbital es muy utilizado para el soldeo automático de tubos. Consiste en hacer girar el electrodo mecánicamente alrededor de la unión circunferencial con o sin aportación de varilla.

Para uniones tubo-placa la soldadura se hace interiormente de forma automática, protegiendo mediante la circulación de un gas inerte por el interior del tubo.

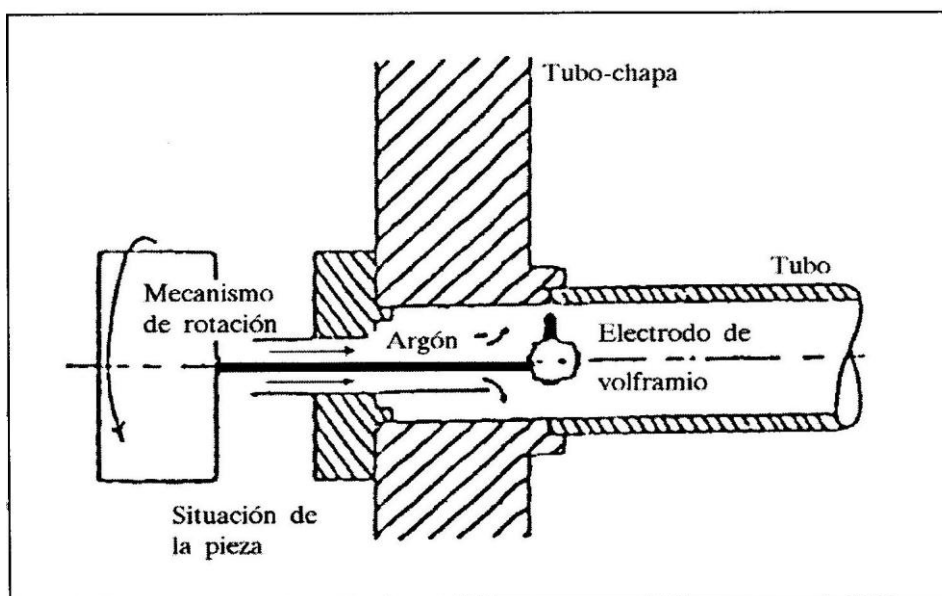


Figura 6.23. Soldeo orbital.

#### V. Soldeo con alambre caliente.

Otra variedad del proceso TIG, es el soldeo TIG con varilla caliente. Se puede utilizar en procesos automáticos o manuales. En esta variante la varilla aportada de forma continua se precalienta con una corriente baja, entrando a alta temperatura en el baño, fundiéndose así a mucha más velocidad y lográndose altas velocidades de aportación.

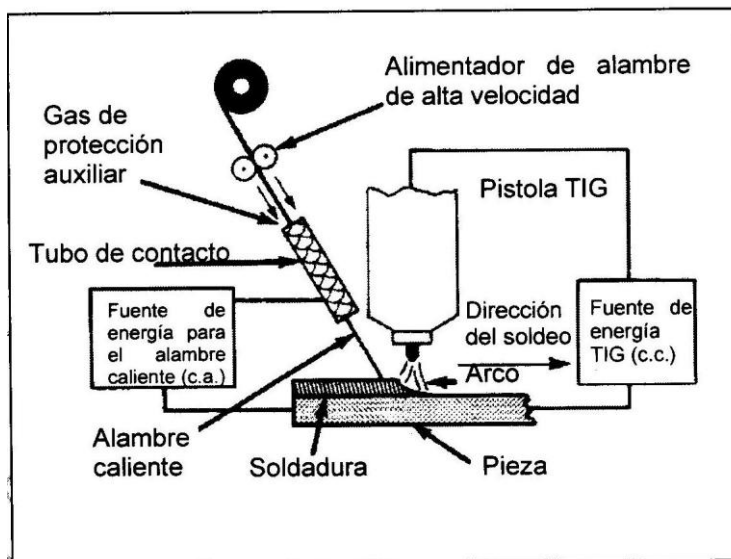


Figura 6.24. Instalación para soldeo TIG con alambre caliente.

El precalentamiento del alambre de aportación se consigue mediante el paso de una corriente alterna a través del mismo. Esta corriente se suministra por una unidad independiente, que puede regularse en función del diámetro del hilo y de la velocidad de alimentación.

El soldeo con alambre caliente se utiliza principalmente para recargues y para soldeo automatizado de piezas de grandes espesores.

### 6.2.7. Ventajas y limitaciones del proceso

Las ventajas del proceso son:

- I. Proceso adecuado para unir la mayoría de los metales.
- II. Arco estable y concentrado.
- III. Aunque se trata de un proceso esencialmente manual, se ha automatizado para algunas fabricaciones en serie, como tubería de pequeño espesor, soldada longitudinal o helicoidalmente y para la fijación de tubos a placas.
- IV. No se producen proyecciones (al no existir transporte de metal en el arco).
- V. No se produce escoria.
- VI. Produce soldaduras lisas y regulares.
- VII. Se puede utilizar con o sin metal de aporte, en función de la aplicación.



- VIII. Puede emplearse en todo tipo de uniones y posiciones.
- IX. Alta velocidad de soldeo en espesores por debajo de 3-4 mm.
- X. Se pueden conseguir soldaduras de gran calidad.
- XI. Permite un control excelente de la penetración en la pasada de raíz.
- XII. No requiere el empleo de fuentes de energía excesivamente caras.
- XIII. Permite el control independiente de la fuente de energía y del metal de aportación.
- XIV. No produce humos.

Las limitaciones del proceso son:

- I. La tasa de deposición es menor que la que se puede conseguir con otros procesos de soldeo por arco
- II. Su aplicación manual exige gran habilidad por parte del soldador.
- III. No resulta económico para espesores mayores de 10 mm.
- IV. En presencia de corrientes de aire puede resultar difícil conseguir una protección adecuada de la zona de soldadura.
- V. Mayor cantidad de radiación ultravioleta que en otros procesos, lo que requiere protección adecuada.

### **6.2.8. Aplicaciones**

La soldadura GTAW nos ofrece una soldadura de muy buena calidad, excelente pureza metalúrgica, exenta de defectos y de buen acabado superficial, por ello es utilizado en la realización de soldaduras de alta responsabilidad. Debido a estas características comentadas anteriormente, es habitual realizar el cordón de raíz con este proceso en soldaduras de responsabilidad en las cuales no se pueda realizar un resanado de la raíz. No resulta económica para soldar espesores superiores a 8 mm, debido a su baja tasa de deposición.

El proceso de soldeo TIG se aplica principalmente a los aceros inoxidables, aceros al carbono, al Cr-Mo resistentes al calor, aluminio, magnesio, níquel y sus aleaciones. Cabe destacar la importancia de este proceso en soldeo de cascos de embarcaciones de aluminio, ya que la



técnica de soldeo TIG con corriente alterna e impulsos de alta frecuencia es con la que se obtienen mejores resultados. Gracias a esta modalidad de soldeo que nos ofrece la soldadura TIG, conseguimos menor aportación térmica debido a la utilización de corriente alterna, y gracias a los impulsos de alta frecuencia conseguimos efectos decapantes, rompiendo la capa de alúmina tan característica del aluminio.

En el soldeo TIG, siempre que sea posible, se recomienda la soldadura en horizontal, ya que simplifica la operación y permite obtener una calidad más satisfactoria. En la mayoría de los casos, el portaelectrodos se desplazara en línea recta, a lo largo de la junta, sin ningún tipo de balanceo.

Los fines más usuales del soldeo TIG en la construcción naval son el soldeo de tubería y soldeo de la superestructura del buque. En cuanto al soldeo de tubería hay que tener en cuenta que todos los fluidos que se deben transportar de un sitio a otro en el buque se conducen mediante tubería. En un buque hay una gran cantidad de metros de tuberías de conducciones de agua dulce, agua salada, combustible, aceite etc. Las operaciones de soldeo que se realizan en tubería son:

- Conformación de la tubería.
- Empalme longitudinal de tubería.
- Unión en ángulo de tuberías.
- Unión de la tubería con las bridas.
- Disposición de la tubería en el buque.

En las redes de tuberías de un buque no todos los tramos están soldados, ya que interesa que la tubería sea desmontable en distintos tramos para poder realizar reparaciones y cambios de la manera más rápida y eficaz posible. Para la unión de estos tramos de tubería se utilizan unas piezas circulares y en forma de anillo se sueldan a la tubería y que se conocen con el nombre de bridas.



Figura 6.2.5 Unión en ángulo de tubería.

En cuanto a la utilización del soldeo TIG en unión de superestructuras cada vez es más común. El peso de las superestructuras dispuesta en un buque tienen un gran importancia en la estabilidad del buque. Si el peso de las superestructuras es muy elevado, el centro de





gravedad del buque se desplaza hacia arriba. A mayor altura del centro de gravedad peor es la estabilidad del buque. Para solventar este problema, es común que para la fabricación de las superestructuras se utilice un material más ligero que el utilizado para la construcción del casco, habitualmente se sustituye el acero empleado en el casco por el aluminio, que presenta unas buenas propiedades mecánicas y un peso considerablemente menor. Debido a la utilización del aluminio, el empleo del proceso de soldeo TIG posee una gran importancia en la construcción naval, ya que es el proceso que presenta mayor calidad de uniones de aluminio.

### 6.3. Soldadura por arco metálico con protección de gas (GMAW)

#### 6.3.1. Principios del proceso

La soldadura eléctrica por arco metálico con protección de gas, proceso más conocido por las siglas MIG/MAG, es un proceso de soldadura en el cual el calor necesario para la soldadura es generado por un arco que se establece entre un electrodo consumible y el metal que se va a soldar. El electrodo es un alambre sólido desnudo que se alimenta de forma continua automáticamente, y se convierte en el metal depositado según se consume. El electrodo, arco, metal fundido y zonas adyacentes del metal base quedan protegidas de la contaminación de los gases atmosféricos mediante un flujo de gas protector que se aporta por la boquilla de la pistola, concéntricamente al electrodo.

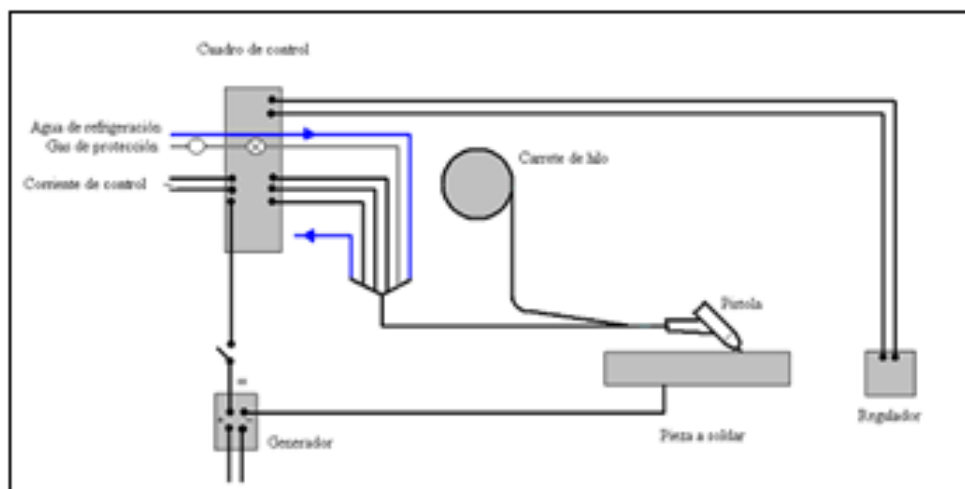


Figura 6.26. Instalación del proceso de soldadura MIG/MAG.

Este proceso, puede trabajar en modo semiautomático y automático, siendo fácilmente adaptado para su utilización con robot. Eligiendo el consumible y gas de protección adecuados, pueden soldarse con este proceso todos los metales y aleaciones utilizados comercialmente.

El desarrollo de los alambres tubulares, “metal cored” y “flux cored” ha permitido aportar ventajas frente la utilización de este proceso con alambre macizo. La soldadura con el alambre “metal cored”, se considera una variación del proceso MIG/MAG, para su utilización necesita



gas de protección, permitiendo una mayor velocidad de deposición con una elevada eficiencia, no deja apenas escoria y el nivel de humos es similar al de los alambres macizos. La soldadura con alambre “flux cored” se considera un proceso diferente del MIG/MAG (GMAW) que se denomina FCAW (proceso visto en el siguiente apartado).

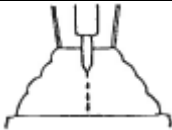
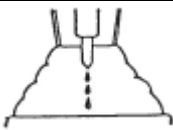
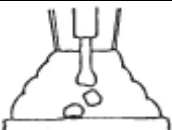
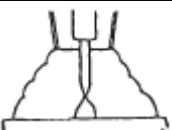
Es conveniente tener en cuenta que aunque se mencione MIG, cuando se utiliza un gas de protección activo, debe entenderse como MAG y que en este proceso, al electrodo a veces se le denomina alambre o hilo y al soplete, pistola.

**6.3.2. Tipos de transferencia.**

La transferencia del metal desde el electrodo hasta la pieza puede realizarse básicamente de dos formas. En primer lugar, pueden desprenderse gotas del electrodo y moverse a través del arco hasta llegar a la pieza. En segundo lugar, las gotas de metal también pueden transferirse del electrodo a la pieza cuando el electrodo contacta con el metal fundido depositado por soldadura.

Los distintos tipos de transferencia son:

- I. Arco corto o cortocircuito
- II. Globular
- III. Arco largo o arco spray
- IV. Arco pulsado
- V. Arco largo de elevada densidad de corriente

	Arco spray	Arco pulsado	Arco globular	Arco arco Cortocircuito
Forma				
Polaridad	Inversa	Inversa	Directa	Inversa
Gas de protección	Argón o Argón + Oxígeno	Argón o Argón + Oxígeno	CO <sub>2</sub>	CO <sub>2</sub> o CO <sub>2</sub> + Argón
Intensidad	Muy alta	Alta	Baja	Muy baja
Estabilidad del arco	Muy buena	Buena	Mala	Aceptable
Penetración	Buena	Buena	Muy poca	Poca



Input térmico	Muy alto	Alto	Bajo	Medio
---------------	----------	------	------	-------

Figura 6.27. Tabla resumen de las propiedades según el modo de transferencia.

El tipo de transferencia y su tamaño están determinados por un cierto número de factores de los cuales los que tienen más influencia son:

- I. Tipo y magnitud de intensidad de la soldadura.
- II. Diámetro y composición del electrodo.
- III. La longitud del electrodo entre la punta de contacto y el arco.
- IV. Longitud de arco o voltaje.
- V. La composición del gas de protección.

### I. Transferencia por arco corto o cortocircuito

Es una variación del proceso en la que el electrodo se deposita durante los sucesivos cortocircuitos. La transferencia de metal tiene lugar cuando el electrodo entra en contacto con el metal base. En este tipo de transferencia la relación entre la velocidad de fusión del electrodo y su velocidad de alimentación dentro de la zona de soldadura hace que se alterne de modo intermitente el arco eléctrico y el cortocircuito entre el electrodo y el metal base.

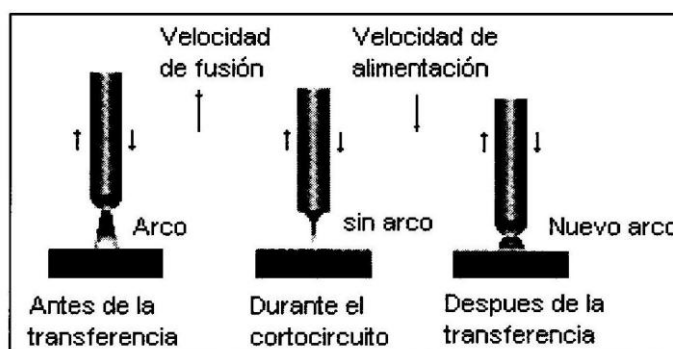


Figura 6.28. Transferencia por arco corto.

El electrodo que es alimentado a una velocidad constante, supera la velocidad de fusión. Cuando el alambre toca el metal base, se produce el cortocircuito y durante este tiempo no hay arco, la intensidad comienza a fluir a través del alambre y a elevarse, produciéndose el calentamiento del alambre hasta un estado plástico. En este momento, el alambre comienza a estrangularse debido a la fuerza “pinch” originado por la fuerza electromagnética. Dependiendo del nivel de intensidad y la fuerza “pinch” se forma la gota que se transfiere al baño de fusión,



estableciéndose de nuevo el arco.

La transferencia por arco corto se obtiene con bajos niveles de intensidad. La transferencia de metal del electrodo a la pieza se produce únicamente durante el periodo en que están en contacto, esto sucede entre 60 a 150 veces por segundo. La mayor o menor transferencia de metal puede ser controlada ajustando la inductancia de la fuente de alimentación, que variará la velocidad de aumento de la intensidad en el momento del cortocircuito. Variando por tanto los tiempos de cortocircuito y de arco, se puede regular el calor aportado a la pieza y el tamaño del baño fundido.

Este modo de transferencia se emplea en un gran número de aplicaciones, y esta especialmente indicado para:

- I. La soldadura de espesores delgados dado que su aporte térmico es bajo y para puntear preparaciones con huelgos excesivos.
- II. Soldadura en todas las posiciones.

La mayoría de soldaduras con arco corto se realizan con alambres de diámetro pequeño que van de 0,8 a 1,2mm de diámetro. Diámetros más elevados, necesitan una intensidad demasiado elevada para la mayoría de las aplicaciones.

### **ii. Transferencia por arco globular**

La transferencia por globular se caracteriza por la formación de una gota relativamente grande de metal fundido en el extremo del electrodo. Esta gota se va formando y sosteniendo por la tensión superficial. El arco está saltando continuamente entre la parte de la gota que está más próxima al metal, donde solo es necesario un voltaje mínimo para sustentar el arco. Cuando la fuerza de gravedad supera a la fuerza de tensión superficial, la gota cae, golpea en el metal base, salpicando y produciéndose las salpicaduras que salen del baño y caen al metal base. A diferencia de la transferencia con arco corto hay arco eléctrico la mayor parte del tiempo.

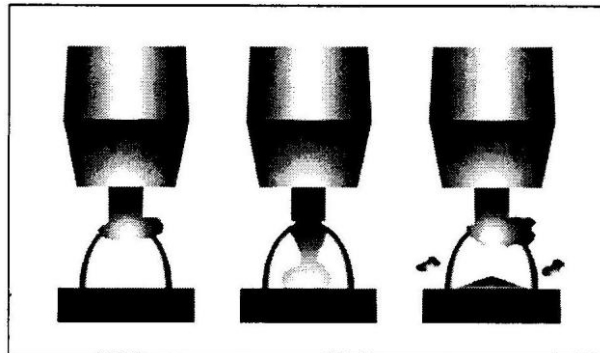


Figura 6.29. Transferencia por arco globular.

Este modo de transferencia tiene lugar cuando el ajuste de voltaje e intensidad superan a los del arco corto.

La transferencia globular se caracteriza por dar lugar a un gran tamaño de gota del orden de 2 a 4 veces más grande que el diámetro del alambre.

Este tipo de transferencia no es usualmente empleada debido a la baja eficiencia del proceso. Es el tipo de transferencia que produce más salpicaduras, pudiendo llegar a producir hasta un 10-15% del metal soldado de salpicaduras. Debido a la falta de eficiencia del proceso, se obtienen velocidades de soldadura o de tamaño de cordón inferiores a los obtenidos con arco corto o largo con similares velocidades de alimentación de alambre.

### iii. Transferencia por arco largo o spray.

En la transferencia por arco largo las gotas son iguales o menores que el diámetro de alambre, y su transferencia se realiza desde el extremo del alambre, anteriormente afilado, al baño fundido en forma de una corriente axial de gotas finas de cientos por segundo. Las gotas saltan una a continuación de otra, pero no están interconectadas.

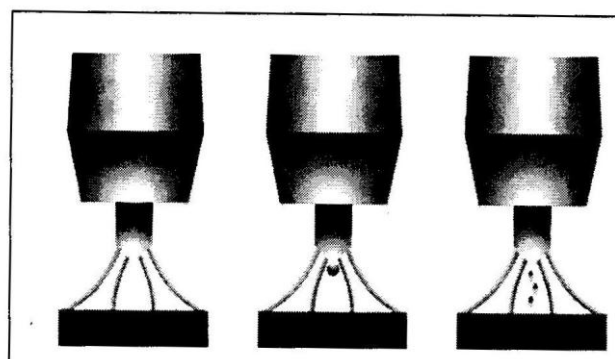


Figura 6.30.. Transferencia por arco largo.



Debido al afilado del extremo del alambre, la densidad de corriente y la fuerza “pinch” son muy elevadas. Esto hace que las gotas sean más pequeñas que el diámetro del alambre. Las gotas son aceleradas por el campo magnético, en vez de transferirse por gravedad como en el arco globular y son absorbidas dentro del baño de fusión en vez de salpicar.

Todos los aceros, al carbono e inoxidables, y la mayoría de los otros metales pueden soldarse por arco largo. La transferencia por arco largo es un proceso limpio y de elevada eficiencia. Se pueden emplear todos los diámetros de alambre. Para la mayoría de las aplicaciones en el rango de intensidades de 175 a 500 amperios son adecuados los alambres desde 0,9 a 1,6mm de diámetro. Si el equipo está ajustado correctamente, no hay apenas salpicaduras, y el 97-98% del alambre de soldadura es depositado en el baño de fusión.

#### IV. Transferencia por arco pulsado

La transferencia por arco pulsado se realiza mediante arco largo, pero que se produce en pulsos a intervalos regularmente espaciados en lugar de suceder al azar, como ocurre en la transferencia por arco largo.

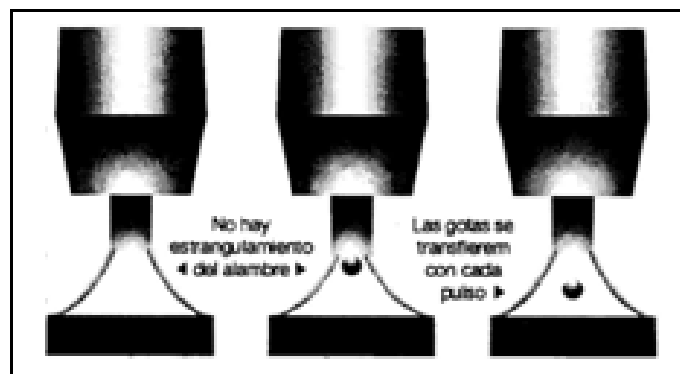


Figura 6.31. Transferencia por arco pulsado.

En el gráfico podemos observar una onda cuadrada de intensidad-tiempo. La intensidad superior se llama “pico” y la intensidad baja de la onda cuadrada se llama intensidad “base” o “fondo”. Esta intensidad, normalmente de 20-40 amperios, sirve para mantener el arco y precalentar el electrodo que va avanzando continuamente. Cuando la intensidad se eleva a la intensidad pico se transfiere una gota en arco largo.

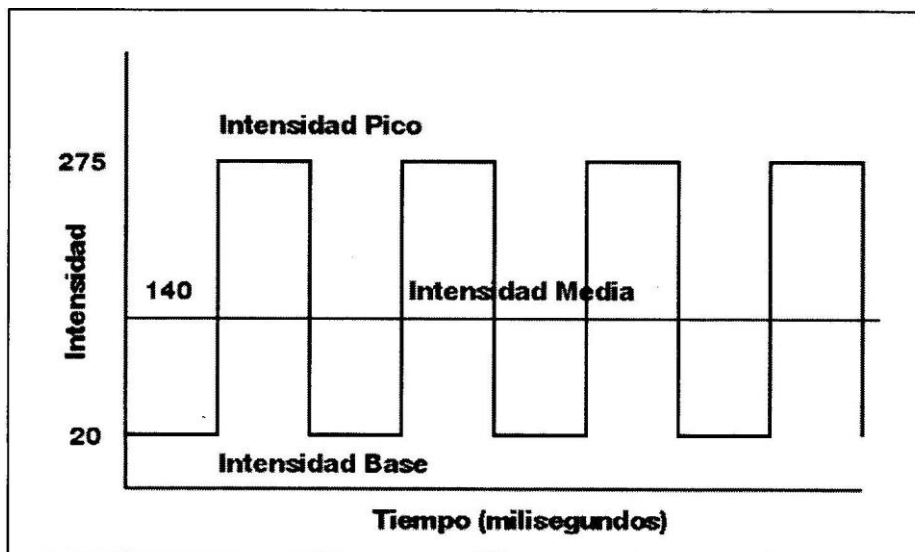


Figura 6.32. Grafico de la onda intensidad-tiempo de transferencia por arco pulsado.

El resultado es producir una transferencia que combina el bajo input térmico asociado con la transferencia por arco corto, con la limpieza, sin salpicaduras, y buena penetración asociada a la transferencia por arco largo. Esto permitirá soldar secciones inferiores a 3mm sin proyecciones, obtener menores deformaciones, y soldar en todas las posiciones.

Los equipos inverter pulsados, con mayor velocidad de subida de intensidad, pueden reducir la cantidad de humos asociada con la soldadura MIG con elevada intensidad. Parte de los humos están originados por el sobrecalentamiento del alambre. La rápida subida de la intensidad, reduce el sobrecalentamiento y reduce la velocidad de generación de humos.

#### V. Transferencia con elevada densidad de corriente

Este tipo de transferencia exige el empleo conjunto de una determinada combinación de alimentación de alambre, una longitud de alambre (stick out) y un gas de protección. Las velocidades de deposición que se encuentran con este tipo de transferencia son del orden de 5 a 12kg/h, mientras que con arco largo está entre 3 y 5kg/h. este tipo de transferencia está dividida entre transferencia por arco largo rotacional y no rotacional.

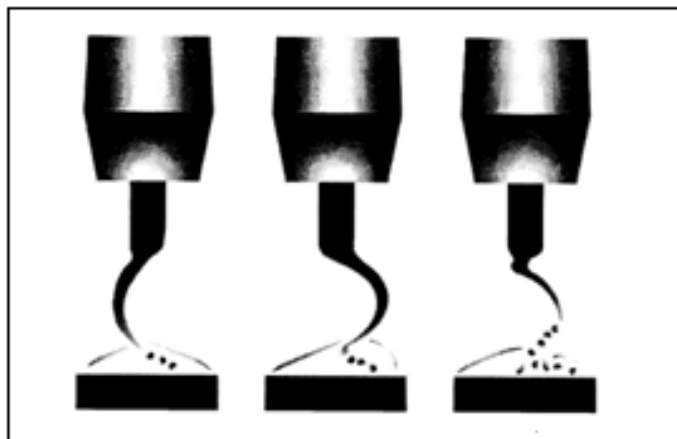


Figura 6.33. Transferencia con elevada densidad de corriente.

Mediante la utilización de un alambre macizo, un alimentador que permita elevada velocidad de alimentación (superior a 20 metros/minuto), una gran longitud de alambre y una mezcla de gases adecuados, podremos obtener una transferencia rotacional. La elevada longitud del alambre crea una resistencia elevada que produce el calentamiento del alambre que llega a fundir a su extremo final. El paso de la intensidad a través del alambre genera un campo magnético y unas fuerzas que hacen que el extremo del alambre fundido comience a rotar de forma helicoidal.

No existe rotación cuando se incrementa la conductividad térmica del gas y la tensión superficial del extremo fundido del electrodo. La velocidad de desprendimiento de gotas a través del arco desciende pero su volumen se incrementa.

### 6.3.3. Equipo MIG/MAG.

La instalación de un proceso de soldadura MIG/MAG está formada por:

- I. Soplete sin refrigerar o refrigerado por agua.
- II. Alimentador de alambre
- III. Control
- IV. Fuente de alimentación o grupo de energía
- V. Suministro de gas con regulación
- VI. Alambre consumible
- VII. Cables y mangueras de conexión
- VIII. Circuito de refrigeración de agua

#### I. Soplete

Los sopletes para soldadura MIG son considerablemente más complejos que los empleados para la soldadura con electrodo revestido. En primer lugar es necesario que el alambre se mueva a través de la pistola a una velocidad predeterminada y en segundo lugar, la





pistola debe ser diseñada para que transmita la intensidad al electrodo y dirigir el gas de protección. El método de refrigeración, con agua o aire (solo con el gas de protección), y la localización de los controles de alimentación del electrodo y gases de protección, añaden complejidad al diseño de los sopletes.

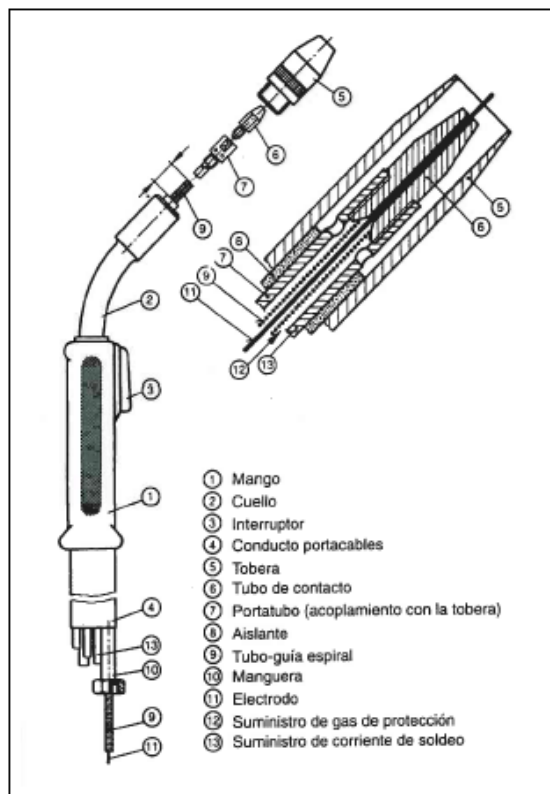


Figura 6.34. Soplete para soldeo MIG/MAG.

La longitud de la manguera de la pistola debe ser lo más corta posible y también debe evitarse que se formen bucles para facilitar el arrastre. Por lo general la longitud es de 3-5 metros para alambre de acero y de 2-3 metros para aluminio.

Se comercializan de diferentes tipos, para soldaduras manual y automática, para elevadas intensidades refrigerados por agua y ligeros sin refrigeración.

Los sopletes para soldadura manual, son los que se utilizan para la denominada soldadura semiautomática. Los elementos esenciales de ésta son, la boquilla de gas (10-20 mm diámetro interior), punta de contacto, conducto de alimentación o guía, cable de energía, mangueras de gas y agua e interruptor.

En el caso de los sopletes para procesos automáticos, la pistola está sujeta y guiada por medios mecánicos. Pueden estar igualmente refrigeradas por aire o por agua. Los componentes son los mismos que en las pistolas manuales. En algunos modelos de sopletes



se puede hacer llegar el gas de protección al arco a través de conductos externos, en lugar de conductos internos concéntricos con el alambre.

## **II. Alimentador de alambre**

El alimentador de alambre es el dispositivo que hace que el alambre pase por la punta de contacto de la pistola para fundirse en el arco. Tiene una gran importancia, ya que la calidad y el aspecto de las soldaduras dependen de que el alambre llegue al tubo de contacto con una curvatura pequeña, perfectamente regular, y con una velocidad lo más constante posible. Para ello, la alimentación del alambre ha de ser constante y sin deslizamientos en los rodillos. Otro aspecto importante también es que podamos para la alimentación de forma instantánea.

La mayoría de los alimentadores son de velocidad constante, es decir, la velocidad es establecida antes de que comience la soldadura, y la alimentación comienza o finaliza actuando sobre el interruptor situado en la pistola. En el caso de que el sistema de alimentación sea de velocidad variable, éste se limita a la soldadura de espesores grandes (superiores a 1.6 mm), donde las velocidades de alimentación son más bajas. Esto es debido a que a velocidades elevadas los motores no pueden hacer los ajustes de velocidad de alimentación lo suficientemente rápido para mantener la estabilidad del arco.

Los sistemas de alimentación de alambre pueden ser de empuje, de arrastre o combinados de empuje-arrastre. El tipo de sistema depende fundamentalmente del tamaño y composición del alambre usado y, a veces, de la distancia entre la bobina de alambre y la pistola.

## **III. Control**

La principal función del control es regular la velocidad de alimentación de alambre. Incrementando la velocidad de alimentación se incrementa la intensidad y disminuyéndola se reduce la intensidad. En control también regula el inicio y parada de alambre a través de la señal enviada desde el interruptor de la pistola.

Además, el control normalmente se encarga de regular el preflujo y postflujo de gas de protección.

En muchos casos, tienen incorporados el sistema "touch star", el cual el alambre comienza a alimentarse en el momento de tocar el metal base.

## **IV. Fuentes de alimentación**

La corriente alterna apenas se emplea en la soldadura MIG (GMAW). La fuente de alimentación es básicamente un transformador/rectificador que toma una corriente alterna de elevado voltaje (220 a 380v) y baja intensidad (20 a 50 A) y la transforma en corriente continua de bajo voltaje (16-40v) y elevada intensidad (80 a 500A).



En la mayoría de las aplicaciones se emplea corriente continua y polaridad inversa, usando polaridad directa ocasionalmente cuando la penetración tiene que ser mínima.

#### **V. Suministro de gas de regulación**

La alimentación de gas puede hacerse desde una botella de gas comprimido o desde un suministro centralizado. Cuando se hace desde una botella, es necesario conectar a la válvula de esta, un regulador – caudalímetro que permita poder graduar el caudal de gas de protección necesario para cada aplicación.

Los dos tipos de caudalímetros utilizados son los de indicador de caudal por manómetro y los de indicador de caudal por flotámetro. Para poder cubrir las diferentes aplicaciones de soldadura MIG, generalmente pueden suministrar un caudal regulado entre 0 y 30 litros/minuto. Se prefieren los caudalímetros con flotámetro cuando la aplicación requiere un control más riguroso del caudal del gas de protección.

Cuando el gas de protección es CO<sub>2</sub> o mezclas con alto contenido en CO<sub>2</sub>, puede ser necesario colocar un calentador de gas antes del caudalímetro, para evitar que el frío producido por la expansión del gas pueda hacer que se congele y averíe.

Antes de llegar al soplete, el gas pasa por la electroválvula que actúa dejándolo pasar durante el tiempo de soldadura e interrumpiendo su paso cuando no se está soldando. Mediante temporizadores, puede ajustarse la apertura y cierre de la electroválvula con relación al tiempo de soldadura, para fijar el preflujo y postflujo de gas y así evitar dejar sin protección el baño fundido al inicio y final de la soldadura.

#### **VI. Suministro de agua**

Cuando se suelda con intensidades superiores a 250-300 amperios, es necesario utilizar sopletes refrigerados por agua, ya que la refrigeración de la pistola por el propio gas de protección sería insuficiente.

La alimentación de agua para tal refrigeración puede hacerse desde un simple grifo dispuesto cerca de la máquina de soldadura, o con un sistema de circuito cerrado, siendo este último más habitual.

Igual que sucedía con el gas, existe una electroválvula para que el agua circule solamente en los momentos que se está soldando.

#### **6.3.4. Variables del proceso**

Las variables que más influencia tienen en el proceso de soldadura MIG son:



- I. Intensidad
- II. Polaridad
- III. Voltaje de arco
- IV. Velocidad de soldadura
- V. Longitud de alambre (extensión de electrodo)
- VI. Diámetro de electrodo
- VII. Gas de protección

### I. Intensidad

La intensidad varía de forma lineal con la velocidad de alimentación del alambre en el rango inferior de intensidades, todo esto manteniendo las otras variables constantes. Para intensidades elevadas se pierde la proporcionalidad, debido probablemente al aumento de resistencia del circuito por calentamiento en la extensión del electrodo. Manteniendo constante las otras variantes, un incremento de la intensidad tendrá como resultado:

- I. Un incremento en la profundidad y anchura de la penetración.
- II. Un incremento en la velocidad de deposición.
- III. Un incremento en la dimensión del cordón de soldadura.

### II. Polaridad

La polaridad se utiliza para definir la conexión eléctrica de la pistola con relación a los polos de una fuente de alimentación de corriente continua. Cuando la pistola está conectada al polo negativo, la polaridad se define como corriente continua electrodo negativo (ccpn) o polaridad directa (ccpd).

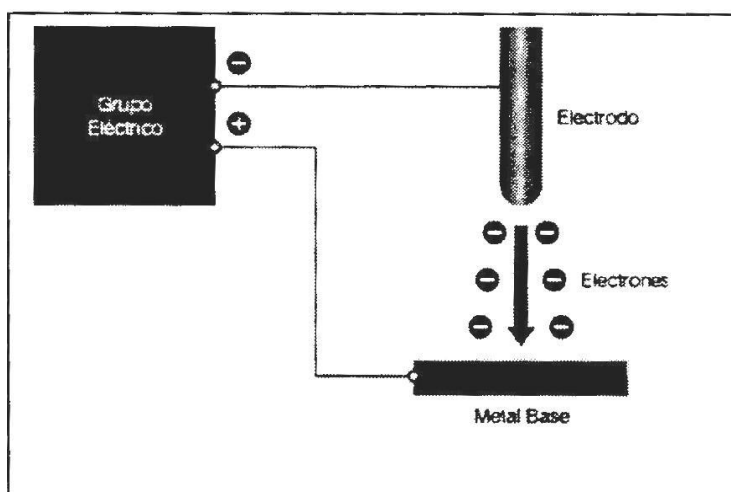


Figura 6.35. Conexión polaridad directa CCPD.



Cuando la pistola está conectada al polo positivo, la polaridad se define como corriente continua electrodo positivo (ccpp) o polaridad invertida (ccpi).

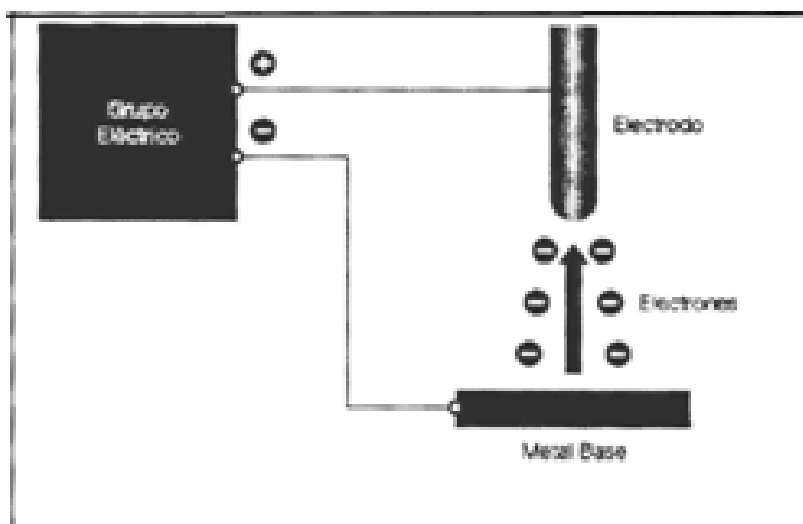


Figura 6.36. Conexión polaridad indirecta CCPI.

La mayoría de las aplicaciones MIG utilizan corriente continua polaridad invertida. Con esta conexión, se puede obtener para un amplio rango de intensidades, un arco estable, unas transferencias de metal suaves, bajas proyecciones y unos cordones con buenas características y con la penetración adecuada.

### III. Voltaje de arco

El voltaje de arco y la longitud de arco, son términos diferentes, pero que están relacionados. Un aumento o disminución del arco o voltaje del arco producirá un aumento o disminución proporcional de la longitud del arco. El voltaje del arco no solo depende de la longitud del arco sino que también de otras variables como el gas de protección, composición y diámetro del alambre.

Cuando incrementamos la longitud del arco, la superficie cubierta por este en la pieza será mayor produciendo una zona fundida más amplia, menos profunda y con un cordón más plano y más ancho que con un arco más corto, en el cual el calor y la energía están más concentrados. Los voltajes demasiado altos (arcos muy largos) ocasionan mala protección e inestabilidad, dando origen a porosidad, proyecciones y mordeduras cuando se cubre más superficie con el arco que la que corresponde a la cantidad de material aportado.

### IV. Velocidad de soldadura

La velocidad de la soldadura se define como la velocidad lineal a la cual el arco se mueve a lo largo de la unión. Manteniendo constante el resto de las variables, la penetración es máxima para algunos valores intermedios de la velocidad de soldadura. Sin embargo, a muy



bajas velocidades, la penetración disminuye porque el arco incide sobre un baño fundido de tamaño grande en lugar de hacerlo sobre el material base. Cuando incrementamos la velocidad, la energía por unidad de longitud de soldadura transmitida al metal base por el arco, es inicialmente incrementada, ya que el arco actúa más directamente sobre el metal base.

#### **V. Longitud de alambre**

La longitud de alambre o extensión del electrodo es la distancia entre el extremo de la punta de contacto y el extremo del alambre. Al aumentar la longitud de alambre, aumentará la resistencia eléctrica y se elevará la temperatura del alambre. Este precalentamiento hará que el alambre necesite menos intensidad para fundirse, y se producirá un pequeño incremento de la velocidad de fusión del alambre y originará un exceso de material aportado.

A igualdad del resto de parámetros, se obtendrá para las menores longitudes de alambre (6 a 13 mm) una transferencia de material con arco corto, y para longitudes mayores (13 a 25 mm) una transferencia globular o de arco largo.

#### **VI. Diámetro de electrodo**

La velocidad de respuesta del electrodo a los de longitud del arco es mayor cuanto menor es el diámetro del electrodo, puesto que es más fácil su fusión cuanto menor es el diámetro. Esto mejora la capacidad de autorregulación y por tanto el arco es más estable con pequeños diámetros de electrodo. En este caso, además se obtiene mayor profundidad de penetración, puesto que al disminuir el diámetro, aumenta la densidad de corriente y disminuye la sección del cono del arco, con lo que a igualdad de intensidad habrá más concentración de calor con un electrodo más fino, y por tanto un cordón más estrecho y profundo.

#### **6.3.5. Gases de protección**

La función principal del gas de protección es la de desplazar el aire de la zona de soldadura para proteger el metal fundido, el baño de fusión y el electrodo, para evitar de su contaminación.

Otros factores en los que influye el gas de protección con:

- I. El tipo de transferencia de metal
- II. La estabilidad del arco
- III. La cantidad y la calidad de los humos
- IV. Las propiedades mecánicas
- V. La penetración y en el tipo y tamaño de cordón
- VI. La velocidad de soldadura
- VII. Los costes d soldadura
- VIII. La cantidad de energía que pasa a través del arco eléctrico



Si bien los gases inertes puros protegen el metal depositado de las reacciones con el aire, no son adecuados para todas las aplicaciones de soldadura. Mezclando cantidades controladas de gases activos con los inertes, se obtienen simultáneamente un arco estable y una transferencia de metal sin salpicaduras. Son muy pocos los gases activos utilizados en la soldadura, entre ellos podemos destacar al CO<sub>2</sub>, oxígeno, nitrógeno e hidrógeno.

Como regla general, no es conveniente usar gases activos solos. El CO<sub>2</sub> es la excepción, puesto que es adecuado su uso sólo, mezclado con gases inertes o con oxígeno. El resto de gases se emplea en forma de pequeñas adiciones a un gas inerte, habitualmente el argón.

La selección de gas de protección es muy importante ya que depende del tipo de metal a soldar, del espesor, proceso, requisitos de calidad y factores metalúrgicos, sin olvidar el coste. En general en los metales no férricos se emplea el argón, helio o mezclas entre ambos. En los materiales férricos se emplean adiciones de oxígeno o dióxido de carbono puro.

### 6.3.6. Consumibles

La selección del consumible apropiado para una aplicación debe tener como objetivo producir un metal soldado con dos características básicas:

- I. Tener las propiedades mecánicas y físicas iguales o superiores a las del metal base.
- II. Obtener un metal soldado de calidad. Esto se conseguirá con un alambre adecuado. Por ejemplo con la cantidad de desoxidantes necesarios para dejar un metal soldado libre de defectos.

Los alambres empleados son de pequeños diámetros (0.6, 0.8, 1.0, 1.2, 1.6, 2.0, 3.0 y 3.2 mm) y se suministran en bobinas metálicas o de plástico de 5 a 15 kg o en bidones con 250 kg, especiales para soldadura en automatismos o en robot, para colocar en los sistemas de alimentación. Es importante considerar que el tensionado del alambre debe ser diferente, dependiendo si la aplicación es manual o automática. Dados sus pequeños diámetros, la relación superficie/volumen es muy alta, por lo que pequeñas capas de polvo, suciedad, grasas, etc pueden suponer una importante cantidad en relación con el volumen aportado, de aquí que sea de gran importancia la limpieza. Los alambres de acero al carbono y de baja aleación, reciben a menudo un ligero recubrimiento de cobre que mejora el contacto eléctrico, la resistencia a la corrosión y disminuye el rozamiento con los distintos elementos del sistema de alimentación al soplete.

El material de aporte debe ser similar o idéntico en composición a los empleados en los otros procesos de soldadura en que se emplean electrodos desnudos. Esto supone que la variación con respecto a la composición del metal base que va a ser soldado será pequeña. En otros



casos, la obtención de buenas soldaduras y depósitos, requiere cambios apreciables o incluso la utilización de alambre de composición completamente diferente. Por ejemplo, los electrodos más adecuados para la soldadura de bronce al manganeso, que es una aleación cobre-zinc, son de bronce al aluminio o de aleaciones cobre-manganeso-níquel-aluminio. En la soldadura de metales diferentes, también se seleccionará un metal de aportación diferente a los metales a unir. Algo similar ocurre en la soldadura de las aleaciones de aluminio o de acero de mayores características mecánicas. Esto es debido a que algunas aleaciones son adecuadas como metales base, pero no como metal de aporte.

Una de las modificaciones que con más frecuencia se hacen en los electrodos para la soldadura con esta técnica es la adición de desoxidantes, y otros agentes, con la finalidad de evitar la porosidad o la bajada en características mecánicas que pueden producirse como consecuencia de la reacción del metal de soldadura con el CO<sub>2</sub>, oxígeno, el nitrógeno o el hidrogeno, que pueden estar en el gas de protección o pueden entrar accidentalmente en contacto provenientes de la atmosfera circundante. Los desoxidantes empleados con mayor frecuencia en los electrodos de acero al carbono son el manganeso, silicio y aluminio. En las aleaciones de níquel se emplea el titanio y silicio. En las aleaciones de cobre, dependiendo del tipo de resultados deseados se emplea el titanio, silicio o fósforo.

También se pueden soldar con alambres tubulares sin flux interior, denominados “metal cored”. La utilización de estos alambres se considera una variación del proceso de soldadura MIG. Un alambre “metal cored” trabaja de modo similar a un macizo, generalmente produce menos humos, no deja escoria y tiene una eficiencia de deposición del orden del 95% y superior. Estos alambres están formados por un tubo metálico lleno de elementos aleantes en forma de polvo, estabilizadores de arco y elementos desoxidantes. Con su utilización se puede conseguir una elevada velocidad de deposición y puede utilizarse en todas las posiciones, incluso están diseñados para poder soldar sobre superficies con alguna suciedad y oxido utilizando como gas de protección mezclas de argón.

### **6.3.7. Ventajas y limitaciones del proceso.**

Las ventajas de este proceso de soldadura son las siguientes:

- I. Es el único proceso con arco eléctrico y electrodo consumible que puede soldar todos los metales y aleaciones que se utilizan comercialmente.
- II. La soldadura se puede hacer en todas las posiciones, una característica que no tiene la soldadura con arco protegido.





- III. En comparación con el proceso de electrodo revestido, por utilizar una alimentación continua de electrodo, se logran unas velocidades de soldadura y de deposición más elevadas, con incremento de la productividad.
- IV. Pueden adaptarse a la soldadura con automatismos y robot.
- V. Pueden realizarse soldaduras de gran longitud sin paradas.
- VI. La limpieza que es necesario realizar después de la soldadura es mínima debido a no producir ninguna escoria.

Las limitaciones del proceso son:

- I. El equipo es más complejo que el proceso de electrodo revestido.
- II. Tiene más dificultad que el proceso de electrodo revestido para acceder a uniones de difícil acceso ya que es necesario aproximar la pistola a la unión entre 10 y 20mm para asegurarse que la soldadura está protegida por el gas.
- III. La soldadura debe protegerse del viento y de las corrientes de aire que pueden arrastrar el gas de protección. Esto limita la utilización del proceso a emplearse dentro del taller a no ser que se proteja adecuadamente la zona de soldadura.
- IV. Al no haber escoria, las soldaduras se enfrían más rápidamente, lo cual puede producir agrietamiento en ciertos aceros.

#### **6.3.8. Aplicaciones**

El proceso GMAW está ampliamente extendido en el sector naval. Su versatilidad y el hecho que si se aplica correctamente da una soldadura de calidad hacen de este proceso un proceso muy interesante para el sector.

Además de su velocidad de soldeo, este proceso es relativamente fácil de automatizar por lo que se reducen considerablemente los gastos destinados a mano de obra y en consecuencia se reduce el precio de soldadura de la construcción.

En cuanto al rango de espesores de metal base capaces de soldar por el soldeo MIG/MAG es muy amplio. Pueden soldarse chapas de un espesor tan bajo como 0.5 mm. En cambio no hay establecido un espesor máximo, pero a espesores mayores de 13 mm hay otros procesos de



soldadura que resultan más económicos a igualdad de calidad.

Uno de los motivos de su utilización es la gran versatilidad que presenta este proceso, debido a que es el único proceso con arco eléctrico y electrodo consumible que puede soldar todos los metales y aleaciones que se utilizan comercialmente.

## 6.4. Soldadura con alambre tubular con flux interior (FCAW)

### 6.4.1. Principios del proceso

La técnica de soldadura con alambre tubular con flux interior es idéntica a la soldadura MIG/MAG, salvo el tipo de electrodo. Los alambres tubulares también son electrodos continuos, con la diferencia de que son huecos y en su interior contienen un fundente (flux), que tiene funciones similares a la del revestimiento de los electrodos revestidos.

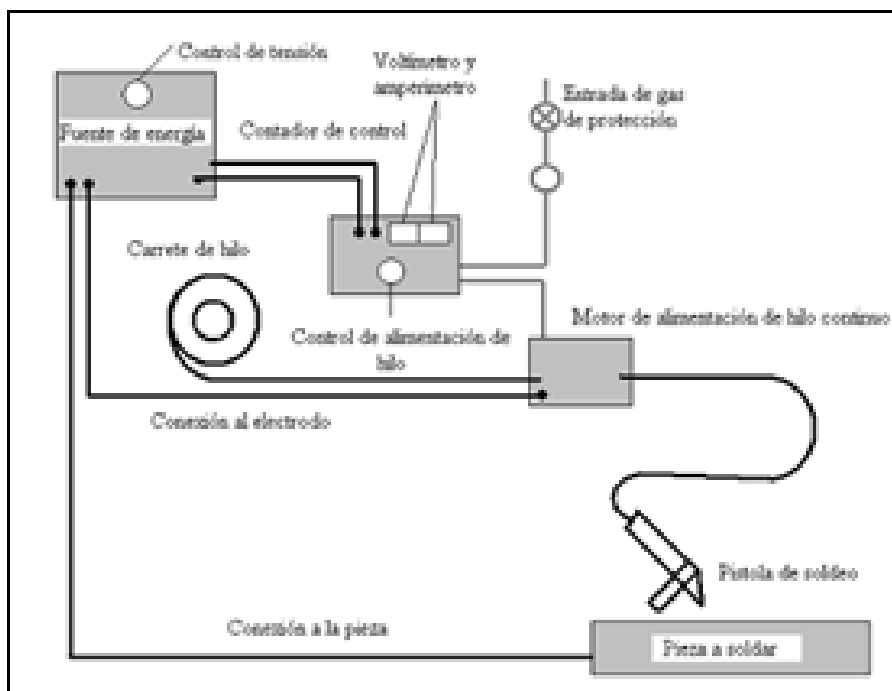


Figura 6.37. Instalación de soldeo FCAW.

Dentro del proceso de soldadura con electrodo de flux interior hay dos variantes: autoprotegido y con protección adicional con gas. Cuando el arco va protegido va con gas, éste elimina el oxígeno y nitrógeno de la atmósfera circundante, por tanto cuando el arco es autoprotegido, el flux deberá contener elementos desoxidantes y desnitrificantes en cantidad suficiente para poder prescindir de cualquier otra protección.

Una variable importante a tener en cuenta en este proceso, es la extensión del alambre, que variara en función de la variante empleada. En el caso de que estemos trabajando en la



autoprotegida (sin gas), se suelda con largas extensiones del electrodo, entre 25 y 50 mm. Esto hace que el electrodo esté precalentado antes de consumirse en el arco, pudiendo ser mayor la velocidad de aportación. El aumento de extensión introduce una mayor resistencia en el circuito, bajando la corriente y disminuyendo la tensión y la longitud del arco (puesto que la caída de voltaje en la extensión aumento). Esto hace que esta variante sea más adecuada para chapa fina. En la variante protegida con gas no se puede aumentar la extensión del electrodo porque en ese caso, la soldadura quedaría desprotegida. Al estar presente el CO<sub>2</sub> en el gas de protección, éste da mayor potencia al arco y mayor penetración, produciendo cordones más estrechos y más profundos.

El proceso de soldadura con alambre tubular se utiliza principalmente en la soldadura de aceros al carbono, de baja aleación y de aceros inoxidables. El proceso se utiliza principalmente con CCPI (electrodo al polo positivo) pero también puede utilizarse con CCPD (electrodo al polo negativo) dependiendo de la composición de los elementos del alambre tubular.

Cuando el proceso se utiliza con un suministro de gas externo, el equipo de soldadura es prácticamente idéntico al de un MIG.

Este proceso es de alta productividad y alta velocidad de aporte, con mayor economía y rendimiento por kilogramo depositado que el MIC/ MAC. El inconveniente es la existencia de escoria en la técnica de electrodo con flux interior, así como la mayor cantidad de humos desprendida durante la soldadura, especialmente en la variante autoprotegida. Esto obliga a la utilización de extractores que en ocasiones se incorporan a la propia pistola de soldadura. Hasta ahora, se ha considerado que la calidad obtenida por los procesos MIC/MAC es superior a la del “flux cored”, pero no se deja de trabajar en su desarrollo para aprovechar las ventajas que presenta.

#### **6.4.2. Alambres tubulares**

La base fundamental de los electrodos es el flux que contienen en su interior, el cual se encarga de proporcionar los elementos necesarios para proporcionar las propiedades mecánicas o metalúrgicas para cada aplicación, incluyendo los elementos de aleación, ya que el exterior de los electrodos suele ser de acero casi exento de carbono. También incorpora los productos para afino, desoxidación, desnitrificación y protección de la soldadura así como para la estabilización del arco. Además de flux, los electrodos van rellenos de polvo metálico, que además de proporcionar los elementos de aleación, mejora el rendimiento gravimétrico del hilo. Los alambres se clasifican en básicos o rutilos, según la naturaleza del flux de relleno. En los autoprotegidos además se añade celulosa o carbonatos para generar su propia atmosfera protectora.



La composición del flux influye en las características del arco y soldabilidad. Pueden incrementar la penetración, ayudar a limpiar los contaminantes superficiales del metal, influir en la velocidad de soldadura y afectar en las propiedades metálicas de la unión.

#### **6.4.3. Tipos de flux**

Los diferentes tipos de flux para el soldeo con alambre tubular con flux interior, son los mismos utilizados en el soldeo por arco sumergido. Para ver los diferentes tipos de flux véase punto 5.7.2.2.

#### **6.4.4. Transferencia de metal**

Existen los mismos tipos de transferencia que en la soldadura con alambre macizo (GMAW), sin embargo, en la soldadura con alambre tubular (FCAW), la transferencia normalmente empleada produce salpicaduras.

Los diámetros pequeños (inferiores a 1,6mm) con mezclas de argón como gas de protección, pueden soldarse con los tres tipos de transferencia; arco corto, globular y largo (realmente no se produce el afilado del extremo del alambre como con alambre macizo) y la mayoría de ellos se pueden utilizar en todas las posiciones.

Los diámetros superiores sueldan con transferencia con arco globular o cercano al arco largo cuando se utilizan con mezclas de argón y solo con arco globular cuando se utilizan con CO<sub>2</sub>.

#### **6.4.5. Gases de protección**

Como gases de protección se emplean generalmente dióxido de carbono o mezclas de argón con un 20-25% de dióxido de carbono. La mezcla con argón proporciona una reducción de humos, mejores características de transferencia y soldadura con mayor resistencia y límite elástico que las realizadas con CO<sub>2</sub>, siendo también mejor la estabilidad del arco y su soldabilidad, aproximándose la transferencia al tipo arco largo.

El dióxido de carbono se utiliza con la mayoría de alambres tubulares en diámetros elevados 1,6mm y superiores, que generalmente se emplean en espesores gruesos y sobre superficies con suciedad y óxidos.

Las mezclas de argón con CO<sub>2</sub> se utilizan con la mayoría de los alambres tubulares de acero al carbono y de aceros inoxidable. Con estas mezclas se mejora la soldabilidad y se puede controlar mejor el baño de fusión. Los contenidos de CO<sub>2</sub> varían desde 5 a 25% dependiendo del fabricante del alambre.

#### **6.4.6. Variables del proceso**

La influencia de las distintas variables es similar a otros procesos de arco. Así, con



bajas intensidades, la transferencia es por gotas gruesas, que cortocircuitan el arco, lo inestabilizan y explotan, originando salpicaduras y defectos en la soldadura. A mayores intensidades, más penetración y velocidad de aportación. Los voltajes altos dan arcos largos que producen cordones anchos poco penetrados. Si se elevan mucho, la excesiva longitud del arco puede dar lugar a pérdidas de protección en el baño. En el caso de la extensión del electrodo, si se alarga en exceso pueden llegar a formarse arcos fríos con muchas proyecciones y pegaduras. La extensión varía entre 20 y 40mm en la variante protegida y entre 20 y 50mm en la autoprotegida.

#### **6.4.7. Ventajas y limitaciones del proceso**

Las ventajas del proceso son:

- I. Se pueden soldar materiales de muy diversas naturalezas.
- II. El electrodo es continuo, por lo que no se pierde tiempo en cambiar los electrodos consumidos, tal y como ocurre en el proceso de soldeo con electrodo revestido.
- III. Permite el soldeo en todas las posiciones.
- IV. Las condiciones ambientales de viento y corrientes no le afectan tanto como al proceso de soldadura MIG/MAG.

Las limitaciones del proceso son:

- I. Se debe retirar la escoria.
- II. Desprende una gran cantidad de humos.
- III. Los electrodos tubulares suelen tener un precio mas elevado que los macizos.
- IV. Portabilidad limitada del equipo.

#### **6.4.8. Aplicaciones**

El proceso de soldadura con alambre tubular se utiliza mucho en los astilleros. Su utilización principal es para el soldeo de aceros al carbono, aceros de baja aleación (sobre todo níquel) y los aceros inoxidable.

En general, tiene casi las mismas aplicaciones que el soldeo MIG/MAG. Este proceso se utiliza cuando se necesitan niveles de aportación muy elevados, ya que ofrece mayor tasa de deposición, y consecuentemente, mayor rendimiento y productividad que el proceso MIG/MAG.

Las uniones principales que podemos encontrar en un astillero practicadas con soldeo por alambre tubular son considerables. En general tanto el proceso de soldeo por alambre tubular como el soldeo MIG/MAG se emplean para el soldeo de mamparos, varengas, vagras, baos, etc., y todo tipo de uniones de refuerzos estructurales del buque. Algunas de las uniones más



comunes son:

- Unión a tope de forro interior.
- Unión a tope de piso de cubierta.
- Unión de penetración completa de vagras a piso doble fondo.
- Unión de penetración completa de varengas a forro interior.
- Unión de penetración completa de baos a piso cubierta.
- Unión de penetración completa de mamparos a piso cubierta.
- Unión de penetración completa de mamparos a refuerzos.
- Uniones de mamparos entre sí.
- Unión de penetración completa de mamparos a piso doble fondo.

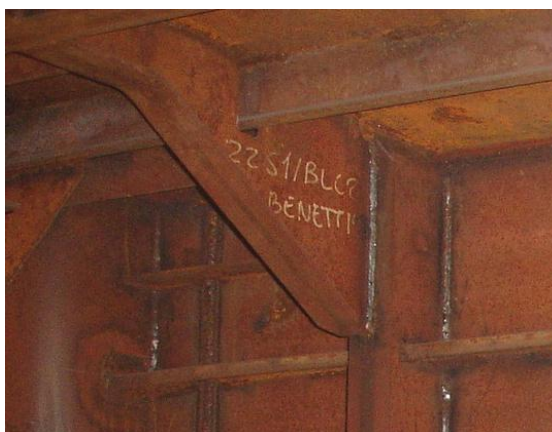


Figura 6.38. Unión esloro-mamparo

Como ejemplo en la imagen podemos observar el cruce de los mamparos transversales en su parte superior con las esloras. Esta unión se realiza mediante cartelas para conseguir la continuidad de refuerzo. Los refuerzos verticales de los mamparos coinciden en ubicación con las esloras y entre estos dos elementos es donde se coloca la cartela.

Por las ventajas que presenta este proceso de soldeo en comparación con las del proceso MIG/MAG, el soldeo con alambre tubular tiene una gran aplicación en la construcción naval. Además en el caso de trabajar a la intemperie, las condiciones ambientales o corrientes de aire le afectan menos que al soldeo MIG/MAG.

## 6.5. Soldeo por arco de plasma (PAW)

### 6.5.1. Principios del proceso

El soldeo plasma, también conocido por las siglas PAW (Plasma Arc Welding), pertenece al grupo de procesos que utilizan un gas como medio de protección, y un arco



eléctrico como medio para conseguir la fusión del material base y del material de aporte (en caso de ser utilizado). Dicho arco eléctrico se establece entre un electrodo no consumible de wolframio, o wolframio aleado, y la pieza a soldar (arco transferido), o entre el electrodo y la boquilla interna de cobre (arco no transferido).

El soplete en el soldeo plasma consta de dos toberas una interna de cobre por cuyo interior circula el gas que formara la columna de plasma tras ser ionizado, gas de plasma, y otra externa por cuyo interior circula el gas encargado de proteger el baño fundido y el cordón a alta temperatura, gas de protección. La razón que exige el uso de un segundo gas, el de protección, radica en el carácter altamente turbulento del gas de plasma, y que por tanto no goza de propiedades protectoras.

El arco eléctrico es constreñido al verse obligado a atravesar un estrecho orificio practicado en la tobera interna de cobre, originando una columna de plasma de alta densidad de corriente.

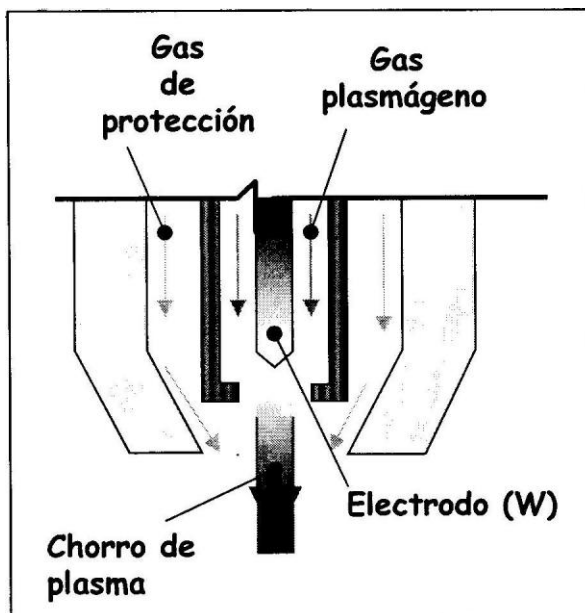


Figura 6.39. Soldeo plasma.

La alta densidad de energía que se obtiene con este proceso de soldeo nos permite obtener zonas afectadas térmicamente con un ancho reducido, a la vez que permite completar uniones con espesores de hasta 6 mm con una sola pasada.

El electrodo se encuentra ubicado en el interior de la tobera de cobre, lo que evita la posibilidad de que éste se contamine debido al contacto con el material base o el material de aporte.

En caso de utilizar material de aporte, éste se suministra exteriormente, en forma de varilla o de alambre (en sistemas automatizados o mecanizados).



### 6.5.2. Modos de operación del plasma

El soldeo plasma utiliza fundamentalmente la corriente continua con el electrodo al negativo, como alimentación y polaridad de trabajo. No obstante el soldeo plasma puede utilizar la corriente alterna con onda cuadrada para el soldeo, por ejemplo del aluminio y sus aleaciones.

El arranque del soldeo plasma se realiza mediante un arco piloto. La secuencia de encendido es la siguiente:

- I. La acción inicial de un circuito de alta frecuencia permite el establecimiento de un arco entre el extremo del electrodo y la tobera interior de cobre, que está refrigerada por agua. Este arco inicial es el arco piloto. Que queda oculto dentro de la tobera.
- II. Cuando la fuente de alimentación suministra la corriente de soldeo y/o el soplete se aproxima a la pieza a soldar, el arco es transferido de la boquilla interna a la pieza a soldar (arco transferido), que ahora actúa como polo positivo, cerrando el circuito de soldeo.

#### i. Modos de operación en corriente continua

El soldeo plasma en corriente continua puede operar en tres modos distintos en función del caudal de gas plasma y la corriente de soldeo fijadas:

- Soldero microplasma: este modo opera en corriente continua y en polaridad directa. En este proceso de soldeo los valores de corriente eléctrica pueden ser tan bajos como la décima del amperio (0.1 a 15 amperios). Este proceso es útil ya que la mayor densidad de energía del microplasma y su reducido aporte térmico minimiza el daño térmico sobre los materiales soldados. Esto es una ventaja ya que podremos soldar chapas de espesores muy finos.
- 
- Soldero con plasma intermedio: este modo opera en corriente continua y polaridad directa. En este proceso de soldeo los valores de corriente eléctrica varían de 15-100 amperios. Este proceso es equivalente al soldeo por TIG, pero con la ventaja de que el arco plasma es más robusto y por tanto menos sensible a la distancia tobera-pieza. La penetración se puede aumentar incrementando el caudal de gas plasma, pero sin un caudal excesivo, ya que puede provocar turbulencias y agitar el baño de fusión pudiendo quedar poros de aire o gas de protección en la soldadura.
- Soldero plasma en modo de ojo de cerradura: este modo opera con corriente continua y polaridad directa. En este proceso de soldeo los valores de corriente





eléctrica son mayores a los 100 amperios. En este caso el alto valor de la intensidad y el caudal de gas de plasma favorece a la formación de una cavidad en el baño de fusión, conocida como ojo de cerradura. Gracias a este proceso podemos penetrar en chapas de mayores espesores (6 mm) y llegar hasta la raíz de una sola pasada.

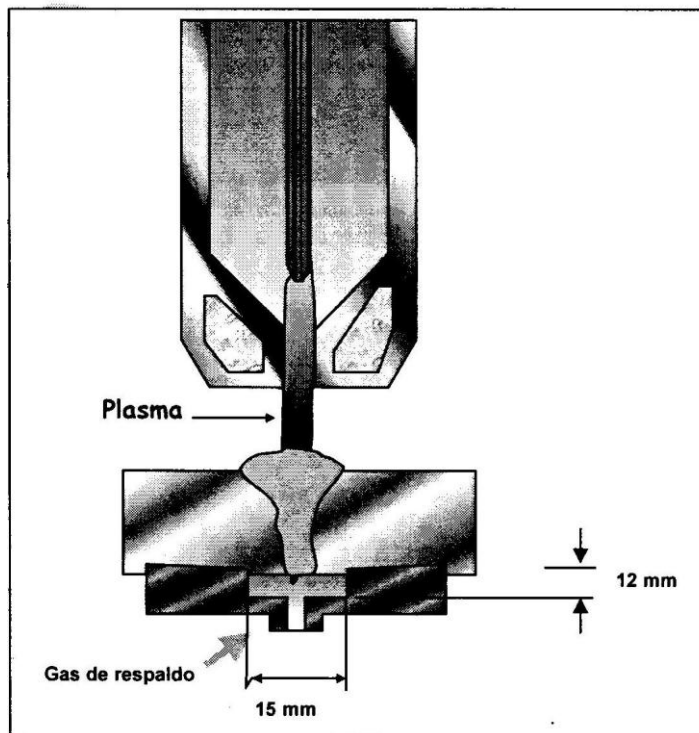


Figura 6.40. Respaldo con ranura para el soldeo en ojo de cerradura.

### ii. Modos de operación en corriente alterna.

El soldeo plasma con corriente alterna trabaja fundamentalmente con onda cuadrada, ya que la onda sinusoidal convencional no ofrece buenos resultados debido a que el reencendido del arco es difícil cuando se trabaja con arcos constreñidos y altas distancias entre la tobera y la pieza. Con este método también se consigue una buena penetración pudiendo llegar a soldar 6mm de chapa de una sola pasada, soldando en modo ojo de cerradura.

### 6.5.3. Variables del proceso

Los principales parámetros de soldeo en el proceso de arco de plasma son:

- Intensidad de corriente
- Caudal de gas plasma
- Velocidad de soldeo

Otros factores que habrá que tener en cuenta, que afectaran directamente a la calidad de la unión soldada son:



- El afilado del electrodo
- La distancia tobera-pieza
- El diámetro de la boquilla interna y su altura
- El tipo de gas de protección y su caudal
- El diámetro del electrodo y su composición

Para conseguir incrementos en la penetración en el soldeo por plasma, se puede obtener con mayores intensidades, mayores caudales de gas plasma y menores velocidades de soldeo. También podremos conseguir mayores penetraciones con toberas internas con orificios de menor diámetro y mayor altura.

En el caso de estar soldando en modo pulsado, las variables de soldeo a tener en cuenta son las siguientes:

- El valor de la corriente de la pico
- El tiempo de duración del pulso (a la corriente de pico)
- El valor de la corriente de fondo
- El tiempo de actuación de la corriente de fondo
- El caudal de gas de plasma durante el pulso
- El caudal de gas de plasma durante el tiempo de fondo

La selección de los parámetros de soldeo en el modo pulsado está más condicionada por la obtención de un baño de fusión y un ojo de cerradura estables a la velocidad de soldeo requerida, que por el espesor de la pieza a soldar. El tiempo de fondo normalmente es igual al tiempo de pulso. Estos tiempos aseguran la formación del baño de fusión y el ojo de cerradura durante el tiempo de pulso, y la solidificación correcta del baño durante el tiempo de fondo.

En este caso, cuando trabajamos en modo pulsado, los principales parámetros que determinan la penetración en la pieza son, la intensidad de corriente y el caudal de gas plasma durante el pulso.

### **6.5.4.- Consumibles**

#### **i. Boquillas y electrodos**

Los electrodos utilizados normalmente en el soldeo plasma son electrodos de wolframio aleado con óxido de torio al 2%. Para cada diámetro de electrodo habrá que seleccionar un diámetro de boquilla específico y habrá que afilar la punta del electrodo con un ángulo específico. El extremo del electrodo cuando se alcanzan temperaturas elevadas se va desgastando la punta, y habrá que volver a afilarla.

En cuanto al orificio de salida del gas de la boquilla interna habrá que tomar suma precaución



en la elección del diámetro adecuado. Por lo general se selecciona una boquilla cuya capacidad, en cuanto a corriente de soldeo se refiere, esté por encima de la precisa para ejecutar la unión soldada. También habrá que tener en cuenta el caudal de gas plasma, ya que un caudal de gas escaso propicia un mayor desgaste de las boquillas.

## **ii. Gases**

En el proceso de soldeo plasma se utilizan dos gases, el gas plasma que circula por la boquilla interior de cobre y el gas de protección que circula por la tobera exterior. El gas más utilizado como gas plasma es el argón, ya que asegura el menor desgaste del electrodo y de la boquilla. También se podría utilizar helio, pero debido a su baja densidad reduce la penetración siendo difícil formar el ojo de cerradura.

En cuanto al gas de protección, las mezclas más utilizadas son mezclas de argón con un 2% de hidrogeno. Con el hidrogeno conseguimos un arco más caliente y contribuye también a constreñir el arco lo que favorece a la penetración o velocidad de soldeo. También pueden utilizarse mezclas de helio con argón como gas de protección. Con estas mezclas se obtiene un arco más caliente, pero también más ancho, por lo que no se logra un incremento de la penetración.

## **iii. Metal de aportación**

Del mismo modo que sucede con el proceso TIG, en el caso que sea necesario, podemos alimentar la unión con un metal de aporte. El material de aporte podremos alimentarlo o bien manualmente con una varilla, o bien de forma automatizada mediante un sistema de alimentación de alambre, ya sea por bobinas o bidones.

En la mayoría de los casos el material de aporte utilizado tendrá una composición química similar a la del material base.

A la hora de suministrar el material de aporte al proceso, podremos hacerlo de dos maneras: por delante del baño de fusión o bien por detrás del baño de fusión. Si soldamos y alimentamos el material de aporte por detrás del baño de fusión, se controla mucho mejor el aporte de la gota, debido a que roba calor al arco controlando mejor el proceso.

La velocidad de alimentación del alambre de aporte no debe ser excesiva, ya que en este caso se formarían grandes gotas de metal fundido que afectarían al correcto desarrollo del proceso.

### **6.5.5. Equipo de soldeo**

El equipo de soldeo plasma consta de los siguientes elementos:

- Fuente de alimentación



- Unidad de control
- Unidad de alta frecuencia
- Unidad de control y distribución del gas de plasma y de protección
- Unidad de refrigeración
- Soplete
- Unidad de alimentación de alambre

La fuente de alimentación es de corriente continua, existiendo modelos que también suministran corriente alterna. La capacidad de corriente de estos equipos puede llegar hasta los 400 amperios.

En cuanto a la unidad de control puede estar integrada en la propia maquina o ser externa. La unidad de control se encarga de gobernar el encendido del arco piloto por alta frecuencia generando una corriente de alto voltaje y baja intensidad, el flujo de gas de plasma y de protección, el balance de la onda cuadrada y la alimentación del alambre. Existe la posibilidad de controlar el proceso de forma remota a través de otros dispositivos conectados directamente a la unidad de control, como diales, pedales, interruptores en el mango del soplete etc.

En el soldeo plasma el soplete, a diferencia que el soldeo TIG, consta de dos toberas: la tobera interna de cobre encargada de generar el arco piloto y conducir y constreñir el gas de plasma, y la segunda tobera cerámica con la misión de conducir el gas de protección al área de soldeo.

En cuanto a los sistemas automatizados de alimentación de alambre podemos encontrar gran variedad, desde un tambor porta bobinas, a un motor eléctrico, rodillos de presión y arrastre, guías, etc.

#### **6.5.6. Ventajas y limitaciones del proceso**

Las ventajas del proceso son:

- I. Alta velocidad de soldeo.
- II. Buena penetración.
- III. Posibilidad de automatización del proceso.
- IV. Obtención de soldaduras de alta calidad.

Las limitaciones del proceso son:

- I. Mayor coste de inversión y mantenimiento que otros procesos de arco eléctrico.
- II. Portabilidad limitada.



### 6.5.7. Aplicaciones

El proceso de soldeo por arco de plasma no es muy utilizado en la construcción naval. Con este proceso se realizan el mismo tipo de uniones que se pueden realizar con la soldadura con electrodo de tungsteno y protección gaseosa. Sin embargo, este proceso tiene un campo de aplicaciones muy amplio. Esto es debido a que sus diferentes técnicas de operación, como son el microplasma, plasma intermedio y plasma en ojo de cerradura permiten abordar operaciones de soldeo desde espesores tan finos como la décima de milímetro a espesores por encima de los 6 mm, y todo esto en diferentes materiales.

La utilización del soldeo por arco de plasma es llevada a cabo sobre todo para la soldadura de aceros inoxidables austeníticos, la fabricación de válvulas, bombas y tanques de almacenamiento.

## 6.6. Soldeo oxi-acetilénico (OAW)

### 6.6.1. Principios del proceso

El soldeo oxiacetilénico, también reconocido por las siglas OAW (Oxy-acetilene welding), es un proceso por soldeo por fusión, puesto que la unión de los materiales se realiza a una temperatura superior a la de fusión de los bordes del metal base y del metal de aportación (cuando este es empleado). En este proceso, la fuente de energía calorífica utilizada para fundir los materiales es el calor generado por la reacción química de un gas combustible y un comburente. Esta reacción es fuertemente exotérmica y forma una llama que se dirige mediante un soplete a los bordes de las piezas a unir, provocando su fusión y soldadura.

Para conseguir la combustión se necesita:

- I. Un gas combustible (acetilénico).
- II. Un gas comburente (oxígeno).

Este proceso de soldeo, al ser de fusión permite obtener una unión metalúrgica adecuada con relativa facilidad y una homogeneidad de propiedades satisfactoria, y al mismo tiempo como consecuencia de la aportación de calor puede provocar pérdida del estado metalúrgico del material, segregaciones durante el enfriamiento, distorsiones mecánicas, tensiones internas, etc.

En el soldeo oxi-acetilénico, el soldador tiene un considerable control de la temperatura en el baño de fusión, a través de la velocidad de avance y de la velocidad de deposición del metal de aportación, ya que las fuentes de calor y de metal de aportación son independientes (se utilizan varillas metálicas como metal de aportación), lo que permite al soldador aplicar el calor de la llama de forma preferente, bien sobre el metal base o bien sobre el metal de aportación.

En cuanto a la protección del baño de fusión la realizan los propios gases de la llama aunque



en algún caso es necesario recurrir al empleo de desoxidantes.

Por este proceso pueden soldarse la mayoría de los metales y aleaciones férreas y no férreas con la excepción de los metales refractarios (Nb, Ta, Mo y W) y de los activos (Ti, Zr).

### 6.6.2. Gases

#### i. Oxígeno

El oxígeno es un gas inodoro, insípido, incoloro y no venenoso. Es el gas que se utiliza como comburente puesto que facilita e intensifica la combustión de los gases combustibles al mezclarse con ellos.

Se obtiene por desdoblamiento del aire licuado y es 1.105 veces más pesado que el aire.

Se utiliza oxígeno como gas comburente en vez de aire, porque las temperaturas alcanzadas en la combustión con este gas son mayores. En función del gas combustible empleado, el oxígeno proporciona de 800 a 1000 °C más que el aire de la atmósfera, puesto que el nitrógeno presente en el aire (78%) disminuye la temperatura, al no ser un gas combustible.

#### ii. Acetileno

El acetileno es un hidrocarburo ( $C_2H_2$ ) y es el principal gas combustible utilizado en soldadura. Es un gas incoloro, de olor característico, que se obtiene por reacción química del carburo de calcio y del agua.

El acetileno es un gas que no se puede comprimir a presiones elevadas por peligro de explosión. Por este motivo, para poder embotellar sin peligro mayores cantidades, los cilindros de acetileno llevan en su interior una masa porosa embebida en acetona que tiene la propiedad de disolver fácilmente gran cantidad de este gas.

### 6.6.3. Llama oxi-acetilénica

La llama oxi-acetilénica es la más importante y la de mayor aplicación industrial. El motivo de su amplia utilización es:

- I. Proporciona una temperatura máxima de 3100°C.
- II. La composición de los productos de la llama corresponde a unas propiedades típicamente reductoras.
- III. Presenta suficiente flexibilidad y es fácilmente regulable, ya sea con exceso de oxígeno o de acetileno, en función de los metales a unir.
- IV. No es un producto derivado del petróleo y, por tanto, no está sujeto a oscilaciones de producción y precios.



**i. Zonas características de la llama**

Las zonas características de la llama oxiacetilénica son:

- I. Cono o dardo.
- II. Zona de trabajo o de soldeo.
- III. Penacho.

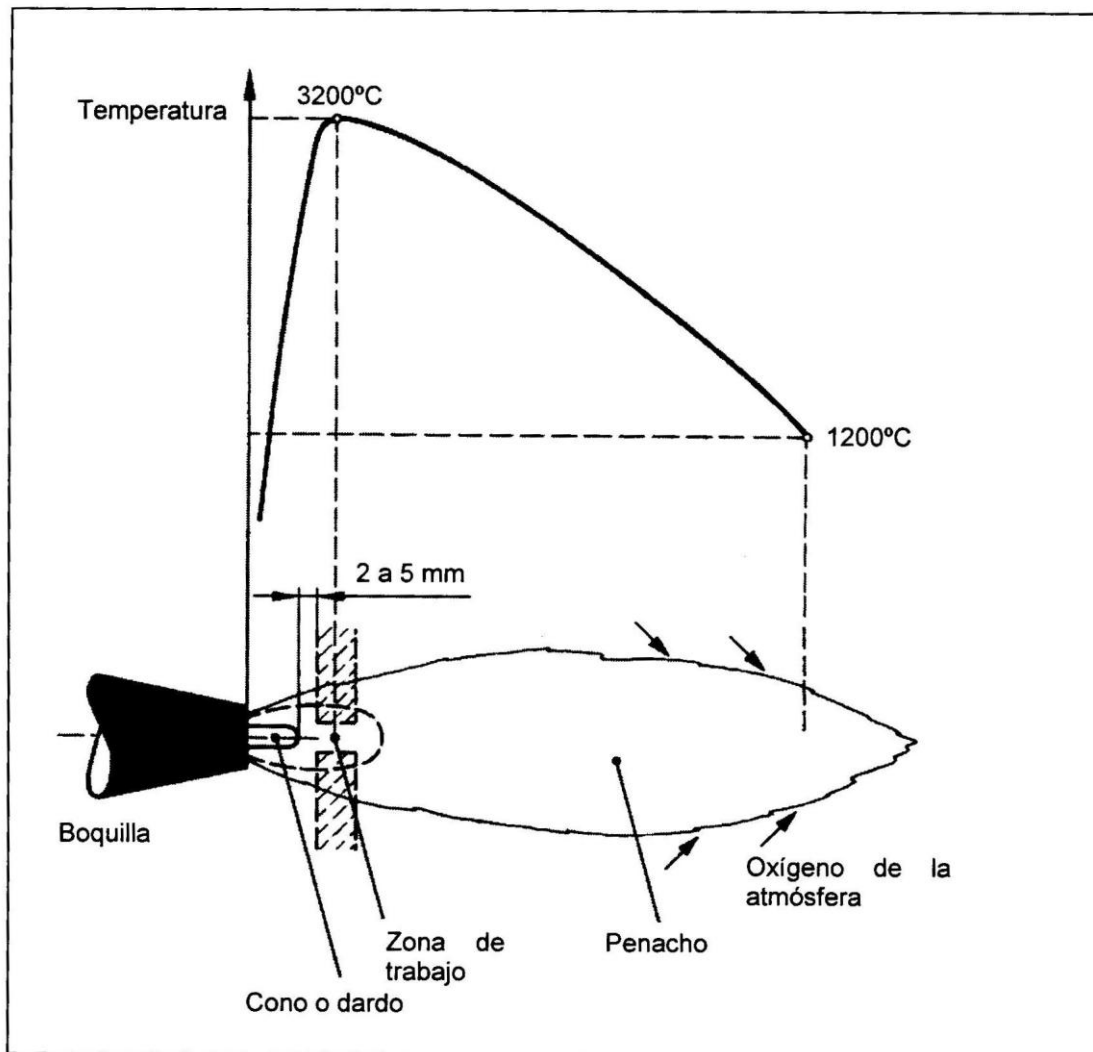


Figura 6.41. Zonas características de la llama oxi-acetilénica.

El cono o dardo es la señal más característica de la llama, es de color blanco deslumbrante y su contorno está claramente delimitado. Es donde se produce la combustión primaria del acetileno con el oxígeno.

Delante del cono se encuentra la zona más importante de toda la llama, que esta no puede reconocerse ópticamente, es la llamada zona de soldeo o zona de trabajo. Es la zona de máxima temperatura y es aquí donde se realiza el soldeo de la pieza. A la hora de realizar el soldeo se debe dejar entre la punta del cono y la superficie del baño de fusión una distancia



que varía entre 2 y 5 mm dependiendo del tamaño de la llama y por tanto del soplete.

El penacho es donde se produce la combustión con el oxígeno del aire, de todos los productos que no se han quemado anteriormente. De esta forma se impide que el oxígeno del aire entre en contacto con los metales a unir, constituyendo una capa protectora que evita que se produzca su oxidación.

## ii. Propiedades de la llama

La llama oxiacetilénica, como cualquier llama provocada por la combustión de un gas, para su utilización en la soldadura debe poseer una serie de propiedades. Estas propiedades son:

- Térmicas: la temperatura alcanzada debe ser suficiente para fundir el material a soldar. Además, la localización y focalización del punto de máxima temperatura mejora la calidad de la llama.
- Químicas: para el soldeo es indispensable evitar oxidaciones y carburaciones, lo que exige poder trabajar en condiciones neutras o reductoras.
- Tecnológicas: como la rigidez, que depende de la velocidad de combustión, y la flexibilidad, que depende de los límites de inflamabilidad de la mezcla gaseosa.
- Económicas: estas son función de la velocidad de ejecución, que depende de la temperatura alcanzada por la llama, y del poder de combustión, que delimita la cantidad de combustible y oxígeno preciso.

## iii. Tipos de llama oxiacetilénica

La llama oxiacetilénica es fácilmente regulable, en el sentido de que permite obtener llamas estables con diferentes proporciones de oxígeno y acetilénico. Lógicamente, la utilización de diferentes proporciones de gas combustible y de oxígeno producen llamas con diferentes propiedades y aplicaciones. Se pueden distinguir cuatro tipos de llamas:

- Llama de acetileno puro: se produce cuando se quema acetileno en el aire. Produce una llama que varía su color de amarillo a rojo naranja en su parte final, y que provoca la aparición de partículas de hollín flotando en el aire. No tiene utilidad en la soldadura.
- Llama carburante: se produce cuando hay un exceso de acetileno. Partiendo de la llama de acetileno puro, al aumentar la proporción de oxígeno, la llama empieza hacerse luminosa, formándose una zona brillante o dardo, seguida del penacho





acetilénico de color verde pálido que aparece como consecuencia del exceso de acetileno y desaparece cuando se igualan las proporciones.

Una forma práctica de determinar la cantidad de exceso de acetileno frente al oxígeno existente en una llama carburante, es comparar la longitud del dardo con la del penacho acetilénico, ambos medidos desde la boquilla. Si la llama tiene doble cantidad de acetileno que de oxígeno, la longitud del penacho acetilénico será el doble que la del dardo.

- Llama neutra: se produce cuando la cantidad de acetileno es aproximadamente igual a la de oxígeno. La forma más fácil de obtener la llama neutra es a partir de una llama con exceso de acetileno (carburante) fácilmente distinguible por la existencia del penacho acetilénico, a medida que se aumenta la proporción de oxígeno la longitud del penacho acetilénico va disminuyendo hasta que desaparece justo en el momento en el que la llama se hace neutra.

- Llama oxidante: se produce cuando hay un exceso de oxígeno. La llama tiende a estrecharse en la salida de la boquilla del soplete. No debe utilizarse en el soldeo de aceros, fundamentalmente se utiliza para el soldeo de los latones. Con proporción oxígeno/acetileno de 1.75 : 1 se alcanzan temperaturas de 3100°C.



Tipo de llama	Aspecto de la llama	Aplicaciones				
		Acero	Fundiciones	Cobre	Latón	Aluminio
Llama de acetileno puro		No adecuada	No adecuada	No adecuada	No adecuada	No adecuada
Carburante con exceso de acetileno	 Dardo blanco intenso Blanco Penacho acetilénico ligeramente verdoso con borde apenachado Anaranjado	No adecuada	Adecuada	No adecuada	No adecuada	Adecuada
Neutra Igual cantidad de oxígeno que de acetileno	 Dardo blanco Sin penacho acetilénico Azulado Naranja	Adecuada	Aceptable	Adecuada	No adecuada	Aceptable
Oxidante Exceso de oxígeno	 Dardo blanco Azulado naranja Casi inodoro Cono dos décimas más corto	No adecuada	No adecuada	No adecuada	Adecuada	No adecuada

Figura 6.42. Tipos de llama oxi-acetilénica y aplicaciones.

Una de las ventajas de la llama oxiacetilénica, frente a las llamas formadas con otros gases combustibles, es que se puede distinguir visualmente las zonas de la llama y el tipo de llama que se está utilizando.

#### 6.6.4. Equipo de soldadura

La función principal de los equipos de soldeo oxiacetilénico es suministrar la mezcla de gases y comburente a una velocidad, presión y proporción adecuadas.

La proporción de flujo de gas afecta a la temperatura, cantidad de metal fundido, presión, velocidad al manejo del soplete y velocidad de calentamiento. Para conseguir esta mezcla de gases y los parámetros anteriormente comentados, los elementos importantes en un sistema oxiacetilénico son: cilindros de gas, válvulas reductoras de presión, válvulas de seguridad o antirretroceso, mangueras y soplete.

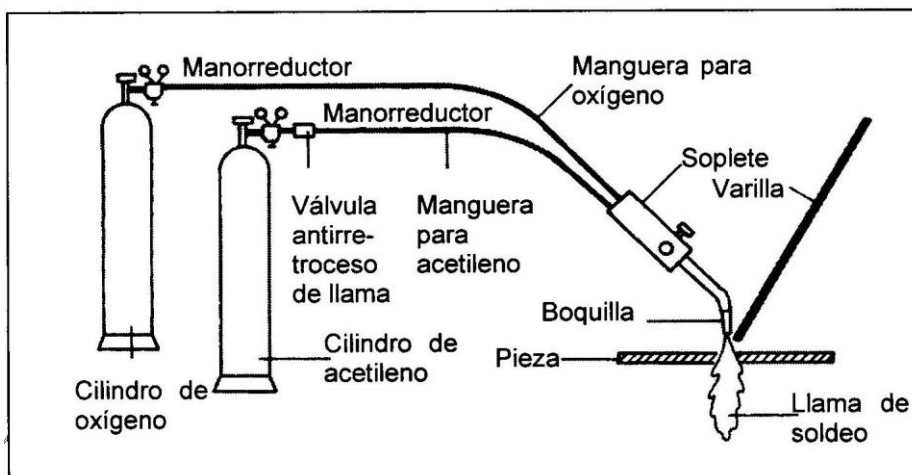


Figura 6.43. Instalación de soldeo oxi-acetilénico.

### i. Cilindros de acetileno

En la mayoría de los talleres de soldadura, los gases utilizados están almacenados en botellas o cilindros, facilitando el transporte y conservación de los gases comprimidos, estando diseñadas para gases específicos y no siendo intercambiables. Estos cilindros tienen una capacidad que no excede de 150 l de agua, pero los talleres de soldadura se suelen utilizar cilindros de 40 l como máximo.

El acetileno presenta un gran peligro de explosión por presión, ya que en ausencia de aire una presión de 2 atmosferas puede ser suficiente para provocar dicha explosión. Debido a ello las botellas de acetileno llevan en su interior una masa esponjosa embebida en acetona, que al disolver grandes cantidades de acetileno, permite embotellar mayores cantidades de gas sin peligro de explosión.

Para el llenado de las botellas, se realiza en primer lugar la disolución del gas en la acetona y posteriormente se introduce ésta en la botella hasta una presión máxima de 15 atmosferas. De esta manera se consigue embotellar en una botella de 40 litros aproximadamente unos 6000 litros de gas.

Se deberá tener mucho cuidado a la hora de abrir la válvula, ya que al dejar escapar el gas, éste puede arrastrar acetona, por ello para evitar esta contaminación no se deberá alcanzar nunca el consumo de 20 litros/min.

### ii. Manorreductores

Los manorreductores o válvulas reductoras de presión son los encargados de suministrar el gas comprimido de los cilindros o depósitos a la velocidad y presión de trabajo.



Estas válvulas además de reducir la elevada presión de los cilindros de gas, deben permitir que la presión de trabajo a la que suministran el gas permanezca invariable durante su funcionamiento, a pesar de la disminución de la presión en el cilindro o depósito a medida que se disminuye el contenido de gas.

Los manorreductores conectados a los cilindros deben tener dos manómetros, uno de ellos indica la presión del cilindro (manómetro de alta presión) y el otro indica la presión de trabajo (manómetro de baja presión). Los manorreductores utilizados en las baterías de cilindros o en los depósitos pueden tener un solo manómetro.

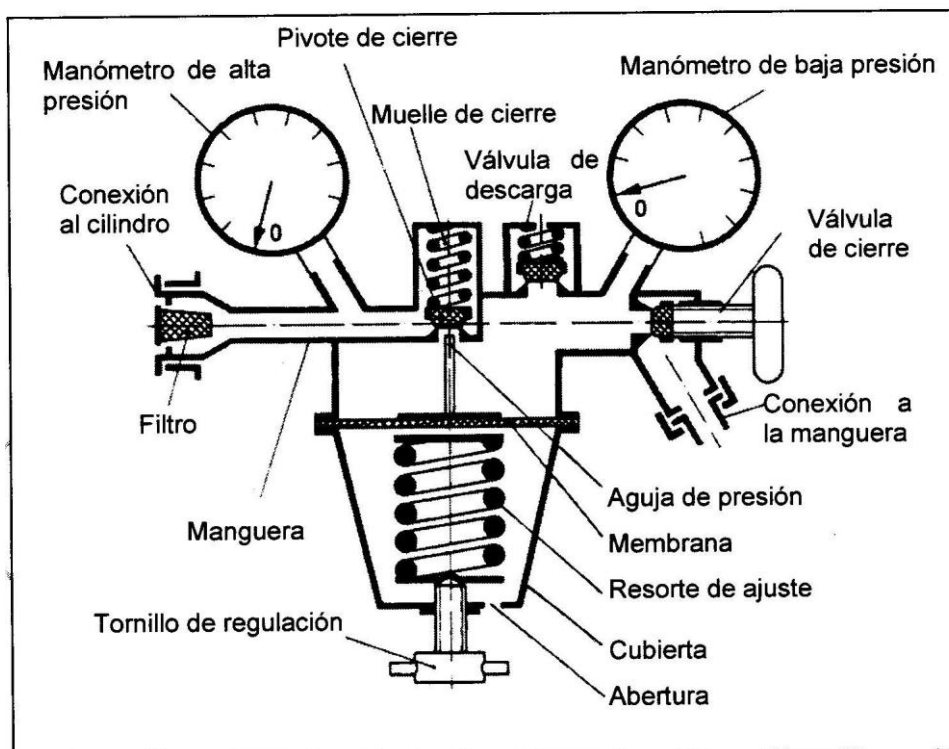


Figura 6.44. Manorreductor.

Cada manorreductor debe utilizarse solamente para lo que ha sido diseñado, es decir, solamente para el gas especificado y para el lugar que será destinado (cilindros o depósitos).

Podemos encontrar dos tipos de válvulas: válvulas de una sola reducción, con una única cámara de expansión, y válvulas de reducción de dos grados, con dos cámaras de expansión, para una reducción más escalonada de presión. Éstas últimas tienen la ventaja de no presentar pequeñas variaciones en la presión de trabajo y disminuir el peligro de congelación de las mismas (debido a la congelación de la humedad del aire).

También podemos encontrar válvulas que llevan el regulador-caudalímetro integrado. En estos casos la botela deberá llevar una tulipa más voluminosa para proteger mejor el conjunto.



### iii. Mangueras

Las mangueras son tubos flexibles de goma por cuyo interior circula el gas, siendo por tanto las encargadas de transportar dicho gas desde los cilindros al soplete.

Las mangueras suelen ser de caucho de buena calidad y deben tener gran resistencia al corte y a la abrasión.

Los diámetros interiores son generalmente de 4 a 9 mm para el oxígeno y de 6 a 11 mm para el gas combustible, mientras que el espesor mínimo es de 2,5 mm. Es conveniente que la longitud no sea inferior a 5 m, aunque la distancia entre el cilindro y el soplete sea pequeña, para permitir libertad de movimientos.

Con la finalidad de poder distinguir en el gas que circula por estas mangueras, las de acetileno son de color rojo y rosca izquierdas al soplete, y las de oxígeno son de color azul o verde y rosa a derechas al soplete.

### IV. Soplete

La misión principal del soplete es asegurar la correcta mezcla de los gases combustible y comburente según su cantidad, de forma que exista equilibrio entre la velocidad de salida y la de inflamación.

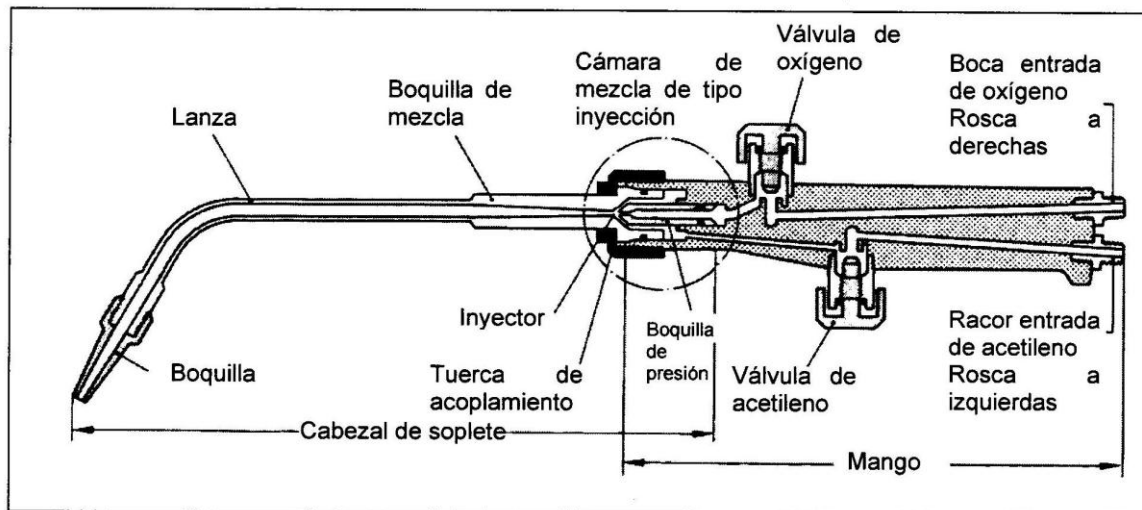


Figura 6.45. Soplete de inyección para soldeo oxi-acetilénico.

Mediante el soplete el soldador controla las características de la llama y maneja la misma durante la operación de soldeo. La potencia de un soplete se mide en litros / hora y expresa el consumo de gas combustible. La elección del tipo y tamaño del soplete depende de las características del trabajo a realizar.

Las partes principales de un soplete son:



- I. Válvulas de entrada de gas: permiten regular la presión, velocidad, caudal y proporción entre el gas combustible y el oxígeno.
- II. Cámara de mezcla: en ella se realiza la mezcla íntima de combustible y comburente. Existen dos tipos fundamentales de cámaras de mezcla, las de sobrepresión y las de inyección o aspiración.

En las cámaras de mezcla de sobrepresión el oxígeno y el gas combustible están a presiones similares y van a la misma velocidad, mezclándose al juntarse las direcciones de ambos gases.

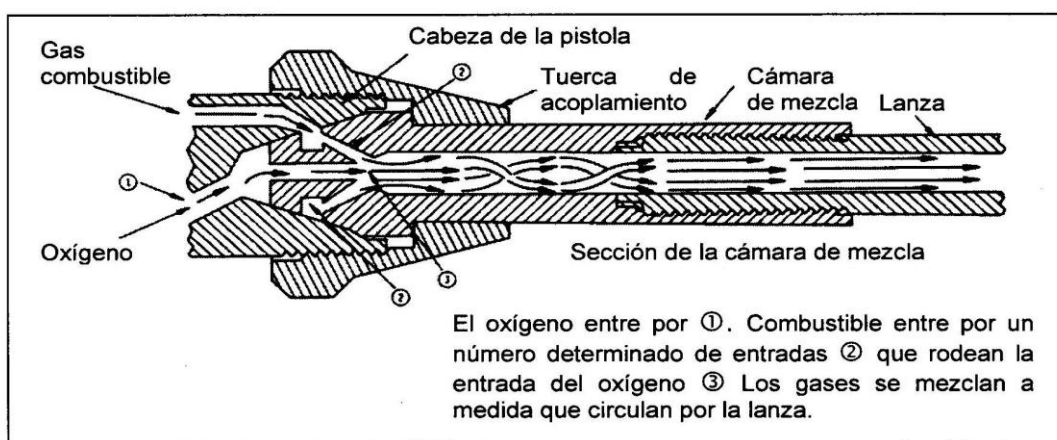


Figura 6.46. Cámara de mezcla de sobrepresión.

En las cámaras de mezcla de inyección o aspiración el gas combustible a baja presión es aspirado por la corriente de oxígeno de alta velocidad por efecto Venturi. Este tipo de cámara de mezcla se emplea cuando el gas combustible es suministrado a una presión demasiado baja para producir una combustión adecuada.

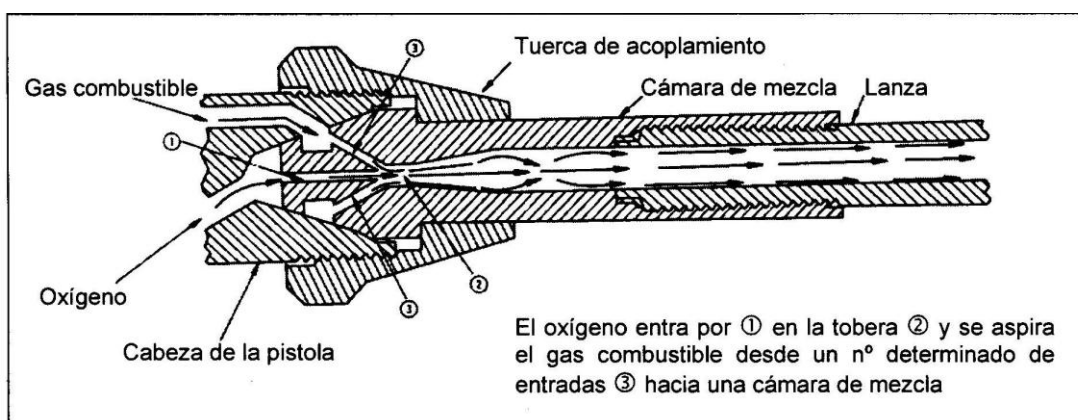


Figura 6.47. Cámara de mezcla de baja presión.



- III. Boquillas: son toberas intercambiables que se ajustan en la parte final o lanza del soplete. Éstas sirven para controlar el flujo de gas por medio del diámetro del orificio de salida.

Las boquillas de pequeños diámetros de salida producen llamas pequeñas siendo aptas para soldar pequeñas secciones, mientras que las boquillas de grandes diámetros se utilizan para soldar grandes secciones.

Es muy importante mantener limpia la boquilla, las roscas y las superficies de cierre para evitar fugas y retrocesos de llama.

#### **V. Válvulas antirretroceso de llama**

Cuando se produce un retroceso de llama, ésta se introduce en el soplete o incluso puede llegar a través de las mangueras a los cilindros de gas y provocar su explosión. Las válvulas antirretroceso previenen:

- La entrada de oxígeno o de aire en el conducto y cilindro que suministra el acetileno.
- Un retroceso de llama dentro del soplete, mangueras, tuberías, cilindros o depósitos.
- El suministro durante y después de un retroceso de llama. Si el retroceso de llama ha sido muy leve en algunos casos no se corta el suministro de gas. Solamente se corta si la temperatura ha aumentado hasta 100°C aproximadamente.

Las válvulas antirretroceso se colocan justo a la salida de las válvulas reductoras de presión para proteger los cilindros. Una opción más correcta sería colocarlas en la entrada del soplete, pero no suele utilizarse porque aumenta el peso con la consiguiente dificultad para el soldador. En caso de mangueras muy largas, además de la situada a la salida de las válvulas reductoras también pueden situarse en algún punto del recorrido de las mangueras como medida de precaución.

#### **6.6.5. Varillas de aportación y fundentes**

Generalmente se utilizan varillas de aportación de la misma composición que el material base. El diámetro de las varillas suele oscilar entre 1.6 y 6.4 mm y su longitud entre 600 y 900 mm.

En el acero al carbono no es necesario el empleo de fundentes ya que los óxidos formados se funden con facilidad, sin embargo, en el soldeo de aceros inoxidable y aluminios es imprescindible utilizar fundentes para disolver los óxidos y proteger el metal de soldadura. No



obstante, el empleo de un fundente no sustituye a la pieza previa al soldeo.

Los residuos que resultan de la operación de soldeo suelen ser corrosivos, por lo que se exige una perfecta eliminación de los mismos.

Los fundentes se suministran en polvo, pasta, en solución o como recubrimiento de las varillas. Para aplicar el fundente se calienta el extremo de la varilla y se introduce en el fundente. A medida que se va soldando se irá introduciendo la varilla en el fundente. También se puede espolvorear el fundente sobre el material base. Los fundentes en forma de pasta se aplican con un pincel sobre el metal base.

### **6.6.6. Técnicas operativas**

#### **I. Soldeo de espesores pequeños**

Se entiende por soldeo de espesores pequeños, el soldeo de chapas de menos de 4.75 mm de espesor. El soldeo de estos materiales se realiza de una sola pasada y no precisa una especial preparación de bordes. Siempre habrá que limpiar bien la zona a soldar.

Los cinco tipos de uniones más comunes en la soldadura oxiacetilénica son: unión a tope, unión a tope con bordes levantados, unión a solape, unión en T y unión en esquina.

#### **II. Soldeo de espesores medianos y grandes**

Se entiende por espesores medianos o grandes, todos aquellos espesores mayores a 4.75 mm. Las soldaduras más comunes son las soldaduras a tope, en T, a solape y en esquina. Las soldaduras a tope en este tipo de espesores pueden conseguirse soldando desde un solo lado, pero requieren un biselado en la preparación de bordes. En el caso de que la soldadura pueda realizarse por ambos lados, puede conseguirse una penetración completa sin biselar los bordes, mediante una sola pasada por cada lado y siempre y cuando se realice un saneado de la primera pasada de raíz.

Las soldaduras sin biselado en la preparación de bordes, tienen la ventaja de evitar el mecanizado, y por tanto del ahorro económico, pero solo es apto si los esfuerzos transmitidos por la soldadura son bajos, ya que si estos son elevados, el volumen de material a fundir es importante y el coste se incrementa fuertemente.

Por último conviene destacar que el soldeo oxiacetilénico de espesores gruesos presenta muchas desventajas respecto al soldeo por arco eléctrico, en lo que se refiere a velocidad de ejecución, economía y deformaciones producidas.





### III. Soldeo de tubos

También en el soldeo de tubos, este proceso se ha visto sustituido por otros procesos, como es el TIG. En el caso del soldeo de tubos por llama oxiacetilénica, la mayoría de soldaduras que se realizan son en tubos circunferenciales y a tope.

Los tubos de hasta 9.5 mm de espesor se sueldan de una sola pasada, mientras que los de mayor espesor requieren mayor número de pasadas.

En cuanto a la preparación y biselado de bordes, debe ser la necesaria para asegurar una correcta penetración y permitir el manejo del soplete.

### IV Técnicas de soldeo

En el soldeo oxiacetilénico se utilizan dos técnicas de soldeo:

- Soldeo a izquierdas o hacia adelante.
- Soldeo a derechas o hacia atrás.

En el soldeo hacia adelante el soldador lleva la varilla del metal de aportación por delante del soplete, según la dirección de avance. Esta técnica se emplea fundamentalmente en chapas de acero de hasta 3 mm y en la mayoría de los metales no férricos y en el soldeo de tubería, ya que el baño de fusión es pequeño y de fácil control.

En el soldeo hacia atrás el soldador lleva la varilla del metal de aportación por detrás del soplete, según la dirección de avance. Se emplea fundamentalmente en chapas de más de 3 mm de espesor, ya que se puede aumentar la velocidad de soldeo y facilita la penetración. Cuando se realizan uniones de dos pasadas en tubería, se suele realizar la primera hacia atrás y la segunda hacia adelante.

#### 6.6.7. Ventajas y limitaciones del proceso

Las ventajas del proceso son:

- I. El soldador tiene control sobre la fuente de calor y sobre la temperatura de forma independiente del control sobre el metal de aportación.
- II. El equipo de soldeo necesario es de bajo coste, normalmente es portátil y muy versátil ya que se puede utilizar para otras operaciones relacionadas con el soldeo, como oxicorte, pre y postcalentamiento, enderezado, doblado, recargue, soldeo fuerte y cobresoldeo, con solo cambiar o añadir algún accesorio.

Las limitaciones del proceso son:



- I. Se producen grandes deformaciones y grandes tensiones internas causadas por el elevado aporte térmico debido a la baja velocidad de soldeo.
- II. El proceso es lento, de baja productividad y destinado a espesores pequeños exclusivamente, ya que aunque se puede realizar el soldeo de grandes espesores resulta más económico el soldeo por arco eléctrico.

### **6.6.8. Aplicaciones**

Como ya se ha comentado anteriormente, el proceso de soldeo por llama oxiacetilénica está prácticamente en un total desuso en la industria, y por lo tanto, también en la construcción naval. A día de hoy, como proceso de soldeo, la llama oxiacetilénica solo se utiliza puntualmente para reparaciones y pequeñas producciones. Estas aplicaciones son básicamente el soldeo de tubos, soldeo de chapas finas, soldeo de perfiles de acero y de raíles de vías de tren.

En cuanto a la aptitud del proceso para ser aplicado a diferentes materiales, es muy buena. Con el proceso de soldeo de llama oxi-acetilénica pueden soldarse todo tipo de aleaciones férreas y no férreas, con la excepción de los metales refractarios y activos.

Actualmente, la llama oxi-acetilénica donde si se sigue utilizando es en los procesos de corte para chapa metálica. El equipo es el mismo utilizado en el proceso de soldeo, cambiando únicamente el caudal de gas y la boquilla del soplete.

## **6.7. Soldeo por arco sumergido**

### **6.7.1. Principios del proceso**

El proceso de soldadura por arco sumergido, también denominado SAW (Sumerged Arc Welding), consiste en la fusión de un electrodo continuo, que puede ser macizo o tubular, protegido por la escoria generada por un flux, granulado o en polvo, con el que se alimenta el arco por separado.

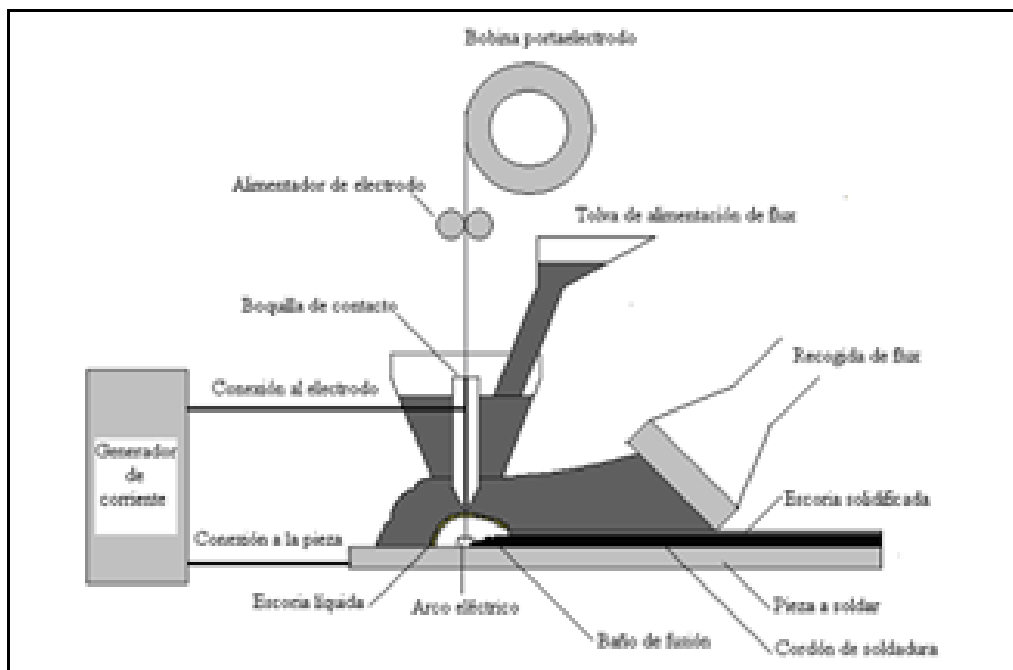


Figura 6.48. Descripción del soldeo por arco sumergido.

El proceso de soldadura por arco sumergido permite depositar grandes volúmenes de metal de soldadura de excelente calidad (tasa de deposición de hasta 50 kg/h) 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 hilos mayores (hasta 2,4 mm) y de forma parecida a como en el proceso MIG se aportaría el flux en vez del gas de protección. El flux viene alimentado de un tanque a presión.

El arco eléctrico se establece entre el electrodo metálico y la pieza a soldar. Igual que sucede con los 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 atmosfera circundante, de tal manera que ambos permanecen invisibles durante el proceso. Parte del flux se funde con un papel similar al del recubrimiento de los electrodos revestidos: proteger el arco, estabilizarlo, generar una escoria de viscosidad y tensión superficial adecuadas e incluso permite añadir elementos de aleación o compensar la pérdida de ellos. El resto del flux no fundido, puede recuperarse y reciclarse en el proceso.

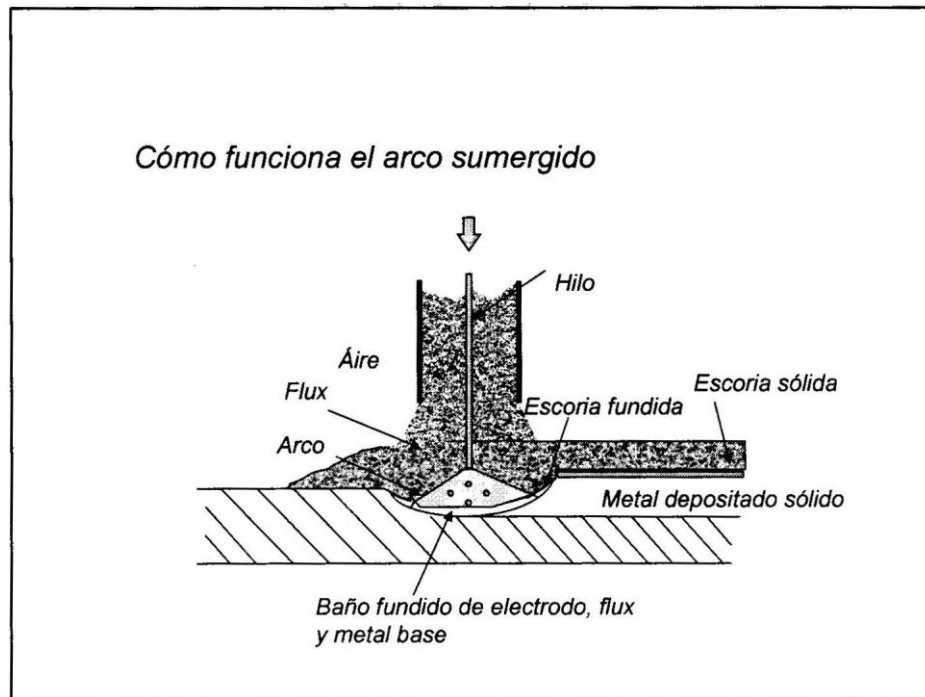


Figura 6.49. Descripción del soldeo por arco sumergido.

Este proceso es bastante versátil y se utiliza para unir aceros al carbono, de baja relación, inoxidable y aleaciones de níquel. También se emplea para revestir materiales con objeto de resistir el fenómeno de corrosión, procedimiento denominado “overlay” o recargue, que será tratado posteriormente. Tanto la calidad como el aspecto que se obtiene de las uniones con este proceso suele ser excelente.

### 6.7.2. Productos de aporte.

#### I. Metales de aportación o alambres

Existen diferentes metales de aportación o alambres, para soldar aceros al carbono, de baja aleación, de alto contenido en carbono, aleados, inoxidable, aleaciones níquel y aleaciones especiales para aplicaciones de recargues. Los metales de aportación o alambres se suministran en forma de alambre sólido o tubular con flux o metal en polvo en su interior, y en forma de fleje o banda, especiales para depósitos por recargue.

Los alambres normalmente se presentan enrollados en carretes de 10 a 500 kg de peso o en bidones de 100 a 1000 kg, mientras que el fleje se suministra en bobinas. Los electrodos de acero se recubren de cobre, excepto para soldaduras de materiales resistentes a la corrosión, ciertas aplicaciones nucleares, o en la fabricación de reactores para la industria del petróleo y petroquímica. El recubrimiento de cobre evita la corrosión, mejora el contacto eléctrico y disminuye el rozamiento del hilo con el dispositivo de alimentación.



El diámetro del hilo varía normalmente desde 1.6 a 6.4 mm y la gama de intensidades de 150 a 1600 amperios.

## II. Fluxes

Los fluxes son compuestos minerales mezclados. Entre ellos se encuentran  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{MnO}$ ,  $\text{K}_2\text{O}$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{Li}_2\text{O}$ ,  $\text{FeO}$ ,  $\text{ZrO}_2$  y  $\text{CaF}_2$ .

Del mismo modo como ocurre con los electrodos revestidos para la soldadura manual, el fabricante del flux se reserva a la composición química completa del mismo y en todo lo demás ofrece porcentajes parciales de elementos agrupados por familias que ejercen una acción familiar.

Según el sistema de fabricación se dividen en:

### a) Fluxes fundidos:

En los fluxes fundidos (fused o prefused) la materia prima se mezcla en seco y se funde posteriormente en un horno eléctrico a una temperatura entre  $1500^\circ\text{C}$  y  $1700^\circ\text{C}$ . Después de la fusión y de cualquier adición final, la carga del horno es colada y enfriada. El enfriamiento se produce por el paso de la mezcla fundida a través de una corriente de agua. El resultado es un producto con apariencia cristalina que es triturado, cribado para clasificación según tamaño y envasado.

Los fluxes fundidos tienen las siguientes ventajas:

- Buena homogeneidad química.
- Fácil eliminación de los finos, sin que afecte la composición del flux.
- Normalmente no higroscópicos, lo que simplifica su manejo y almacenamiento, al mismo tiempo que elimina problemas de soldadura.
- Permiten el reciclado, sin cambios significativos en la composición de las partículas.
- Adecuados para las más altas velocidades de trabajo en la operación de soldeo.

La mayor limitación consiste en la dificultad de añadir desoxidantes y ferroaleaciones durante su fabricación, sin segregaciones o pérdidas elevadas. La causa es la alta temperatura asociada a la fusión de las materias primas. Esto supone que no puedan usarse en algunas aplicaciones, como en juntas estrechas o cuando los requerimientos de propiedades mecánicas son elevados. Además no se pueden obtener en grados básicos o neutros.

Existe una limitación en la intensidad máxima de utilización a efectos de estabilidad de elementos de flux, que aproximadamente es de 800 A. al no ser higroscópicos, es suficiente tratarlos a unos  $200^\circ\text{C}$  para eliminar la posible humedad.



b) Fluxes cohesionados:

En la fabricación de un flux cohesionado (bonded), las materias primas son pulverizadas, mezcladas en seco y cohesionadas con silicato potásico, silicato sódico o una mezcla de ambos. Esta parte de la fabricación es similar a la de la pasta de los electrodos revestidos. Después del cohesionado, la mezcla húmeda es sinterizada y cocida a una temperatura relativamente baja. Los "pellets" se rompen por machaqueo, se criban para clasificación al tamaño deseado y se envasan en sacos de PVC para protegerlos de la humedad.

Las ventajas de los fluxes cohesionados son:

- Es posible la adición de desoxidantes y elementos de aleación, gracias a la baja temperatura inherente al proceso. Los elementos de aleación pueden añadirse ya sea como ferroaleaciones o como metales elementales, para producir aleaciones que no están disponibles en el mercado como electrodos para uno manual o bien para ajustar la composición del metal depositado.
- Al ser baja la densidad de estos fluxes permiten una capa de flux más gruesa en la soldadura.
- Las escorias solidificadas son fácilmente eliminables.

Y las limitaciones son:

- Tendencia a absorber humedad, de la misma manera que el recubrimiento de los electrodos revestidos, lo cual da lugar a posible formación de porosidades o fisuración por hidrógeno, a causa de la absorción de humedad.
- Posible cambio en la composición de flux, debido a la segregación o pérdida de las partículas finas.

La intensidad máxima de corriente para estos fluxes oscila entre 800-1000 A. Estos tipos de fluxes están muy en desuso.

c) Fluxes mezclados mecánicamente:

Para producir un flux de este tipo, el fabricante o el usuario pueden mezclar dos o más fluxes fundidos, cohesionados o aglomerados entre los comercialmente disponibles en la proporción necesaria para conseguir los resultados deseados.

Los inconvenientes son:

- Segregaciones durante su envasado, almacenamiento o manipulación.
- Segregaciones en el sistema de alimentación y recuperación durante la operación de soldeo.
- Posible inconsistencia de flux resultante de la mezcla.

Estos fluxes también están en desuso.



d) Fluxes aglomerados:

Las materias primas son óxidos de hierro, productos químicos tales como silicatos, fluoruros, carbonatos, etc. Estas sustancias cumplen con objetivos diversos como escorificación viscosidad, desoxidación, ionización, etc.

El proceso de fabricación es similar al de los cohesionados, excepto que se utiliza un aglomerante cerámico en lugar de un silicato. El aglomerante cerámico requiere un secado a temperaturas relativamente elevadas.

Después de secos, se tamizan para conseguir la granulometría deseada. Los fluxes aglomeradas se consideran cerámicos porque no han sido fundidos. Presentan una superficie muy porosa y suelen ser higroscópicos, por lo que se recomienda que su embalaje sea estanco, además de que puede requerirse su resecado antes de usarlos o el mantenimiento en ambientes secos, tal como el ejemplo de recomendaciones de almacenamiento que se da más adelante.

Se distinguen de los fundidos porque:

- Aportan mayor cantidad de elementos al metal depositado.
- Se pueden utilizar con hilos no aleados.
- Su actividad química es muy variada. Se distinguen entre fluxes activos, neutros o aleados según si aportan algunos elementos de aleación al metal depositado adicional al aporte del hilo consumible, o bien entre fluxes básicos, ácidos, rutilos o mezcla de ellos, según el tipo de escoria que forman y las propiedades mecánicas que favorecen en el metal depositado.
- I. El consumo de flux es menos.

La transferencia de Mn procedente del flux al metal depositado es cinco veces mayor en los aglomerados que los fundidos. Por esta razón pueden utilizarse hilos con 0,5% de Mn en el primer caso, precisándose hilos con el 2% de Mn en el caso de fluxes fundidos.

Una ventaja esencial es su baja densidad aparente. La consecuencia es que en el arco se funde o escorifica poco flux. Como resultado, el consumo es de 0,9kg de flux aglomerado frente a 1,3kg de flux fundido/kg de hilo (en condiciones óptimas de recuperación y reciclado del flux durante la soldadura).

En este tipo de flux, la intensidad máxima de utilización suele ser mayor que en los fundidos y oscila entre 800 y 1200 A, en función de la naturaleza de los componentes. La temperatura para eliminar la posible humedad también es superior y se sitúa en torno a los 300°C.



### 6.7.3. Características y propiedades del metal depositado

Los diferentes factores que van a influir en la naturaleza, características y comportamiento de los depósitos de soldadura por arco sumergido son:

#### I. Composición del flux

Durante la soldadura por arco sumergido las reacciones entre el metal líquido y el flux son similares a las que se producen en la fabricación del acero entre el metal y la escoria: eliminación de impurezas, transferencia de elementos tales como Mn y Si, etc.

En cuanto a la captación de oxígeno, los óxidos tales como  $Al_2O_3$ , son muy estables mientras que otros como FeO y MnO no lo son y los fluxes que contengan estos últimos producirán soldaduras con elevado contenido de oxígeno. El  $SiO_2$  y el  $TiO_2$  tienen potenciales de oxígeno intermedios. Tal como se ha visto anteriormente, el tipo de flux influirá enormemente en las características del metal depositado.

- Clases de fluxes: todos los fluxes afectan de alguna manera la composición del metal de base. Neutro y activo son términos utilizados para describir el comportamiento químico de un flux sobre la cantidad de material, normalmente Mn y Si, que transfiere al metal depositado y ello depende de la composición del flux, del hilo y del voltaje. Cuando la tensión se incrementa el arco se alarga, aumentando el volumen del flux que se funde y, de esta manera, la cantidad de elementos de aleación disponibles para entrar en el baño de fusión.

- Índice de basicidad: sin embargo, el carácter de flux se mide por su índice de basicidad. Los fluxes preparados a partir de óxidos ácidos tales como  $SiO_2$  y  $Al_2O_3$  se llaman ácidos. Las soldaduras realizadas con este tipo de flux tiene normalmente altas concentraciones de oxígeno.

El índice de basicidad IB, es conocido como índice de Basicidad de Boniszweski, y se aplica a los diferentes tipos de flux.

$$IB = \frac{CaO + CaF_2 + MgO + K_2O + Na_2O + Li_2O + \frac{1}{2}(MnO + FeO)}{SiO_2 + \frac{1}{2}(Al_3O_3 + TiO_3 + ZrO_3)}$$

Los fluxes con  $IB > 1,5$  son básicos por naturaleza. Con  $IB < 1$  ácidos y cuando  $1 \leq IB \leq 1,5$  se consideran neutros.

Para soldaduras en una sola pasada o en una pasada por cada lado, tanto a tope como en rincón, suelen preferirse los fluxes ácidos, pues proporcionan excelentes propiedades de





resistencia mecánica. En cambio, para soldaduras que requieren varias pasadas de soldadura, como lo son las que necesitan rellenar uniones de materiales gruesos (de espesores mayores a 25mm), es recomendable usar fluxes neutros o básicos en los casos en los que se requiera que el flux ayude a proporcionar elevadas propiedades de resistencia a impactos a bajas temperaturas.

Algunos fluxes se formulan para producir y controlar la transferencia de elementos metálicos. Las ferroaleaciones cohesionadas en el flux pueden aportar elementos de aleación al metal depositado para conseguir las propiedades deseadas del depósito. Óxidos agregados al flux, tales como  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  y  $\text{NiO}$  ayudan a distribuir elementos metálicos entre el flux fundido y el metal depositado. El contenido en Si del metal depositado depende del  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  contenido en el flux, la composición del electrodo, la composición del metal de base y de los parámetros del soldeo.

## II. Características mecánicas

En el depósito de un cordón, la masa del metal aportado es pequeña en relación a la del material de base frío. Por eso, en condiciones normales se enfría rápidamente, dando lugar a diferentes estructuras metalúrgicas, en función de la velocidad de enfriamiento.

Si el enfriamiento es rápido influye sobre las características mecánicas del metal aportado, aumentando su carga de rotura y dureza y disminuyendo el alargamiento y tenacidad.

Para aminorar el endurecimiento del depósito debe dejarse la escoria cubriendo el cordón hasta que la temperatura descienda por debajo de la transformación martésítica.

El grano grueso que se forma al depositar un solo cordón, se afina en el caso de varias pasadas y aunque con ello disminuye la carga de rotura del depósito, aumenta al mismo tiempo la tenacidad y el alargamiento del metal aportado.

Con el proceso de soldadura por arco sumergido, pueden conseguirse cordones muy gruesos. Desde el punto de vista de las propiedades mecánicas, resistencia a fisuración, dureza de las zonas afectadas térmicamente y deformación de los materiales que se sueldan, es recomendable, y en este proceso con más motivo que en otros de soldadura al arco, vigilar que los cordones no resulten excesivos. Una forma adecuada es cuidando que el Aporte Térmico no supere el límite que se imponga según la aplicación, el material base y las propiedades que se deseen obtener. En ningún caso se recomienda que dicho Aporte Térmico supere los 3KJ/mm.

## III. Clases de corriente y polaridad

El proceso SAW puede utilizar corriente alterna o continua. Lo más usual es trabajar con una fuente de corriente regulada en voltaje constante y con el electrodo consumible en



polaridad positiva. La clase de corriente y la polaridad influyen en la composición química del metal aportado y en la forma del cordón.

El factor de aporte es mayor conectando el hilo al polo negativo, pero la penetración que se consigue es menor. Este efecto se utiliza fundamentalmente en la soldadura de recargue, para evitar una excesiva penetración en el metal de base, que en la mayoría de las ocasiones no es deseable por razones metalúrgicas.

Una aplicación en la que se puede optar por soldar en polaridad negativa es cuando existe riesgo de perforación de las chapas, sobre todo en la primera pasada, en espesores finos o en algunas separaciones no deseadas en las juntas a unir. También se suele emplear la polaridad negativa si se desea obtener una elevada “garganta” o “cuello” del cordón en soldadura en rincón en una sola pasada. En este caso no es una práctica muy recomendable, salvo que la resistencia mecánica del cordón no tenga una importancia significativa, ya que la penetración de dicho cordón es poca y la dilución con el metal base también, y por tanto la resistencia de la unión resulta menor que un cordón de menor “garganta” o “cuello” que estuviera más penetrado en la junta.

#### IV. Influencia de los parámetros de soldeo

-

a) Intensidad o corriente de soldadura:

- Al aumentar la intensidad, aumentan las pérdidas por combustión del Mn y del Si, disminuyendo su contenido en el metal aportado.
- La intensidad de corriente determina el factor de aportación y caracteriza la forma exterior del cordón. También actúa sobre forma interior influyendo en la penetración.
- Si se aumenta la intensidad sin variar otros parámetros de la soldadura, se observa un aumento progresivo de la penetración, la densidad de corriente, la velocidad de alimentación del hilo y la tasa de deposición.
- Si se eleva la intensidad en exceso se producirá un arco errático, mordeduras y el cordón será muy estrecho y alto.

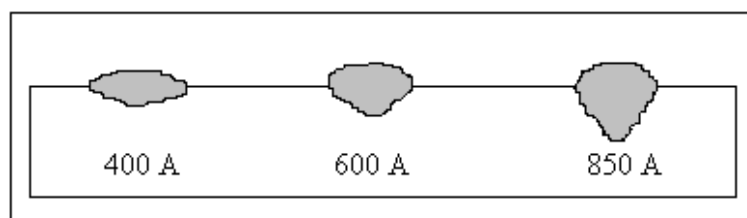


Figura 6.50. Variación del cordón según la intensidad.



b) Tensión o voltaje:

- Al aumentar la tensión del arco aumenta la cantidad de escoria fundida incrementándose el contenido de Mn y de Si en el metal aportado.
- Variando la tensión se modifica la longitud del arco, influyendo especialmente sobre la anchura y la altura del cordón.
- Si hay un voltaje excesivo se producen mordeduras y aumenta la tendencia a sopló magnético.

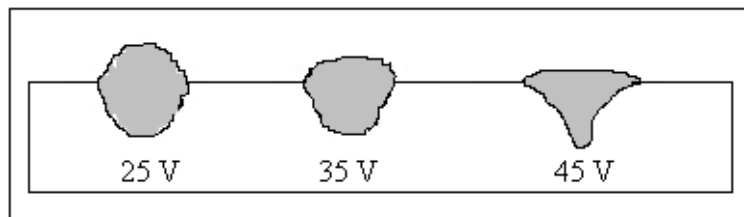


Figura 6.51. Variación del aspecto del cordón según la tensión.

c) Diámetro de hilo consumible:

- Cuando se aumenta el diámetro de hilo se produce menos penetración, el arco se puede desestabilizar, es más difícil establecer el arco y hay menor riesgo de perforar las chapas cuando se usa una corriente elevada.

d) Velocidad de soldeo:

Cuando aumenta la velocidad de soldadura:

- La penetración disminuye;
- El tamaño del cordón se hace más pequeño;
- Disminuye el mojado del baño sobre las chapas que se sueldan;
- Aumenta la tendencia a mordeduras a sopló magnético, porosidad y a una forma irregular del cordón.

Cuando la velocidad es excesivamente lenta:

- Se produce una forma de cordón susceptible a fisuraciones;
- Se puede producir perforación de arco;
- El baño de tamaño excesivo puede resultar rugoso, con salpicaduras e inclusiones de escoria;
- La penetración es menor.
- 

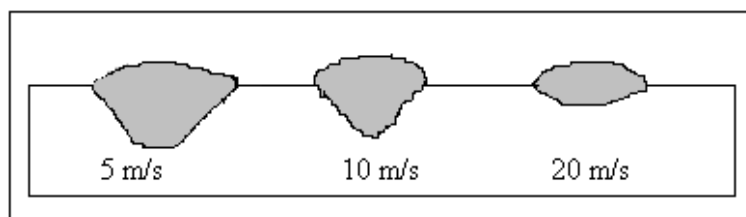


Figura 6.52. Variación del cordón según la velocidad de soldeo.



e) Altura del flux:

La altura del flux debe ser la necesaria para cubrir la luz del arco. Si la altura es demasiado baja:

- se producen destellos;
- pueden producirse poros;
- puede tropezar la boquilla con la escoria fundida.

Si la altura del flux es excesiva:

- se puede ahogar el arco;
- el cordón puede resultar muy estrecho.

f) Polaridad de la corriente:

La polaridad también tiene un efecto en el cordón de soldadura que se obtiene.

Cuando se trabaja con corriente continua y el electrodo en polaridad positiva:

- la penetración es mayor;
- hay mayor resistencia a la porosidad;
- la soldadura resulta con un aspecto más suave.

Cuando se trabaja en polaridad negativa:

- aumenta la tasa de deposición;
- hay menos penetración;

#### 6.7.4. Equipo de soldeo

El equipo para soldadura por arco sumergido consta de los siguientes componentes:

##### **i. Fuente de energía.**

Pueden ser fuentes de corriente continua de tensión constante, fuentes de corriente continua de intensidad constante o fuentes de corriente alterna. Las más utilizadas son las de CC de tensión constante.

##### **ii. Sistema y panel de control.**

El panel de control permite la regulación de la velocidad de alimentación del hilo (Control de la intensidad), el control de la tensión y el paro y arranque del proceso.

##### **iii. Cabezal.**

Formado por:

- Sistema de alimentación de hilo.



- Pistola de soldeo con tubo de contacto.
- Tolva de fundente y manguera para su conducción.
- Sistemas de montaje y posicionamiento del cabezal.

#### **IV. Equipo y accesorios.**

- Sistema de desplazamiento.
- Sistema de recuperación de fundente.
- Posicionadores y accesorios de sujeción.
- Sistemas de de seguimiento de la unión.

#### **6.7.5. Ventajas y limitaciones del proceso**

Las principales ventajas del proceso por arco sumergido son:

- I. Los bordes pueden biselarse con una abertura estrecha, lo que presenta menor cantidad de metal aportado. En algunas aplicaciones, incluso no es necesaria la preparación de bordes.
- II. El arco actúa bajo la capa de flux, evitando salpicaduras.
- III. Pueden ajustarse perfectamente los parámetros de soldeo.
- IV. El proceso puede utilizarse con alta velocidad de soldadura y de deposición. También es aplicable a recargues o aplicaciones de "overlay".
- V. El flux actúa como un energético desoxidante para eliminar contaminantes del baño fundido y producir soldaduras sanas con buenas propiedades mecánicas. El flux puede aportar elementos de aleación a la soldadura.
- VI. Este proceso puede utilizarse en zonas expuestas a viento. El flux granular ejerce una protección superior a la obtenida por el recubrimiento del electrodo en el proceso SMAW o al gas en el proceso GMAW.
- VII. La penetración que se obtiene es superior a la que proporcionan otros procesos, por lo que no suelen requerirse tamaños de cordones tan altos, ya que se obtienen similares propiedades mecánicas a las que proporcionan otros



procesos con mayores tamaños de cordón. Esto se aplica sobre todo, en soldadura en rincón.

- VIII. El aspecto de las soldaduras resulta suave, limpio y, si se ha ejecutado bien, la escoria se elimina sola por lo que se puede pintar o dar el tratamiento superficial que se requiera directamente tras soldar.
- IX. El arco eléctrico no resulta visible, y además los humos son muy inferiores con los que se producen con otros procesos de soldadura, por lo que se requiere mucho menos material de protección del operario.
- X. Suele usarse en procesos automáticos, por lo que es menos dependiente de los errores humanos.

Las limitaciones del proceso son:

- I. Es necesario un dispositivo para el almacenamiento, alimentación y recogida del flux.
- II. Muchas juntas requieren el uso de anillos de respaldo.
- III. El flux está sujeto a contaminaciones, que suelen producir discontinuidades en la soldadura.
- IV. Excepto en aplicaciones especiales, la soldadura queda limitada a las posiciones sobremesa y horizontal, para evitar derrames de flux. Se utiliza también en posición cornisa, como por ejemplo, la soldadura en campo de tanques de almacenamiento.
- V. Al utilizarse normalmente en instalaciones automáticas, se requiere una inversión en equipos que debe tenerse en cuenta.

#### **6.7.6. Aplicaciones**

La aplicación de la soldadura por arco sumergido está muy extendida en los astilleros, sobre todo en los de nueva construcción. Se utiliza mucho en las soldaduras continuas de las grandes obras debido a su facilidad para ser automatizado y a su gran tasa de deposición, muy por encima de los otros procesos.

En cuanto a los materiales base a unir, el soldeo por arco sumergido se puede emplear para el soldeo de aceros al carbono, aceros de baja aleación, aceros inoxidables y aleaciones de níquel.



En reparaciones y soldaduras de pequeño tamaño no es habitual su utilización debido a que su portabilidad es muy limitada y el tiempo de preparación previo a poder realizar la soldadura es mucho mayor que con otros procesos.

En construcción naval es muy habitual realizar mediante el proceso de arco sumergido la soldadura de las chapas del forro exterior del buque, las cuales se consiguen soldar con un carro automatizado. Otro tipo de uniones muy comunes realizadas con arco sumergido son:

- Unión de bloques a doble fondo.
- Unión de tope de mamparos corrugados.
- Unión a tope de piso de Doble fondo.
- Unión a tope de paneles planos.
- Unión ángulo refuerzo a panel.



Figura 6.53. . Chapa del forro exterior de un buque de acero soldados por el proceso SAW.

En la imagen vemos la discontinuidad entre cordones de soldadura. Esto se realiza para evitar los llamados cordones de soldadura, punto en el que coinciden diferentes cordones, los cuales son puntos críticos.



## 7.- CONCLUSIONES

Mediante la realización de este proyecto, hemos podido observar que el mundo de los procesos de soldeo desde fuera quizás parece un mundo más sencillo, pero una vez empiezas a indagar en el tema, te das cuenta de que efectivamente el mundo de la soldadura es inacabable. La soldadura es utilizada en la gran mayoría de procesos industriales y constructivos, ya que es útil para infinidad de procesos, siendo esencial a día de hoy para la sociedad en que vivimos. En el mundo de la construcción naval, la soldadura es un modo de construcción también esencial, ya que todos los buques metálicos construidos son realizados mediante procesos de soldeo.

En un principio no se tenía gran confianza en este método de unión, pero se ha podido comprobar con el tiempo que ofrece grandes posibilidades, como la posibilidad de construcción mediante módulos prefabricados para su posterior unión, proceso el cual es mucho más rápido que el de montar el buque de una sola pieza. Además, existen varios métodos de soldeo, utilizables según las necesidades constructivas, como por ejemplo el arco manual, el soldeo con protección gaseosa, el soldeo con electrodo de tungsteno y gas inerte, etc. Estos procesos ofrecen muchas posibilidades a la hora de realizar uniones mediante soldadura, ya que tenemos procesos manuales, semiautomáticos y automáticos, que nos ayudan a realizar las tareas de unión, siendo, en el caso de procesos automáticos y semiautomáticos, más cómodas y más rápidas de realizar, siendo además más precisas habitualmente.

Aparentemente parece sencillo realizar un correcto cordón de soldadura, pero es muy complicado. Los que hemos tenido la oportunidad de realizar alguna soldadura, como somos todos los estudiantes que hemos cursado tecnología mecánica, hemos sido sorprendidos de la dificultad que tiene la realización de una soldadura perfecta, siendo ésta casi imposible, ya que hay una gran cantidad de parámetros a tener en cuenta, antes, durante y después de la soldadura. Del mismo modo, no es nada fácil la elección de un proceso de soldeo para la realización de una soldadura, ya que hay que considerar una gran cantidad de factores como hemos podido observar en este proyecto.

Después de haber realizado este proyecto fin de carrera, he cumplido con mis expectativas, que eran mejorar y ampliar mis conocimientos sobre el tema, y por ello me siento muy contento y orgulloso.





## 8. AGRADECIMIENTOS

Después de todo este tiempo realizando el proyecto, de tantas horas de recopilación de información y de todo el tiempo que he pasado enfrente del ordenador, quiero agradecer a todas las personas que han hecho posible que esté aquí, que me han apoyado y me han ayudado en todo momento, no solo durante la realización de este proyecto, sino también durante todo el curso, por haber estado a mi lado.

Quiero dar las gracias a mis padres y a mis hermanas, por darme la oportunidad tan valiosa de estudiar en la universidad, por darme todo su apoyo y ayuda, y de todo el amor que me han dado. Son importantísimos para mí, y sin ellos no lo hubiera conseguido.

También quiero dar las gracias a mi pareja que me ha ayudado en todo momento, me ha explicado las cosas que no entendía, y si no fuera por ella no hubiera podido acabar tan pronto la carrera. Gracias Montse.

Agradecer a todos mis amigos que siempre han estado ahí, tanto en los buenos como en los malos momentos, y a todas las personas que no he nombrado que siempre han estado a mi lado.

Y por último agradecer de todo corazón la ayuda de mi tutor, Jordi Torralbo, que desde el primer momento me he llevado muy bien con él, es muy buena persona y siempre me ha tratado muy bien, y esto lo valoro mucho. Además ha estado en todo momento ayudándome con el proyecto, implicado y aconsejándome lo que era mejor para mí.



## 9. BIBLIOGRAFIA

- Marian García Prieto. Apuntes de soldadura: conceptos básicos. Biblioteca técnica universitaria. Madrid: Bellisco 2010.
- F.J. Bakker y A.J.W. Hovesstreijt. *Soldadura por arco*. Miembros del departamento de soldadura de PHILIPS. Traducido por J.Callejo y C.Ros. Madrid: Biblioteca técnica PHILIPS 1968.
- Apuntes Máster de soldadura de IQS.
- Jeffus Larry. Soldadura: principios y aplicaciones. 5ª edición. Madrid: Parafino cop. 2009
- Manuel Reina Gomez. *Soldadura de los aceros. Aplicaciones*. 3.<sup>a</sup> edición. Madrid: 1994. ISBN 84-605-1475-7.
- Joseph W. Giachino y Willam Weeks. *Técnica y práctica de la soldadura*. Traducido por D. Matías Antuña. Barcelona: Editorial reverté, S.A, 1981. ISBN 84-291-6053-1.
- Donald R. Askeland. *Ciencia y tecnología de los materiales*. Traducido por Gabriel Sánchez García. Madrid: Editorial Paraninfo. 2001. ISBN: 84-9732-016-6.
- Joaquín Verdiell Marcos. Apuntes asignatura “*Tecnología Mecánica*”.
- Diccionario enciclopédico Lexis 22. *Diccionario de tecnología*. Editorial: Círculo de lectores.



## 10. LISTA DE FIGURAS

**Figura 3.1.** Esquema de la información que puede contener el símbolo de una soldadura. ([www.scribd.com/doc/23562731](http://www.scribd.com/doc/23562731))

**Figura 3.2.** Distintas líneas de referencia. ([www.scribd.com/doc/23562731](http://www.scribd.com/doc/23562731))

**Figura 3.3.** Indicación del lado a realizar la soldadura. ([www.drweld.com/Simbolos.html](http://www.drweld.com/Simbolos.html))

**Figura 3.4.** Indicación de soldadura realizada en la obra o en el campo. ([www.drweld.com/Simbolos.html](http://www.drweld.com/Simbolos.html))

**Figura 3.5.** Indicación de soldadura continua alrededor de la unión. ([www.drweld.com/Simbolos.html](http://www.drweld.com/Simbolos.html))

**Figura 3.6.** Información adicional. ([www.scribd.com/doc/23562731](http://www.scribd.com/doc/23562731))

**Figura 3.7.** Indicación del tipo de junta. ([www.scribd.com/doc/23562731](http://www.scribd.com/doc/23562731))

**Figura 3.8.** Indicación de simetría asimetría de la soldadura. ([www.drweld.com/Simbolos.html](http://www.drweld.com/Simbolos.html))

**Figura 3.9.** Indicación del contorno de la soldadura. ([www.drweld.com/Simbolos.html](http://www.drweld.com/Simbolos.html))

**Figura 4.1.** Clasificación de los procesos de soldadura EN ISO 4063. (Normativa Cesol-IWE)

**Figura 4.2.** Clasificación de los procesos de soldadura EN ISO 4063. (Normativa Cesol-IWE)

**Figura 4.3.** Clasificación de procesos de soldeo por fusión. (Normativa Cesol-IWE)

**Figura 4.4.** Clasificación de procesos de soldeo en estado sólido. (Normativa Cesol-IWE)

**Figura 4.5.** Clasificación de procesos de soldeo blando y fuerte. (Normativa Cesol-IWE)

**Figura 6.1.** Descripción del proceso. (ITCS- IWE)

**Figura 6.2.** Efecto de los principales parámetros de soldeo en el cordón. (ITCS-IWE)



**Figura 6.3.** Comparativa de las características de soldeo en CC y CA. (ITCS-IWE)

**Figura 6.4.** Penetración obtenida en función de la polaridad. (ITCS-IWE)

**Figura 6.5.** Curva característica del arco, de la fuente y punto de funcionamiento. (ITCS-IWE)

**Figura 6.6.** Portaelectrodo. (J.A. Sanz- CODESOL)

**Figura 6.7.** Descripción del proceso TIG. (J.A. Sanz- CODESOL)

**Figura 6.8.** Características de soldeo de acuerdo con la corriente seleccionada. (J.A. Sanz- CODESOL)

**Figura 6.9.** Corriente alterna con impulsos de alta frecuencia. (J.A. Sanz- CODESOL)

**Figura 6.10.** Esquema de una instalación del proceso de soldeo TIG. (J.A. Sanz- CODESOL)

**Figura 6.11.** Componentes del equipo de corriente alterna. (Cesol-IWE)

**Figura 6.12.** Componentes del equipo de corriente continua. . (Cesol-IWE)

**Figura 6.13.** Portaelectrodo con refrigeración por agua para TIG. . (J.A. Sanz- CODESOL)

**Figura 6.14.** Afilado del electrodo según el tipo de corriente. . (J.A. Sanz- CODESOL)

**Figura 6.15.** Preparación aconsejable para la punta del electrodo para soldeo con corriente continua. . (J.A. Sanz- CODESOL)

**Figura 6.16.** Insertos consumibles más comunes. . (J.A. Sanz- CODESOL)

**Figura 6.17.** Forma del cordón en función del gas de protección. (J.A. Sanz- CODESOL)

**Figura 6.18.** Cebado del arco por raspado. (Cesol-IWE)

**Figura 6.19.** Cebado del arco por corriente de alta frecuencia. (Cesol-IWE)

**Figura 6.20.** Técnica a seguir para el soldeo manual. (Cesol-IWE)

**Figura 6.21.** Ciclo de corriente en el soldeo con arco pulsado. (Cesol-IWE)

**Figura 6.22.** Soldadura obtenida por el proceso TIG. (Cesol-IWE)

**Figura 6.23.** Soldero orbital. (Cesol-IWE)

**Figura 6.24.** Instalación para soldeo TIG con alambre caliente. . (J.A. Sanz- CODESOL)

**Figura 6.25.** Soldadura de tubo en ángulo. . (J.A. Sanz- CODESOL)



- Figura 6.26.** Instalación del proceso de soldadura MIG/MAG. (J.LL. Martí-IQS)
- Figura 6.27.** Tabla resumen de las propiedades según el modo de transferencia. (J.LL. Martí-IQS)
- Figura 6.28.** Transferencia por arco corto. (J.LL. Martí-IQS)
- Figura 6.29.** Transferencia por arco globular. (J.LL. Martí-IQS)
- Figura 6.30.** Transferencia por arco largo. (J.LL. Martí-IQS)
- Figura 6.31.** Transferencia por arco pulsado. (J.LL. Martí-IQS)
- Figura 6.32.** Grafico de la onda intensidad-tiempo de transferencia por arco pulsado. (J.LL. Martí-IQS)
- Figura 6.33.** Transferencia con elevada densidad de corriente. (J.LL. Martí-IQS)
- Figura 6.34.** Soplete para soldeo MIG/MAG. (J.LL. Martí-IQS)
- Figura 6.35.** Conexión polaridad directa CCPD. (Pere Palacín- IQS)
- Figura 6.36.** Conexión polaridad indirecta CCPI. (Pere Palacín- IQS)
- Figura 6.37.** Instalación de soldeo FCAW. (Raimond Franch- TMC)
- Figura 6.38.** Unión eslora-mamparo (PFC Joan S alart)
- Figura 6.39.** Soldeo plasma. (Raimond Franch- TMC)
- Figura 6.40.** Respaldo con ranura para el soldeo en ojo de cerradura. (Raimond Franch- TMC)
- Figura 6.41.** Zonas características de la llama oxi-acetilénica. (Javier Martín-LINDE)
- Figura 6.42.** Tipos de llama oxi-acetilénica y aplicaciones. (Javier Martín-LINDE)
- Figura 6.43.** Instalación de soldeo oxi-acetilénico. (Javier Martín- LINDE)
- Figura 6.44.** Manorreductor. (Javier Martín- LINDE)
- Figura 6.45.** Soplete de inyección para soldeo oxi-acetilénico. (Javier Martín-LINDE)
- Figura 6.46.** Cámara de mezcla de sobrepresión. (Javier Martín- LINDE)
- Figura 6.47.** Cámara de mezcla de baja presión. (Javier Martín- LINDE)
- Figura 6.48.** Descripción del soldeo por arco sumergido.(Ricard Compte- ITCS)
- Figura 6.49.** Descripción del soldeo por arco sumergido. (Ricard Compte- ITCS)
- Figura 6.50.** Variación del cordón según la intensidad. (Ricard Compte- ITCS)



**Figura 6.51.** Variación del aspecto del cordón según la tensión. (Ricard Compte- ITCS)

**Figura 6.53.** Variación del cordón según la velocidad de soldeo. (Ricard Compte- ITCS)

**Figura 6.53.** Chapa del forro exterior de un buque de acero soldados por el proceso SAW. (PFC Joan Salart)



## ANEXO

### I. Colores de Botellas: Nueva Normativa EN 1089-3

#### UNE-EN 1089-3

Con la entrada en vigor de la norma UNE-EN 1089-3 se reemplaza a la ITC AP7 en lo relativo a colores de botellas de Gas. Uno de los requisitos del Reglamento es la adaptación a la Norma EN 1089-3 que define los colores europeos de las botellas de gas, estableciéndose un nuevo sistema de códigos de colores para la identificación del riesgo asociado al contenido de una botella de gas (tóxico, y/o corrosivo, inflamable, oxidante, inerte). La norma establece un plazo de cinco años (hasta el 31 de julio de 2014) para que todas las botellas estén pintadas según los nuevos colores. Durante este periodo de tiempo convivirán las botellas pintadas según la normativa anterior y la nueva.

Es muy importante recordar que la etiqueta de cada botella es el primer y principal soporte indicativo del contenido de la misma. La nueva reglamentación de los colores de la ojiva es un método complementario de información.

Los aspectos más relevantes de la nueva adaptación son:

- Regula únicamente el color de la ojiva (parte superior de la botella) en función del riesgo asociado al contenido de la botella: tóxico y/o corrosivo, inflamable, oxidante, inerte.
- El color del cuerpo (parte inferior de la botella) es de libre aplicación y no se identifica con el riesgo del gas, pudiendo ser elegido por el fabricante a condición de que no genere confusión con los colores de riesgo de la ojiva.
- Para evitar confusiones, las ojivas de las botellas pintadas con los nuevos colores se identifican con dos letras N (Nuevo) mayúsculas. Lógicamente, los gases que no cambian de color no incorporarán la letra N en la ojiva.
- La única indicación vinculante que informa del gas contenido en la botella es la etiqueta banana. El color de la ojiva de la botella sirve solamente como información complementaria sobre las propiedades del gas. Por este motivo y especialmente durante el periodo de transición entre las dos normas, se recomienda que se ponga especial atención a la etiqueta banana de las botellas.



**Regla general**

Color de riesgo	Antiguo sistema	Nuevo código europeo
Tóxico/corrosivo	Verde (u otro)	Amarillo
Inerte (argón y mezclas)	Amarillo o mezcla de colores	Verde intenso Verde oscuro
Inflamable	Rojo (u otro)	Rojo
Oxidante	Blanco (u otro)	Azul

**Gases industriales**

Gases	Antes	Después	Gases	Antes	Después
Argón	Amarillo	Verde oscuro	Amoníaco Cloro Monóxido de nitrógeno	Diversos colores	Amarillo
Kriptón Neón Xenón	Marrón	Verde intenso	Monóxido de carbono Arsina Fluor	Diversos colores	Amarillo
Acetileno	Marrón	Rojo	Fosfina Dióxido de azufre	Diversos colores	Amarillo

**Mezclas industriales**

Mezclas tóxicas	Amarillo
Mezclas inflamables	Rojo
Mezclas oxidantes	Azul claro
Mezclas inertes	Verde intenso

**Los gases habituales que no cambian son**

Oxígeno	Blanco	Dióxido de carbono	Gris
Nitrógeno	Negro	Óxido nitroso	Azul
Hidrógeno	Rojo	Helio	Marrón





## II. Recomendaciones generales de utilización de los procesos de soldeo según tipo y espesor del material a soldar.

Material	Espesor	Procesos de soldeo (AWS)									
		S M A W	S A W	G M A W	G M A W	G M A W	G M A W	F C A W	G T A W	P A W	O F W
Acero carbono	S	X	X	-	-	X	X	-	X	-	X
	I	X	X	X	X	X	X	X	X	-	X
	M	X	X	X	X	X	-	X	-	-	X
	T	X	X	X	X	X	-	X	-	-	X
Acero baja aleación	S	X	X	-	-	X	X	-	X	-	X
	I	X	X	X	-	X	X	X	X	-	-
	M	X	X	X	-	X	-	X	-	-	-
	T	X	X	X	-	X	-	X	-	-	-
Acero inoxidable	S	X	X	-	-	X	X	-	X	X	X
	I	X	X	X	-	X	X	X	X	X	-
	M	X	X	X	-	X	-	X	-	X	-
	T	X	X	X	-	X	-	X	-	-	-
Acero fundido	S	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	I	X	-	-	-	-	-	-	-	-	X
	M	X	X	X	-	-	-	X	-	-	X
	T	X	X	X	-	-	-	X	-	-	X
Níquel y sus aleaciones	S	X	-	-	-	X	X	-	X	X	X
	I	X	X	X	-	X	X	-	X	X	-
	M	X	X	X	-	X	-	-	-	X	-
	T	X	-	X	-	X	-	-	-	-	-
Aluminio y sus aleaciones	S	-	-	X	-	X	-	-	X	X	X
	I	-	-	X	-	X	-	-	X	-	-
	M	-	-	X	-	-	-	-	-	-	-
	T	-	-	X	-	-	-	-	-	-	-
Titanio y sus aleaciones	S	-	-	-	-	X	-	-	-	X	-
	I	-	-	X	-	X	-	-	-	X	-



	<b>M</b>	-	-	<b>X</b>	-	<b>X</b>	-	-	-	<b>X</b>	-
	<b>T</b>	-	-	<b>X</b>	-	<b>X</b>	-	-	-	-	-
<b>Cobre y sus aleaciones</b>	<b>S</b>	-	-	-	-	<b>X</b>	-	-	-	<b>X</b>	-
	<b>I</b>	-	-	<b>X</b>	-	<b>X</b>	-	-	-	<b>X</b>	-
	<b>M</b>	-	-	<b>X</b>	-	-	-	-	-	-	-
	<b>T</b>	-	-	<b>X</b>	-	-	-	-	-	-	-
<b>Magnesio y sus aleaciones</b>	<b>S</b>	-	-	-	-	<b>X</b>	-	-	-	<b>X</b>	-
	<b>I</b>	-	-	<b>X</b>	-	<b>X</b>	-	-	-	<b>X</b>	-
	<b>M</b>	-	-	<b>X</b>	-	<b>X</b>	-	-	-	-	-
	<b>T</b>	-	-	<b>X</b>	-	<b>X</b>	-	-	-	-	-
<b>Aleaciones refractarias</b>	<b>S</b>	-	-	-	-	<b>X</b>	-	-	-	<b>X</b>	-
	<b>I</b>	-	-	<b>X</b>	-	<b>X</b>	-	-	-	-	-
	<b>M</b>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	<b>T</b>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

**Código del proceso:**

- SMAW: soldeo por arco con electrodo revestido.
- SAW: soldeo por arco sumergido.
- GMAW: soldeo por arco con gas (ST.-arco spray, B.- arco globular, P.- arco pulsado, S.- cortocircuito)
- FCAW: soldeo por arco con alambre tubular.
- GTAW: soldeo por arco con electrodo de wolframio.
- PAW: soldeo por arco plasma.
- OFW: soldeo oxigás.

**Espesores:**

- S – chapa fina hasta 3 mm.
- I – chapa intermedia de 3 a 6 mm.
- M – chapa de espesor medio de 6 a 19 mm.
- T – chapa de espesor superior a 19 mm.
- X – recomendado.



### III. Preparación de bordes

El chaflán de una soldadura es una abertura entre dos piezas a soldar que facilita el espacio para contener la soldadura. Este chaflán podrá tener diversas geometrías dependiendo de los espesores de las piezas, el proceso de soldeo utilizado y la aplicación de la soldadura. En la tabla a continuación se muestran las geometrías más usuales con sus denominaciones.

Chaflán plano simple		
Chaflán en bisel simple o en Y		Chaflán en V simple
Chaflán en bisel doble o en K		Chaflán en V doble

Chaflán en J simple		Chaflán en U simple	
Chaflán en J doble		Chaflán en U doble	
Canto rebordeado		Canto rebordeado	
Chaflán escarpado			

Los chaflanes en U, en U doble, en J y en J doble se utilizan en lugar de chaflanes en V, en V doble, en bisel simple y en bisel doble en las piezas de gran espesor con objeto de ahorrar material de aportación, al mismo tiempo se reducen el aporte térmico y las deformaciones.

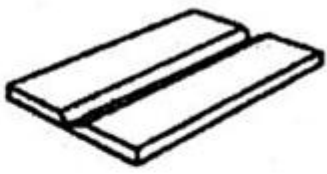
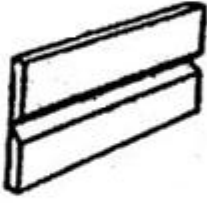
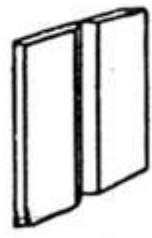
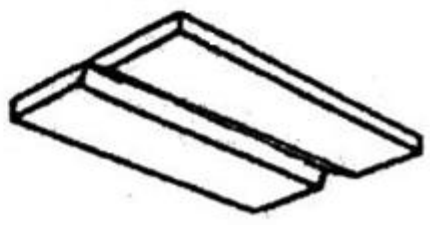


#### IV. Tipo de uniones soldadas.

	<p>Aplicable a soldaduras</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Con chaflán biselado</li> <li>Con chaflán en bisel ensanchado</li> <li>Con chaflán en J</li> <li>Con chaflán en U</li> <li>Con chaflán en V</li> </ul> <ul style="list-style-type: none"> <li>Con chaflán en V ensanchada</li> <li>Con chaflán plano</li> <li>De borde en canto</li> <li>Fuertes</li> </ul>
	<p>Aplicable a soldaduras</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Con chaflán biselado</li> <li>Con chaflán en bisel ensanchado</li> <li>Con chaflán en J</li> <li>Con chaflán en U</li> <li>Con chaflán en V</li> <li>Con chaflán en V ensanchada</li> </ul> <ul style="list-style-type: none"> <li>Con chaflán plano</li> <li>De tapón</li> <li>En ángulo</li> <li>En ojal</li> <li>Fuertes</li> <li>Por costura</li> <li>Por protuberancias</li> <li>Por puntos</li> </ul>
	<p>Aplicable a soldaduras</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Con chaflán biselado</li> <li>Con chaflán en bisel ensanchado</li> <li>Con chaflán en J</li> <li>Con chaflán plano</li> <li>De tapón</li> </ul> <ul style="list-style-type: none"> <li>En ángulo</li> <li>En ojal</li> <li>Fuertes</li> <li>Por costura</li> <li>Por protuberancias</li> <li>Por puntos</li> </ul>
	<p>Aplicable a soldaduras</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Con chaflán biselado</li> <li>Con chaflán en bisel ensanchado</li> <li>Con chaflán en J</li> <li>De tapón</li> <li>En ángulo</li> </ul> <ul style="list-style-type: none"> <li>En ojal</li> <li>Fuertes</li> <li>Por costura</li> <li>Por protuberancias</li> <li>Por puntos</li> </ul>
	<p>Aplicable a soldaduras</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Con chaflán biselado</li> <li>Con chaflán en bisel ensanchado</li> <li>Con chaflán en J</li> <li>Con chaflán en U</li> <li>Con chaflán en V</li> </ul> <ul style="list-style-type: none"> <li>Con chaflán en V ensanchada</li> <li>Con chaflán plano</li> <li>De canto</li> <li>Por costura</li> </ul>





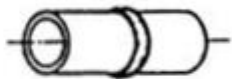

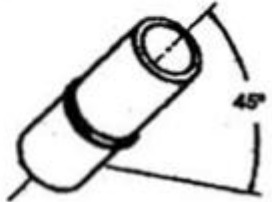
**V. Posiciones de las uniones soldadas.**

POSICIONES DE LAS UNIONES SOLDADAS			
SOLDADURAS DE CHAPAS A TOPE			
DENOMINACIÓN		DESCRIPCIÓN	CROQUIS
AWS	EN		
1G	PA	CHAPA HORIZONTAL SOLDADURA PLANA	
2G	PC	CHAPA VERTICAL SOLDADURA EN CORNISA	
3G	PG PF	CHAPA VERTICAL SOLDADURA EN VERTICAL DESCENDENTE ASCENDENTE	
4G	PE	CHAPA HORIZONTAL SOLDADURA BAJO TECHO	

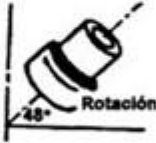






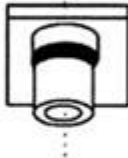
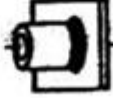



POSICIONES DE LAS UNIONES SOLDADAS			CROQUIS
SOLDADURAS DE CHAPAS EN ÁNGULO			
DENOMINACIÓN		DESCRIPCIÓN	
AWS	EN		
1F	PA	CHAPA INCLINADA SOLDADURA PLANA ACUNADA	
2F	PB	CHAPA HORIZONTAL SOLDADURA EN RINCÓN	
3F	PG PF	CHAPA VERTICAL SOLDADURA EN VERTICAL DESCENDENTE ASCENDENTE	
4F	PD	CHAPA HORIZONTAL SOLDADURA BAJO TECHO	



POSICIONES DE LAS UNIONES SOLDADAS				
SOLDADURAS DE TUBERÍAS A TOPE				
DENOMINACIÓN		DESCRIPCIÓN		CROQUIS
AWS	EN			
1G	PA	TUBERÍA HORIZONTAL MOVIMIENTO ROTACIÓN SOLDADURA PLANA		
2G	PC	TUBERÍA VERTICAL SIN MOVIMIENTO SOLDADURA EN CORNISA		
5G	PG PF	TUBERÍA HORIZONTAL SIN MOVIMIENTO SOLDADURA PLANA, VERTICAL Y EN TECHO		
6G	H-L045 JL-045 KL-045	TUBERÍA INCLINADA SIN MOVIMIENTO SOLDADURA VERTICAL		



POSICIONES DE LAS UNIONES SOLDADAS			SOLDADURAS DE TUBERÍAS EN ÁNGULO	
DENOMINACIÓN		DESCRIPCIÓN	CROQUIS	
AWS	EN			
1F	PA	TUBERÍA INCLINADA MOVIMIENTO DE ROTACIÓN SOLDADURA PLANA		
2F	PB	TUBERÍA VERTICAL SIN MOVIMIENTO SOLDADURA EN CORNISA		
2FR	PB	TUBERÍA HORIZONTAL MOVIMIENTO ROTACIÓN SOLDADURA EN CORNISA		
4F	PD	TUBERÍA VERTICAL SIN MOVIMIENTO SOLDADURA EN TECHO		
5F	PG PF	TUBERÍA HORIZONTAL SIN MOVIMIENTO SOLDADURA EN TECHO, PLANA, EN CORNISA		





## VI. Ficha técnica de los principales gases utilizados para el soldeo

### ACETILENO

#### Descripción:

- El Acetileno es un gas incoloro e inodoro en su estado puro, comercialmente tiene un olor característico (ajo). Es ligeramente más liviano que el aire.
- La proporción de contenido de carbono e hidrógeno (elementos componentes) es de aproximadamente 12/1 en peso (7,74% de hidrógeno y 92,96% de carbono). No es tóxico ni corrosivo. Es muy inflamable y arde en el aire con una intensa llama luminosa, humeante y caliente. Los límites superior e inferior de inflamabilidad son 2,8 y 93% en volumen de Acetileno en aire
- Debido a su inestabilidad a altas presiones, se envasa en cilindros de acero que contienen un relleno monolítico de alta porosidad, saturado con un solvente, que generalmente es acetona, en la que se encuentra disuelto el acetileno, salvo una pequeña proporción, que permanece en estado gaseoso en la parte superior del cilindro. El relleno poroso estabiliza el gas, sofocando los conatos de descomposición.

#### Uso del gas:

- Debido a su reactividad, es usado en la industria química para procesos de síntesis de otros productos orgánicos.
- Usado en combinación con oxígeno constituye un combustible de alto rendimiento. Se aplica para trabajos de soldadura y corte, tratamientos por calor, escarificado, enderezado, temple y revenido de partes mecánicas, así también en la fabricación de piezas de vidrio.
- Protección de moldes de fundición a fin de evitar que El fierro fundido se pegue a las coquillas o moldes en los cuales es vertido para obtener la forma de las piezas fundidas.
- Protección de metales fundidos para evitar oxidación.

#### Ficha técnica:

Peso molecular 26,04 g/mol  
Punto de ebullición (10 psig) -75,00 °C  
Densidad del sólido (1 atm) 729,00 kg/m<sup>3</sup>  
Presión crítica 62,50 bara  
Densidad gas (15°C, 1 atm) 1,11 kg/m<sup>3</sup>  
Temperatura crítica - 36,00 °C

### OXÍGENO

#### Descripción:

- En condiciones normales de presión y temperatura, es un gas incoloro, inodoro y sin sabor. Constituye cerca de un quinto en la composición del aire atmosférico (20,99% en volumen y 23,2% en peso). Es 1,1 veces más pesado que el aire, ligeramente soluble en agua y es un



débil conductor de la electricidad.

- Es un elemento muy activo. No se quema pero si mantiene la combustión. Se combina directa e indirectamente con todos los elementos a excepción de los gases raros formando óxidos. Sin embargo estos procesos de oxidación ocurren a distintas condiciones de presión y temperatura.
- Como líquido, tiene un color azulado, ligeramente más pesado que el agua, magnético, no inflamable y no produce vapores tóxicos o irritantes.
- A presión atmosférica y temperatura inferior a  $-183^{\circ}\text{C}$  es líquido, que generalmente es almacenado en tanques criogénicos especiales.

#### **Uso del gas:**

- La principal aplicación es como soporte de vida y para mantener la combustión.
- Se usa en procesos de soldadura oxiacetilénica, corte, producción de acero, fabricación de productos sintéticos, etc.
- Por sus propiedades oxidantes, es utilizado en diversas aplicaciones en siderurgia, industria papelera, electrónica y química.
- Enriquecimiento de llamas en formas diversas (mezcla oxicomcombustible).
- En su uso medicinal se aplica en oxígeno-terapia, para resucitación y con otros gases en mezclas anestésicas.
- Incrementa la capacidad de las fundiciones del hierro y acero.
- Se utiliza en la producción de gas de síntesis, producción de ácido nítrico, etileno y otros compuestos.

#### **Ficha técnica:**

Peso molecular 31,999 g/mol

Punto de ebullición (1 atm)  $-183,0^{\circ}\text{C}$

Densidad de líquido (1 atm) 1141,0 kg/m<sup>3</sup>

Presión crítica 731,4 psia

Densidad gas (15°C, 1 atm) 1,354 kg/m<sup>3</sup>

Temperatura crítica  $-118,6^{\circ}\text{C}$

## **ARGÓN**

#### **Descripción:**

- Elemento que a temperatura y presión atmosféricas es un gas incoloro, inodoro e insípido. Constituye cerca del 1 % en la composición del aire atmosférico. Es aproximadamente 30 % más pesado que el aire.
- No es tóxico y es químicamente inerte. No es inflamable y no presenta peligro de combustión. Sin embargo es asfixiante por desplazar la cantidad de aire que soporta la vida.
- Como líquido es incoloro y 1,39 veces más pesado que el agua.



**Uso del gas:**

- En la fabricación de lámparas incandescentes y fluorescentes.
- Como atmósfera protectora inerte en soldadura de arco para prevenir la oxidación de los metales.
- En soldadura de aluminio y titanio en procesos MIG, TIG y corte de plasma.
- Como suavizador y pasivador del acero en hornos siderúrgicos, para reducir las pérdidas de Cromo y cumplir con el contenido de carbono establecido.
- En análisis químico instrumental, con la generación del plasma.

**Ficha técnica:**

Peso molecular 39,944 g/mol  
Punto de ebullición (1 atm) -185,90 °C  
Densidad de líquido (1 atm) 1392,8 kg/m<sup>3</sup>  
Presión crítica 48,98 bara  
Densidad gas (15°C, 1 atm) 1,691 kg/m<sup>3</sup>  
Temperatura crítica -122,3 °C

**HELIO**

**Descripción:**

- Elemento que a temperatura y presión atmosféricas es un gas incoloro, inodoro e insípido. Constituye cerca del 0,0005 % en la composición del aire atmosférico. Pesa aproximadamente 14 % de la densidad del aire. Después del hidrógeno, es el elemento más liviano.
- No es tóxico y es completamente inerte, tanto a las reacciones químicas como a la radiación. Es el gas con más alta conductividad térmica. No es inflamable y no presenta peligro de combustión. Sin embargo es asfixiante por desplazar la cantidad de aire que soporta la vida.
- Como líquido es incoloro y 8 veces más liviano que el agua.

**Uso del gas:**

- En globos comunes, globos aerostáticos y dirigibles.
- Como atmósfera protectora inerte en soldadura de arco para prevenir la oxidación de los metales.
- En refrigeración de reactores nucleares.
- En la detección de fugas en circuitos de refrigeración y otros sistemas.
- En cromatografía como gas patrón y gas carrier.
- En la preparación de mezclas de gases de respiración para buceo profundo y otras aplicaciones médicas, junto con el oxígeno y otros gases.
- En resonancia magnética al estado líquido, para enfriar los magnetos.



**Ficha técnica:**

- Peso molecular 4,0 g/mol
- Punto de ebullición (1 atm) -268,9 °C
- Densidad de líquido (1 atm) 124,98 kg/m<sup>3</sup>
- Presión crítica 2,27 bara
- Densidad gas (15°C, 1 atm) 0,165 kg/m<sup>3</sup>
- Temperatura crítica -267,9 °C

**DIÓXIDO DE CARBONO**

**Descripción:**

- El dióxido de carbono o anhídrido carbónico es un compuesto formado por la combinación de átomos de carbono y oxígeno en una relación de 1 : 2, representado por el símbolo CO<sub>2</sub>.
- Los porcentajes de carbono y oxígeno son 27,30 % y 72,70 % en peso respectivamente.
- A temperatura y presión atmosféricas el CO<sub>2</sub> es un gas incoloro, inodoro, el mismo que es 1.5 veces más denso que el aire.
- Dependiendo de la temperatura y la presión a la cual se encuentre, el dióxido de carbono puede existir en fase sólida, líquida o gaseosa. A la temperatura de -56.60 °C y presión de 417 kPa. (60,43 psig.) el dióxido de carbono se encuentra en sus tres fases simultáneamente, siendo éste su correspondiente punto triple.
- A temperaturas sobre 31,10 °C el dióxido de carbono sólo puede existir como gas, sin importar a la presión a la cual se le someta. Esta temperatura se conoce como temperatura crítica.
- La solubilidad del dióxido de carbono en agua pura es relativamente baja; un volumen de agua a una atmósfera de presión y 15,60 °C absorbe un volumen de dióxido de carbono. La solubilidad varía con la presión ejercida.

**Uso del gas:**

- Dióxido de carbono es usado para la carbonatación de agua en la producción de bebidas carbonatadas.
- Como hielo seco para fines de congelamiento.
- También se lo aplica para proveer una atmósfera inerte como preservante en alimentos envasados.
- Como atmósfera inerte para prevenir la combustión de materiales inflamables.
- Como gas protector en procesos de soldadura al arco y MIG, y mezclado con Argón.
- En la recuperación de aceites y grasas en procesos de extracción.
- En la fundición es usado como un reactivo instantáneo en el endurecimiento de moldes de arena.
- En la estimulación del crecimiento y desarrollo de vegetales en invernaderos.
- En la protección de vinos, cervezas y jugos de fruta contra la oxidación por contacto con aire.
- Anestésico antes de la matanza de animales.
- Como un medio de presurización.



- Aplicado como refrigerante en diversas aplicaciones.
- Debido a sus efectos fisiológicos, como coadyuvante en el control de la respiración.

**Ficha técnica:**

Peso molecular 44,01 g/mol  
Temp. sublimación (1 atm) - 78,50 °C  
Densidad del líquido (21.1°C, 1atm) 763,00 kg/m<sup>3</sup>  
Presión crítica 1056,70 psig.  
Densidad gas (21,1°C, 1 atm) 1,83 kg/m<sup>3</sup>  
Temperatura crítica 31,10 °C

**NITROGENO**

**Descripción:**

- Elemento que a temperatura y presión atmosféricas es un gas incoloro, inodoro e insípido. Constituye cerca de los cuatro quintos en la composición del aire atmosférico. Es aproximadamente 3% más liviano que el aire.
- No es tóxico y químicamente es inerte. No es inflamable y no presenta peligro de combustión. Sin embargo es asfixiante por desplazar el oxígeno, que soporta la vida, del aire ambiental.
- Se combina sólo con algunos de los metales más activos (Li, Mg), y a altas temperaturas con hidrógeno y oxígeno.
- A presión atmosférica y temperatura inferior a -196°C, es un líquido incoloro, poco más liviano que el agua.

**Uso del gas:**

- Como atmósfera inerte.
- Protección contra el fuego y explosiones.
- Como impelente en el procesamiento de alimentos.
- Como gas inerte para la remoción de gases disueltos en líquidos.
- Prevención del deterioro por oxidación.
- Secado y prueba de presión en tuberías.
- Enfriamiento y congelación criogénica.
- Procesos químicos como gas de síntesis y regenerador de catalizadores en petroquímica.

**Ficha técnica:**

Peso molecular 28.013 g/mol  
Punto de ebullición (1 atm) -195,80 °C  
Densidad de líquido (1 atm) 808,60 kg/m<sup>3</sup>  
Presión crítica 33,999 bara  
Densidad gas (15°C, 1 atm) 1,185 kg/m<sup>3</sup>  
Temperatura crítica -146,95 °C