



## **CAPÍTULO 26: SOLDADURA**

### **26.1. INTRODUCCIÓN**

En general existen dos caminos para unir dos partes; el primero utiliza técnicas mecánicas tales como atornillado o remachado, en el que por ejemplo, la resistencia de la unión es obtenida de las fuerzas de fricción que mantienen las partes en su lugar, y de la resistencia a la tracción y de cizalle del tornillo. El segundo camino, el cual será tratado en forma breve en este capítulo es la unión entre las superficies a ser unidas; esto puede ser realizado fundiendo las dos superficies juntas como es el caso de soldadura por fusión o mediante un flujo de líquido de bajo punto fusión al interior de una adecuada separación, como es el caso de las soldaduras fuerte y blanda (*brazing* y *soldering*, respectivamente).

El método de unión más usado a nivel mundial es sin duda la soldadura, la cual se puede definir como sigue:

*“Unión de dos o más partes por calentamiento o presión o una combinación de ambos de tal forma que los materiales formen un continuo. Puede ser usado un material de aporte con un punto de fusión similar al material base.”*

### **26.2. CLASIFICACIÓN DE LOS PROCESOS DE SOLDADURA**

Los diferentes procesos de soldadura existente pueden ser clasificados mediante las características de unión del proceso; la ilustración de la figura 1 nos permite tener una visión general de ello. Junto a los procesos de soldadura, se muestran, también, algunos procesos relacionados a la soldadura.

A continuación se describen brevemente algunos de los principales procesos de soldadura.

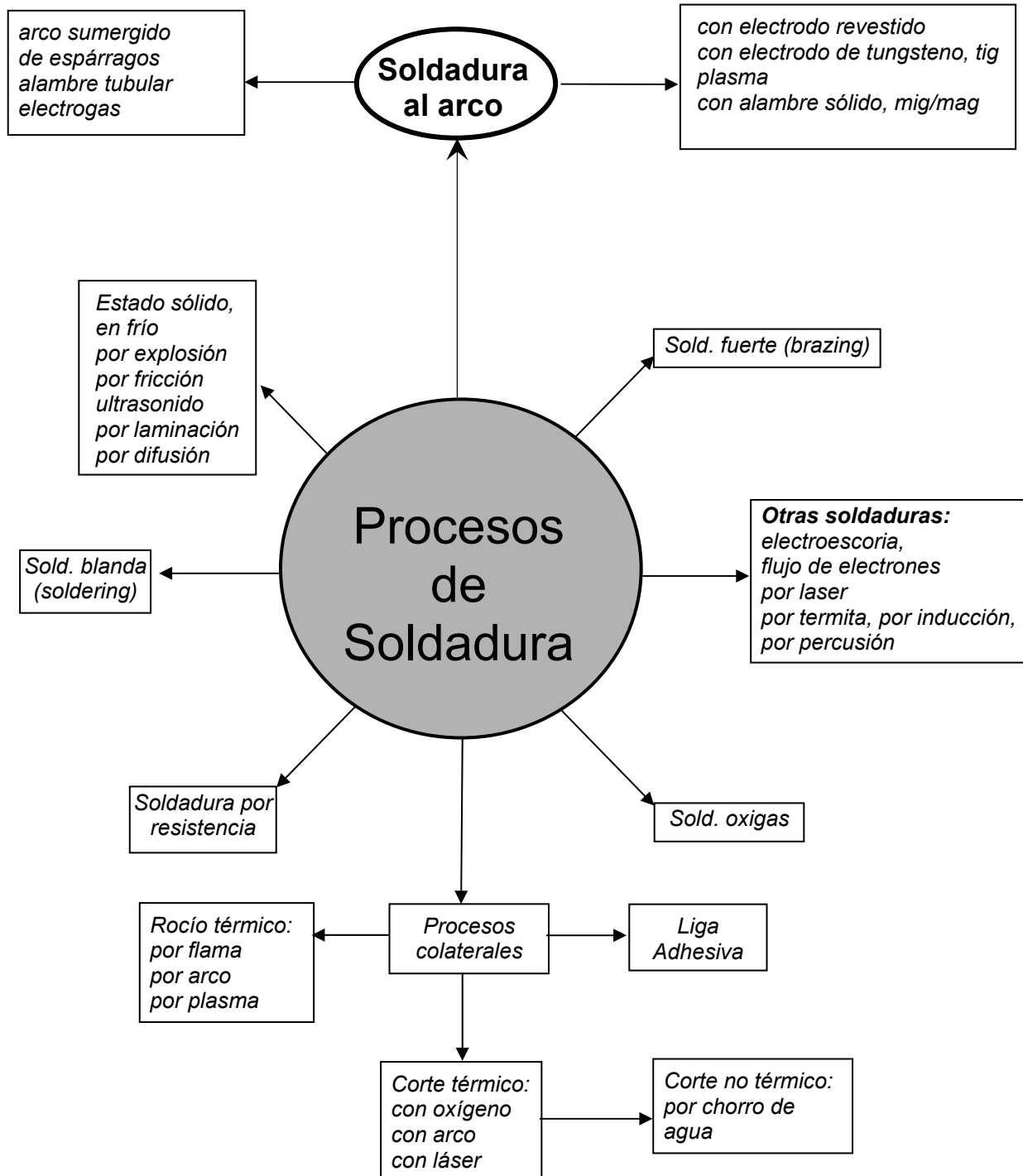
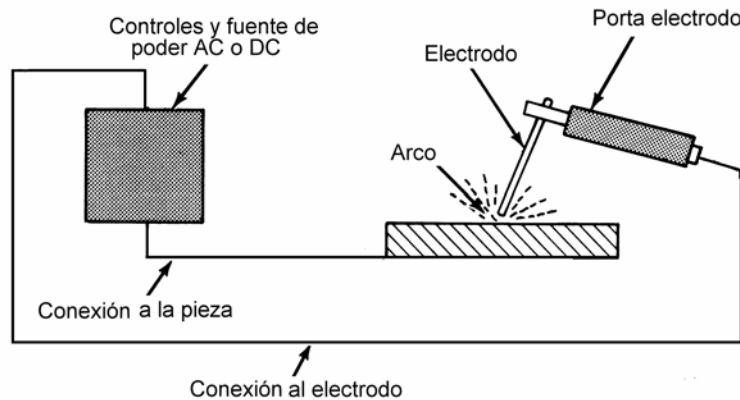


Figura 1: Diagrama de procesos de soldadura.

### **26.2.1. SOLDADURA AL ARCO CON ELECTRODO REVESTIDO (ARCO MANUAL) SMAW**

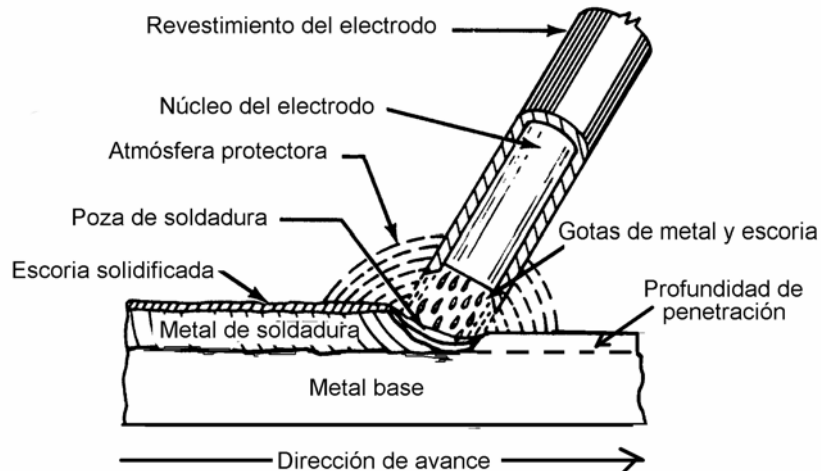
Corresponde al proceso de soldadura más utilizado mundialmente, el cual utiliza un arco eléctrico producido entre un electrodo revestido y la pieza a ser soldada. El proceso genera una protección gaseosa producida por la descomposición del revestimiento, sin aplicación de presión y con un metal de aporte proporcionado por el electrodo. El circuito básico se detalla en la figura 2.



**Figura 2:** Diagrama del circuito del proceso arco manual.

Las principales características del proceso de soldadura al arco manual son mostradas en la figura 3. El arco se inicia mediante un pequeño toque o raspado del electrodo con la pieza de trabajo. El arco resultante funde el metal base y la punta del electrodo de soldadura. La gota fundida del metal/fundente es transferida a través del arco a la poza de soldadura, solidificando y formando el depósito de soldadura cubierta por una escoria de menor densidad proveniente del revestimiento del electrodo.

El proceso arco manual corresponde al proceso más simple, en términos de requerimientos de equipos, pero sin embargo es uno de los más difíciles en cuanto al entrenamiento de los soldadores.



**Figura 3:** Detalle del proceso arco manual, SMAW

## Electrodos

Los electrodos usados en el proceso al arco manual tienen diferentes composiciones químicas del núcleo del alambre y una gran variedad de tipos de revestimientos. Los diámetros de electrodos estándar varían desde 1.6 a 8 mm y su longitud va de 230 a 455 mm. El revestimiento que se encuentra sobre el núcleo tiene numerosas funciones, dentro de las cuales se pueden destacar:

- *Protección gaseosa (normalmente, dióxido de carbono), producido de la descomposición de ciertos ingredientes del revestimiento para proteger el arco y la zona de soldadura de la atmósfera.*
- *Desoxidante, para purificar el metal de soldadura.*
- *Formador de escoria, que permite proteger el metal de soldadura depositado de la oxidación atmosférica y ayuda a mantener la forma del cordón de soldadura.*
- *Elementos ionizantes, que permiten estabilizar el arco de soldadura y operar con corriente alterna.*
- *Elementos de aleación, que proporcionan características especiales al depósito de soldadura*
- *Hierro en polvo, que presente en ciertos electrodos, permite incrementar la productividad para soldadura de metales ferrosos.*

La Sociedad Americana de Soldadura (American Welding Society - AWS), ha establecido un sistema de identificación y clasificación para los diferentes tipos de electrodos. Todos los electrodos poseen un prefijo dado por la letra E para indicar que es un Electrodo, los siguientes símbolos que siguen al prefijo están basados en el criterio que mejor describe las capacidades de soldadura para el electrodo.

Las siguientes tablas muestran algunos significados.

Clasificación	Resistencia tracción mínima		Esfuerzo Fluencia mínimo		Elongación mínima, %
	MPa	Ksi	MPa	Ksi	
E 60XX	430 - 460	62 – 67	340 – 380	50 – 55	17 – 22
E 70XX	480 - 500	70 – 72	390 – 420	57 – 60	17 – 25
E 80XX	550	80	460 – 550	67 – 80	16 – 24
E 90XX	620	90	530 – 620	77 – 90	14 – 24
E 100XX	690	100	600	87	13 – 20
E 110XX	760	110	670 – 760	97 – 110	15 – 20
E 120XX	830	120	740 - 830	107 - 120	14 – 18

Clasificación	Posición plana	Posición horizontal	Posición vertical	Posición sobre cabeza
E XX1X	si	si	Si	si
E XX2X	si	filete	No	no
E XX4X	si	si	descendente	si

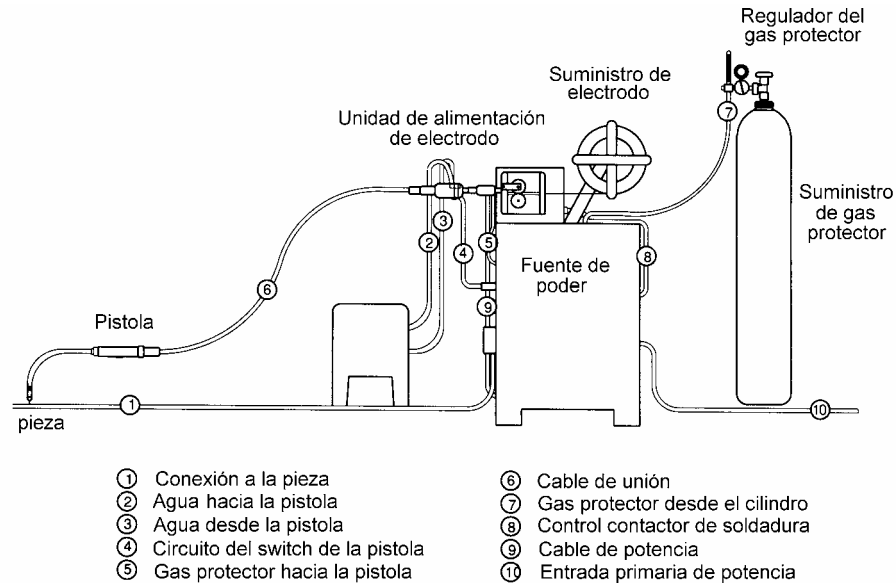
Clasificación	Corriente	Penetración	Revestimiento	Hierro en polvo, %
E XX10	ccep	profunda	celulosa / sodio	0-10
E XXX1	ca y ccep	profunda	celulosa / potasio	0
E XXX2	ca y ccen	media	rutilo / sodio	0-10
E XXX3	ca y cc	baja	rutilo / potasio	0-10
E XXX4	ca y cc	baja	rutilo / Fe en polvo	25-40
E XXX5	ccep	media	Bajo H <sub>2</sub> / sodio	0
E XXX6	ca o ccep	media	bajo H <sub>2</sub> / potasio	0
E XXX8	ca o ccep	media	bajo H <sub>2</sub> / Fe polvo	25-40
E XX20	ca o cc	media	óxido de hierro/sodio	0
E XX24	ca o cc	baja	Rutilo / Fe polvo	50
E XX27	ca o cc	media	óxido hierro / Fe polvo	50
E XX28	ca o ccep	media	bajo H <sub>2</sub> / Fe polvo	50

ca: corriente alterna; ccep: corriente continua electrodo positivo; ccen: corriente continua electrodo negativo.

### 26.2.2. SOLDADURA AL ARCO BAJO PROTECCIÓN GASEOSA–GMAW (MIG/MAG)

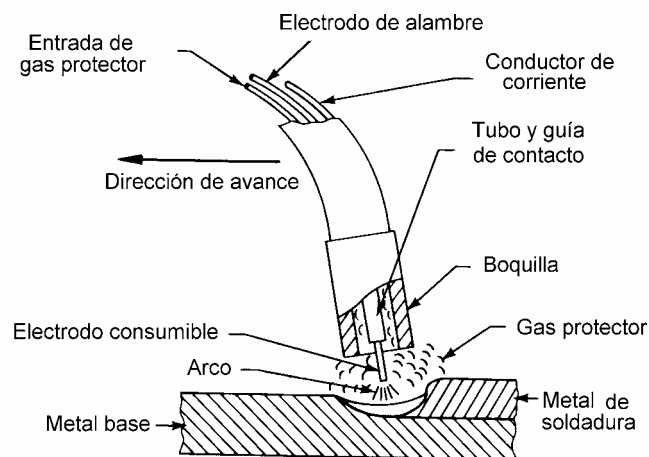
Proceso de soldadura al arco que une metales por calentamiento de ellos mediante un arco eléctrico que es establecido entre un electrodo consumible (alambre) y la pieza de trabajo. La protección del baño de soldadura se efectúa por medio de un gas de

protección suministrado en forma externa. Las figuras 4 y 5 muestran un esquema del proceso.



**Figura 4:** Configuración general del proceso GMAW.

Aunque el concepto básico de este proceso fue introducido en los años 20, no fue comercialmente disponible hasta 1948. Las principales ventajas son: (1) velocidades de soldadura más altas que las alcanzadas en arco manual, (2) las tasas de deposición son significativamente más altas que las de electrodos revestidos, (3) la alimentación de un alambre continuo permite soldadura más largas sin la necesidad de parar, (4) la penetración es más profunda que las alcanzadas por arco manual, (5) necesita menor habilidad del soldador, (6) menor tiempo de post limpieza.

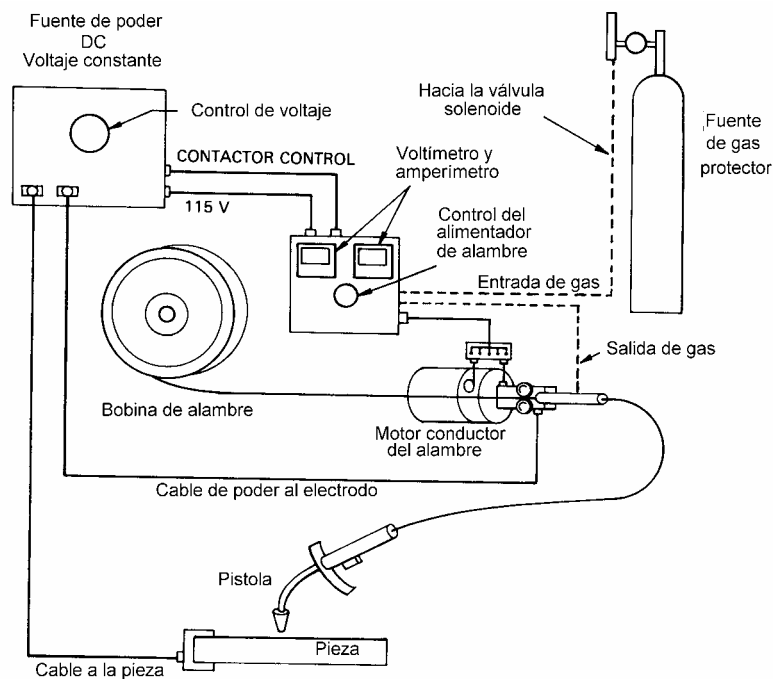


**Figura 5:** Detalle del arco de soldadura en el proceso GMAW.

### 26.2.3. SOLDADURA AL ARCO CON ALAMBRE TUBULAR – FCAW

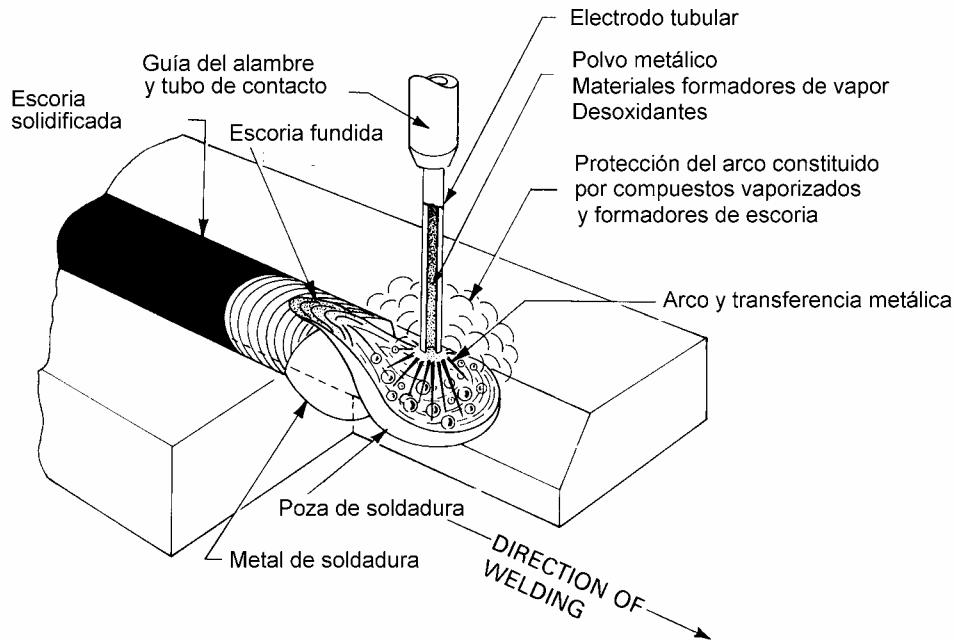
En el proceso de soldadura con alambre tubular el calor es producido por un arco eléctrico entre un alambre tubular continuo y la pieza de trabajo. Este proceso es único debido a que el fundente va al interior del tubular, permitiendo que la protección del baño sea autoprotegida por la descomposición de los componentes del fundente. En forma alternativa también existen alambres tubulares con protección externa, lo que significa el uso de un gas de protección.

Como se mencionó, el proceso con alambre tubular tiene dos alternativas: (1) que el proceso utilice un suministro externo de un gas para proteger el baño de soldadura, tal como lo muestra la figura 6, y (2) que sea autoprotegido como lo muestra la figura 7.



**Figura 6:** Proceso de soldadura al arco con electrodo tubular y con protección gaseosa externa.

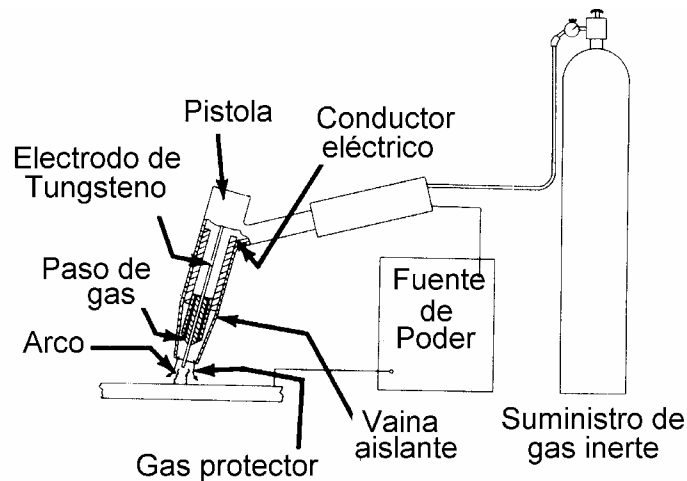
Las ventajas principales del proceso con alambre tubular son: (1) altas tasas de depósitos, (2) menor habilidad del soldador comparada con GMAW, (3) mayor penetración que el arco manual, (4) mayor tolerancia a la herrumbre y escamas que el proceso GMAW. Algunas desventajas son (1) la escoria debe ser removida antes de depositar el siguiente cordón, (2) mayor generación de humos y polvos que el generado por GMAW.



**Figura 7:** Proceso tubular autoprotegido.

#### **26.2.4. SOLDADURA AL ARCO BAJO PROTECCIÓN GASEOSA CON ELECTRODO NO CONSUMIBLE – TIG**

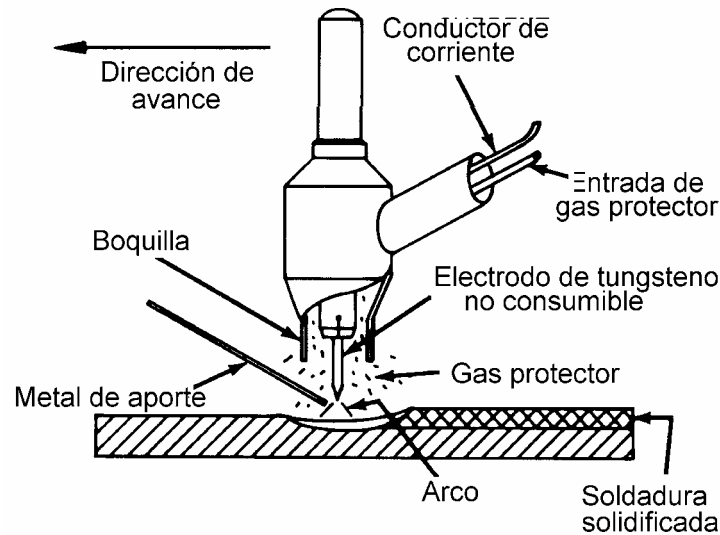
El proceso TIG también conocido antiguamente por Heli-Arc fue desarrollado al final del año 1930 cuando se tenía la gran necesidad de soldar magnesio. La temperatura de fusión necesaria para soldar materiales en el proceso TIG es obtenida por el mantenimiento de un arco producido entre un electrodo de tungsteno aleado y la pieza de trabajo, tal como lo muestran las figuras 8 y 9.



**Figura 8:** Configuración general del proceso TIG.



Para la estabilización del arco de soldadura se utiliza una protección gaseosa externa que además previene la contaminación del metal fundido con la atmósfera. El proceso TIG es usado ampliamente para soldadura de aceros inoxidable, aceros, aluminio, magnesio, cobre y materiales reactivos tales como titanio y tantalio. EL proceso puede también ser usado para unir aceros al carbono y baja aleación. Las principales ventajas son: (1) produce soldaduras de alta calidad con baja distorsión, (2) libre de salpicaduras, (3) puede ser usado con o sin aporte de material, (4) permite soldar casi todos los materiales incluyendo uniones disímiles, (5) proporciona un control preciso del aporte calórico.



**Figura 9:** Esquema que muestra los componentes claves del proceso TIG.

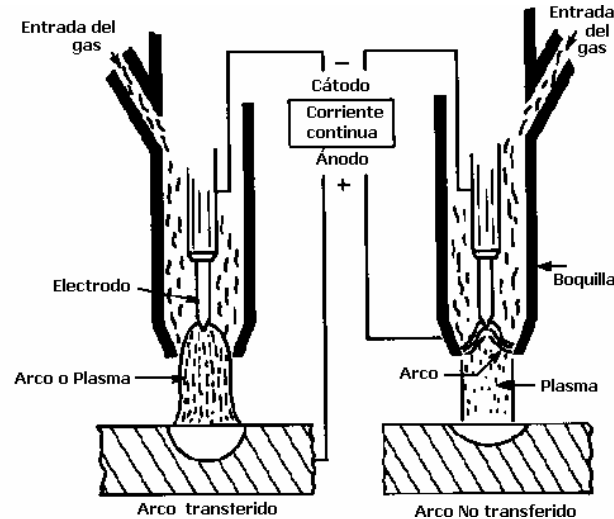
Algunas limitaciones son: (1) produce bajas tasas de deposición, (2) requiere mayor habilidad del soldador comparado con el proceso arco manual.

La clasificación de los electrodos de tungsteno usados para la soldadura TIG se muestra en la siguiente tabla:

Clasificación AWS	Color	Elemento de aleación	Aleación de óxido	% del óxido
EWP	verde	--	--	--
EWCe-2	naranja	Ce	CeO <sub>2</sub>	2
EWLa-1	negro	La	La <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1
EWTh-1	amarillo	Th	ThO <sub>2</sub>	1
EWTh-2	rojo	Th	ThO <sub>2</sub>	2
EWZr-1	café	Zr	ZrO <sub>2</sub>	0.25
EWG	gris	no especificado	--	--

### **26.2.5. SOLDADURA AL ARCO CON PLASMA-PAW**

En este proceso, la coalescencia de metales es alcanzada vía del calor transferido por un arco que es creado entre un electrodo de tungsteno y la pieza de trabajo. El arco es comprimido por un orificio presente en la boquilla de una aleación de cobre que genera una columna de arco colimada, permitiendo que la temperatura se eleve enormemente, llegando a niveles de 18000 °C a 20000 °C (figura 10).



**Figura 10:** Dos tipos de arco para soldadura por plasma.

El proceso puede ser operado con o sin la adición de un material de aporte; es utilizado en aceros de alta aleación y adecuado para cortar aceros aleados y de grandes espesores.

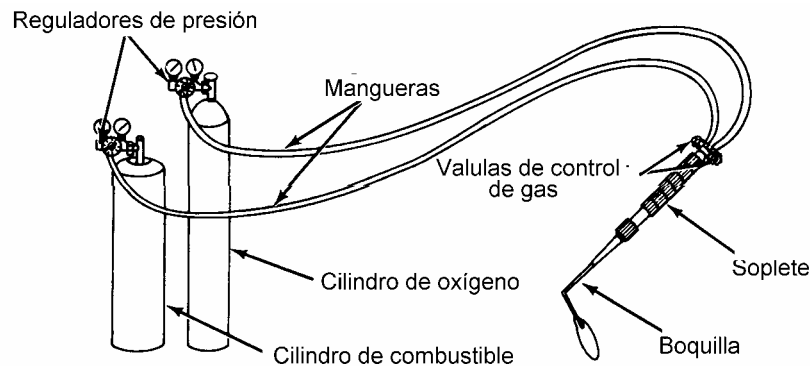
### **26.2.6. SOLDADURA AL ARCO SUMERGIDO – SAW**

Es un proceso de soldadura al arco en el cual el arco es protegido por un fundente aglomerado. El calor del proceso de arco sumergido es generado por un arco entre un metal sólido (alambre) y la pieza de trabajo. El arco es mantenido en una cavidad de fundente fundido o escoria, la cual refina el metal de soldadura y lo protege de la contaminación atmosférica. El flujo del fundente es alimentado continuamente, lo que permite junto con una alimentación continua del alambre que sea un proceso de alto rendimiento produciendo cordones de alta calidad.

### **26.2.7. SOLDADURA POR OXIGAS – OFW**

Soldadura por oxigas es un proceso manual en el cual las superficies de los metales a ser unidos son fundidas progresivamente por el calor proporcionado por una llama de gas, con o sin metal de aporte. La fuente más importante de calor para oxigas es

mediante el uso de la soldadura oxiacetilénica (oxígeno + acetileno). También se pueden utilizar otros gases derivados del petróleo o gas natural, todos los cuales producen llamas a temperaturas de 2700 °C a 3100 °C. Sus utilidades principales son la unión de planchas delgadas y el corte de planchas (oxicorte). La figura N° 11 muestra una configuración general del sistema oxigas.



**Figura 11:** Proceso Oxigas.

#### **26.2.8. SOLDADURA POR RESISTENCIA – RW**

Es un proceso en la cual el calor es generado por resistencia al flujo de corriente eléctrica en el metal y combinado con presión para producir una costura o punto de soldadura. Sus usos pueden ser la unión de planchas delgadas, la unión de espárragos o la unión de grandes piezas por soldeo por flash.

#### **26.2.9. SOLDADURA FUERTE Y BLANDA (BRAZING Y SOLDERING)**

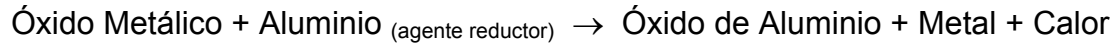
Ambos procesos se encuentran clasificados en forma diferente al de soldadura por fusión y en estado sólido. Esta separación es realizada debido a que el brazing y soldering se basan en un mecanismo de unión líquido – sólido, el cual es un método que calienta los metales bases pero no los funde y un metal de aporte externo es introducido en estado líquido el cual genera en la unión una coalescencia con el metal base durante el enfriamiento. El brazing o *soldadura fuerte* se diferencia del soldering o *soldadura blanda* en la temperatura de fusión del metal de aporte; para el primero de ellos esta temperatura se encuentra sobre 450 °C pero bajo el punto de fusión del metal base y para el soldering la temperatura de fusión del metal de aporte es bajo los 450 °C, como es el caso de las conocidas aleaciones Plomo – Estaño.

#### **26.2.10. SOLDADURA POR TERMITA –THW**

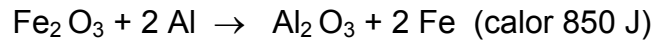
Es un proceso de soldadura por fusión en el cual dos metales se unen después de haber sido calentados por un metal supercalentado que ha experimentado una reacción



aluminotérmica. El metal líquido que resulta de una reacción entre el óxido metálico y aluminio actúa como metal de aporte. Este proceso exotérmico fue descubierto en 1898. La reacción aluminotérmica que ocurre en este tipo de soldadura sigue la siguiente fórmula general:



donde una típica reacción que ocurre en la soldadura de rieles es la siguiente:



### **26.2.11. SOLDADURA POR LÁSER – LBW**

Este proceso utiliza una fuente móvil de energía óptica coherente de alta densidad ( $10^5$  a  $10^7$  W/cm<sup>2</sup>) llamada láser. Láser es un acrónimo de “**L**ight **A**mplification by **S**timulated **E**mission of **R**adiation). La naturaleza coherente del haz del láser permite focalizar un pequeño punto permitiendo altas densidades energéticas. La habilidad del láser para generar un haz altamente concentrado, permite una precisión y calidad que sólo puede ser comparada con el haz electrones.

### **26.2.12. SOLDADURA POR HAZ DE ELECTRONES – EBW**

Es un proceso de fusión de alta densidad de energía que es acompañado por un bombardeo a la unión a ser soldada con un haz de electrones que han sido fuertemente focalizado y que alcanzan aceleraciones de hasta 0.3 a 0.7 veces la velocidad de la luz en 25 a 200 KV. La conversión instantánea de la energía cinética de los electrones en energía térmica cuando ellos impactan y penetran la pieza de trabajo, genera la coalescencia deseada para la soldadura de la unión.

## **26.3. PROCESOS RELACIONADOS CON LA SOLDADURA**

### **26.3.1. PROCESOS DE CORTE TÉRMICO (TC)**

Estos procesos de corte ocupan los mismos equipos bases que se usan en soldadura. Entre los cortes más usados están el corte con láser, corte con oxígeno y cortes con arco.

El corte con rayo láser (LBC) es un proceso térmico que separa el material fundiéndolo localmente o vaporizándolo con el calor proveniente del rayo. El proceso se usa con o sin boquillas de gas para ayudar a la eliminación del material fundido y vaporizado. Se puede usar aire, gas inerte u oxígeno.



Los cortes con oxígeno (OC) son un grupo de procesos térmicos que separan o extraen metales por medio de la reacción química entre el oxígeno y el metal base a temperaturas elevadas. La temperatura necesaria es mantenida por el calor proveniente del arco, una flama de gas oxicomcombustible, o alguna otra fuente. En el caso de los metales resistentes a la oxidación, la reacción se facilita por el uso de un fundente químico o polvo metálico. Existen cinco procesos básicos a este respecto: cortes con gas oxicomcombustible, cortes de polvo metálico, cortes con fundentes químicos, cortes de penetración con oxígeno y cortes por arco de oxígeno.

Los procesos de corte por arco (AC) son un grupo de procesos térmicos que separan o extraen metal por medio de la fusión con el calor de un arco entre un electrodo y la pieza de trabajo. Dentro de este grupo están el corte por arco de carbono y aire, el corte por arco de tungsteno con gas, el corte por arco de metal protegido, el corte por arco de metal y gas y el corte por arco de plasma.

Existe un proceso de corte no térmico denominado corte por chorro de agua (Water Jet Cutting), que se utiliza para cortar una amplia variedad de materiales, metálicos y no metálicos, utilizando un chorro de agua a alta velocidad (520-914 m/s) obtenido al hacer pasar el agua por un pequeño orificio a una presión elevada. De esta forma el agua erosiona los materiales actuando como una sierra. Para los metales y otros materiales duros, se adiciona un polvo abrasivo al chorro. Bajo condiciones apropiadas de operación se obtiene un corte limpio, libre de cantos ásperos, sin calor, sin problemas de deformación y, usualmente, más rápido que con una sierra de banda.

### **26.3.2. ASPERSIÓN TÉRMICA (THSP)**

Es un grupo de procesos en el cual se depositan materiales de recubrimiento metálicos o no metálicos finamente divididos. Dicho depósito se hace en un estado fundido o semifundido sobre un sustrato o metal base para formar un depósito de aspersion térmica. El material de recubrimiento puede estar en forma de polvo, varilla o alambre. Dentro de este grupo existen tres procesos: aspersion por arco, aspersion por arco de plasma, aspersion por flama.

La aspersion por flama (FLSP) utiliza una flama de gas oxicomcombustible como fuente de calor para fundir el material de recubrimiento. Puede utilizar o no gas comprimido para atomizar e impulsar el material de recubrimiento hacia el sustrato. El material de recubrimiento puede estar como alambre o en forma de polvos, y es suministrado a través de una pistola y de una boquilla.

La aspersion por arco (ASP) utiliza un arco entre dos electrodos consumibles de materiales de recubrimiento como fuente de calor, y un gas comprimido para atomizar e impulsar el material de recubrimiento al sustrato.

En la aspersion con plasma un arco no transferido de la pistola se usa para crear un plasma de arco para fundir e impulsar el material de recubrimiento, suministrado en forma de polvo, al sustrato.



## **26.4. METALURGIA DE LA SOLDADURA**

La mejor pregunta para comenzar este tópico es preguntarse ¿Qué es Metalurgia de la Soldadura?

Soldadura, en el sentido más amplio, se describe como el arte y ciencia de unir metales por uso de fuerzas adhesivas intrínsecas y cohesivas de atracción que existen dentro de los metales.

Metalurgia, en una manera simple, queda definida como la ciencia y tecnología de metales y consiste de dos partes principales: (1) procesos metalúrgicos y (2) metalurgia física.

Al verlo por primera vez podríamos decir que la soldadura podría ser una pequeña parte del proceso metalúrgico, es decir una operación de conformado de metales para obtener un producto final. Sin embargo, la soldadura es más que un constituyente del proceso metalúrgico o de la metalurgia física. La soldadura requiere un punto de vista bien especializado para comprender las peculiaridades de su proceso, por ello es necesario concentrar nuestra atención al estudio de la metalurgia de la soldadura.

La soldadura envuelve muchos fenómenos metalúrgicos. El cordón soldado se puede asimilar a una pieza colada. Además, el calor de la soldadura impone al metal no fundido que se encuentra próximo al cordón, una serie de calentamientos y enfriamientos que dependiendo de la templabilidad del metal base, pueden producir diversas estructuras de temple. Por otro lado, la fusión del electrodo produce sobre la poza de fusión, escorias que reaccionan con el metal fundido, dando lugar a procesos físico-químicos similares a los encontrados en la producción de aceros.

De esta manera, corresponde al metalurgista usar sus conocimientos para establecer las condiciones de operación y así obtener la soldadura de mejor calidad, tanto desde el punto de vista mecánico como metalúrgico.

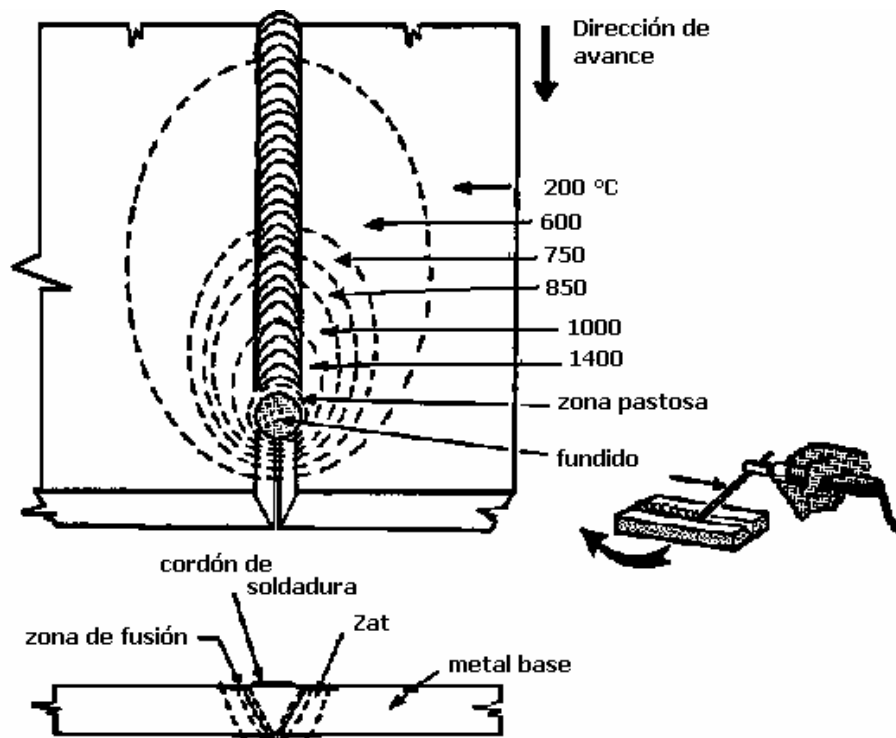
Desde el punto de vista estructural, en una soldadura se distinguen tres zonas claras y características, cordón de soldadura, zona afectada térmicamente (zat) y metal base no afectado, también se pueden diferenciar otras pero que son de más difícil distinción, figura 12 y figura 13 .

Estas tres zonas se producen por efecto de la temperatura alcanzada, la cual funde el metal y produce un calentamiento más allá de la temperatura de transformación de, por ejemplo, el acero, permitiendo con ello cambios microestructurales en estado sólido.

La distribución de temperatura en toda la pieza se llama ciclo térmico. El ciclo térmico de soldadura establece en cada punto de la pieza en trabajo, un estado térmico estacionario, definido por la temperatura máxima alcanzada por ese punto durante el proceso y la velocidad de enfriamiento subsecuente del punto. Las condiciones metalúrgicas que tendrá el metal después de soldado, dependerán de estos dos factores.

Las altas velocidades de calentamiento y/o enfriamiento que se producen en soldadura hacen que fenómenos metalúrgicos relativamente simples se hagan complejos debido a cambios de no equilibrio.

**Calentamiento:** Las consecuencias de un calentamiento localizado, que caracteriza la soldadura están asociadas a las transformaciones del acero soldado y a las variaciones dimensionales de origen térmico. Desde el punto de vista de las transformaciones metalúrgicas se observa primero el término de los estados de desequilibrio que puedan existir antes del soldeo. De este modo se observa ablandamiento, envejecimiento, revenido, etc, según sea el punto donde nos situemos. Esos fenómenos experimentan variaciones irreversibles en las propiedades mecánicas.



**Figura 12:** Temperatura alcanzadas en el metal base

Luego, en una zona relativamente estrecha, se produce la austenitización. El ancho de esta zona es función del gradiente de temperatura, que a su vez depende del aporte térmico (función de la intensidad de corriente, voltaje y velocidad de avance de la soldadura) y de la temperatura inicial de la pieza o temperatura de precalentamiento. En las vecindades de la temperatura de fusión, los granos de austenita crecen en forma grosera debido al sobrecalentamiento. Este fenómeno es irreversible y se mantendrá hereditariamente en la morfología de la estructura de transformación. Al mismo tiempo, el calentamiento localizado provoca una dilatación del metal que se deforma plásticamente, esta deformación plástica favorece algunas transformaciones y aparece después del enfriamiento en forma de tensiones residuales.





**Fusión:** La fusión es precedida por la aparición de una banda estrecha donde se manifiesta la transformación peritética siendo el crecimiento de solidificación del tipo epitaxial.

En la zona fundida se produce la volatilización de algunos elementos que priva al cordón de elementos que contribuyen a su desoxidación (Mn, Si, Al) o a sus propiedades (Cr, Ti). Además los elementos presentes reaccionan entre sí o con el medio líquido y gaseoso que los rodea.

**Enfriamiento:** La poza de fusión, al desplazarse en la dirección de la soldadura deja una estructura de solidificación caracterizada por dendritas orientadas en el sentido de la extracción calórica, mientras que el metal que la rodea se encuentra todavía en estado austenítico. Debido a la contracción de solidificación se producen tensiones internas, que son tanto más pronunciadas mientras más embrizado se encuentra el sistema. Parte de esta concentración de tensiones es compensada por una deformación plástica del metal, pero para que ello ocurra es necesario que el metal tenga suficiente ductilidad en caliente, sino se producirá agrietamiento en caliente.

El enfriamiento continúa hasta la temperatura de transformación en que el cordón y la zona austenitizada se transforman a diferentes microestructuras de acuerdo a la velocidad de enfriamiento. En general, el metal fundido se transforma antes que el metal base. Según la composición química del metal, es decir su templabilidad, las transformaciones serán de equilibrio o no. Pero cualquiera que sea, en la zona afectada por el calor habrá formación de estructura grosera, con todas las consecuencias metalúrgicas que ellas implican.

La transformación del metal fundido se acompaña por una variación de la solubilidad del hidrógeno, que puede haberse disuelto en el estado líquido. Este elemento es obligado por la transformación a difundir en la zona austenitizada del metal base. Entonces cuando se produzca la transformación martensítica, la tensión que ella genera en la microestructura, hace al material susceptible al agrietamiento en frío. Al final del enfriamiento, cuando no hay posibilidad de deformación plástica, las tensiones residuales alcanzan su valor máximo. En esta etapa se produce el mayor riesgo de agrietamiento en frío o por hidrógeno.

Hasta este punto, ustedes se habrán dado cuenta y estarán de acuerdo que para tener un mejor entendimiento de los problemas encontrados en soldadura debemos tener algún conocimiento de metalurgia; esto ha llevado al nacimiento de la Metalurgia de la Soldadura.



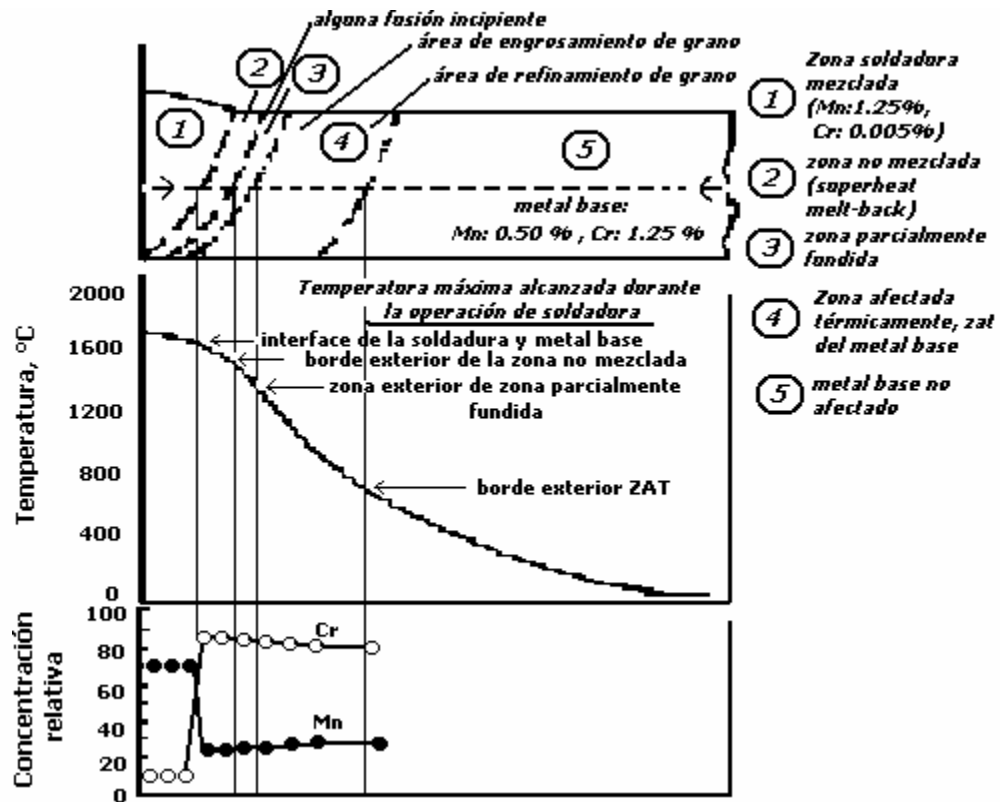


Figura 13: Panorama esquemático de distintas zonas encontradas en la soldadura por fusión.

