

PROCESO de
SOLDADURA por
ARCO ELECTRICO con
ELECTRODO de
TUNGSTENO bajo
PROTECCION
GASEOSA

SOLDADURA TIG (GTAW)



Asta, Eduardo
Proceso de soldadura por arco eléctrico con electrodo de tungsteno bajo protección gaseosa.
1ª ed. - Buenos Aires : Villa Lynch: Fundación Latinoamericana de Soldadura, 2007.

32 p. ; 28 x 20 cm.

ISBN 978-987-23244-2-1

1. Soldaduras. I. Título
CDD 671.52

Edición: 3.000 ejemplares

Fecha de impresión: Diciembre de 2007

Proceso de soldadura por arco eléctrico con electrodo de tungsteno bajo protección gaseosa: fundamentos, materiales y técnica.

Eduardo Asta

1ª. Edición

Fundación Latinoamericana de Soldadura

Calle 18 N° 4113

Villa Lynch, Buenos Aires

ISBN: 978- 987-23244-2-1

(c), 2007 Fundación Latinoamericana de Soldadura

Queda hecho el depósito que establece la Ley 11.723.

Se terminó de imprimir en: Talleres Gráficos Universal

S.R.L.

Fragata Presidente Sarmiento 1551

C1416 CBI Ciudad Autónoma de Buenos Aires

4582-0396 / 4585-5220

Diciembre de 2007.

Tirada de esta edición: 3.000 ejemplares

Libro de edición Argentina

No se permite la reproducción parcial o total, el almacenamiento, el alquiler, la transmisión o la transformación de este libro, en cualquier forma o por cualquier medio, sea electrónico o mecánico, mediante fotocopias, digitalización u otros métodos, sin el permiso previo y escrito del editor. Su infracción está penada por leyes 11723 y 25446.-

Proceso de soldadura por arco eléctrico con electrodo de tungsteno bajo protección gaseosa

Fundamentos, materiales de aporte y técnica

Por: Ing. Eduardo Asta, ESAB- CONARCO

Contenido

	Prefacio	4
4	Soldadura por arco con electrodo de tungsteno bajo protección gaseosa TIG (GTAW)	5
	Principios básicos de operación	5
6	Fuentes de poder para soldadura TIG (GTAW)	6
	Unidad de alta frecuencia	9
	Equipos para la soldadura por el proceso TIG con programación de la corriente	9
	Accesorios	10
10	Torcha para la soldadura TIG (GTAW) Difusor de gas. Tobera de cerámica	10
	Regulación de la presión de indicación del caudal de gas	11
11	Sistema con dos manómetros Sistema con caudalímetro	11
	Selección y clasificación de los materiales de aporte	11
	Electrodos de tungsteno	11
	Prácticas a ser realizadas con el extremo o punta del electrodo de tungsteno	13
	Encendido del arco eléctrico	14
	Arco eléctrico con corriente alterna	14
	Balance de onda	15
	Proceso de soldadura TIG utilizando corriente pulsada	15
16	Los gases de protección para el proceso TIG	16
	Argón.	16
	Argón. Helio. Mezcla de Argón y Helio. Nitrógeno Mezclas con Hidrógeno	17
	Consumo y caudal del gas de protección elección de la tobera	18
19	Variables del proceso	19
	Aplicaciones del proceso	21
	Selección y clasificación de los materiales de aporte	22
	Bibliografía	25
26	Apéndice A.	
	Rango de utilización de los electrodos	26
27	Apéndice B.	
	Clasificación de gases	27
29	Apéndice C.	
	Tablas para la selección de la corriente de soldadura en proceso TIG	29

Prefacio

La soldadura constituye uno de los recursos tecnológicos de vital importancia para el desarrollo industrial a nivel global. Las industrias de diferentes ramas de la técnica tales como: construcciones, petroquímicas, de generación de energía, de transporte, alimenticias, agrícolas, aeroespacial, electrónica, automotriz, etc., no podrían haber alcanzado su desarrollo actual si no hubiera estado disponible la tecnología de soldadura.

Hoy, prácticamente no existe emprendimiento tecnológico alguno en el cual la soldadura no intervenga en alguna de sus etapas. Sin dudas, el desarrollo nos ha llevado a definir un concepto más general y abarcativo que es el de tecnologías de unión.

Como proceso de unión, de protección y de recuperación de materiales, la soldadura se destaca por su versatilidad tanto en el aspecto tecnológico como en el económico. Durante las últimas décadas esta tecnología ha recibido importantes esfuerzos en recursos humanos y económicos destinados a promover su investigación y desarrollo.

Como resultado directo de dichos aportes, se han generado innovaciones tanto en el campo de los

procesos y equipos como en el de los consumibles, que han transformado a una actividad en sus orígenes técnico-artesanal en una disciplina científico-tecnológica de alta complejidad.

La activa incorporación de la soldadura como tecnología de fabricación en el campo de unión de metales para dar eficaz respuesta a la gran diversidad de requerimientos que impone el servicio, muchos de ellos de alto compromiso, hace necesario un riguroso conocimiento de los alcances y limitaciones de esta técnica.

El proceso de soldadura por arco con electrodo de tungsteno bajo protección gaseosa (TIG) fue desarrollado inicialmente para la soldadura de aluminio y magnesio así como sus respectivas aleaciones, muchas de ellas utilizadas en la industria aeronáutica. Con el transcurso de los años, este proceso es usado en la soldadura de la mayoría de los metales no ferrosos, así como también en los aceros al carbono o aleados con excelentes resultados. El proceso es, fundamentalmente, de aplicación manual aunque también existen modernos equipos automatizados o robotizados.

Soldadura por arco con electrodo de tungsteno bajo protección gaseosa TIG (GTAW) |

El calor necesario para la fusión es producido por un arco eléctrico intenso, establecido entre un electrodo de tungsteno virtualmente no consumible y el metal a ser soldado. El electrodo, la zona fundida, el arco y las zonas adyacentes se protegen de la contaminación ambiental con un gas inerte (argón o helio).

El equipo utilizado consiste en una torcha portaelectrodo, equipada con conductos para el pasaje del gas protector y una tobera para dirigir dicho gas alrededor del arco. La torcha es alimentada eléctricamente por una fuente de poder de corriente continua o de alterna y puede además, estar refrigerada por agua lo que aumenta la capacidad de conducción de la corriente. En la figura 1 se esquematiza la soldadura TIG.

El gas protege adecuadamente la superficie superior del metal base pero no da protección a la cara inferior. Especialmente en espesores finos, la cara inferior se calienta lo suficiente para oxidarse y producir un cordón de penetración rugosa y oxidada. Para

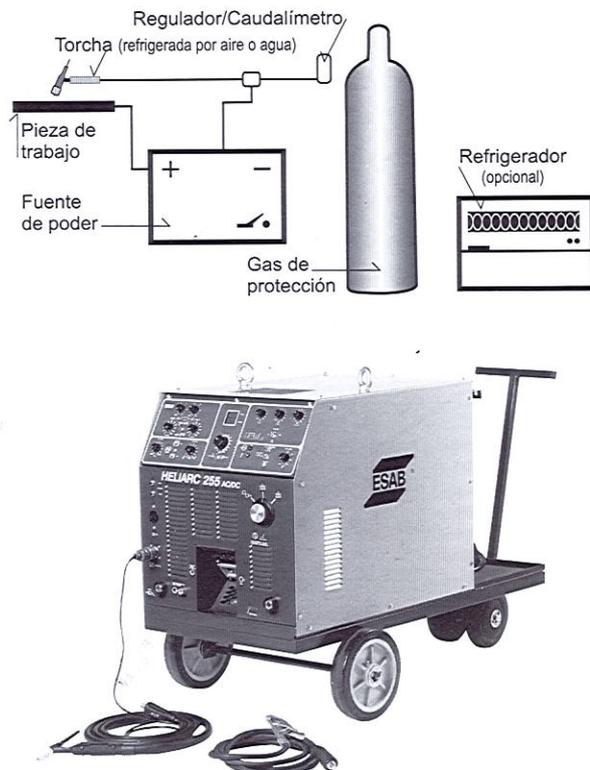


Figura 1 | Proceso TIG o GTAW

evitarlo hay que proteger la cara inferior ya sea con el mismo gas inerte (respaldo gaseoso) o apoyando sobre ella un respaldo metálico que impida el acceso del aire. Dicho respaldo puede ser de cobre, removible luego de efectuada la soldadura, o del mismo metal a soldar, que se funde incorporándose al cordón de soldadura.

El electrodo utilizado es de tungsteno que, por su temperatura de fusión elevada (3400 °C) y por ser excelente emisor electrónico, reúne las condiciones favorables: vida útil, estabilidad y encendido del arco, capacidad de conducir corriente. El electrodo puede ser de tungsteno puro o aleado, por ejemplo con óxido de torio o zirconio. La aleación le aumenta la vida útil y su capacidad de conducir corriente.

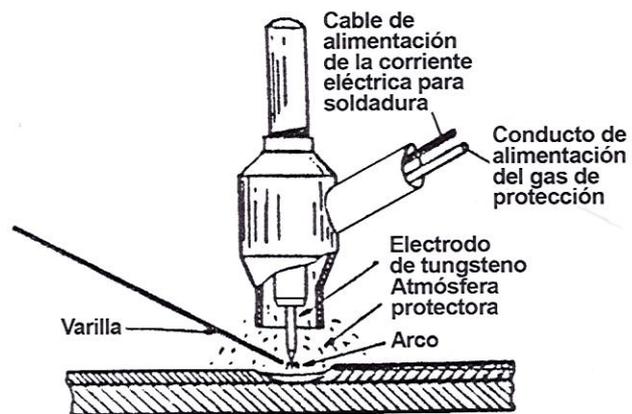


Figura 2 | Electrodo, pileta líquida y metal de soldadura en proceso TIG

Este proceso es el más adecuado para la soldadura de chapas de espesores delgados, dado que tanto la fuente calor y el material de aporte son manipulados separadamente. En algunos casos, dependiendo del espesor del metal a soldar y del tipo de junta, no es necesario la utilización de material de aporte, basta con fundir los bordes de las piezas a ser unidas o elementos estructurales.

El material de aporte, cuando se aplica, es suministrado en varilla (en el caso de aplicación manual) o por un alambre (en el caso de alimentación automática) y la transferencia hacia el baño de fusión o pileta líquida se realiza por su propia fusión, y no por el arco eléctrico como ocurre en los procesos donde el electrodo es el consumible.

Principios básicos de operación |

Para establecer el encendido del arco eléctrico es imprescindible la emisión de electrones y la

ionización del gas atmosférico que rodea el arco.

La energía necesaria para esta emisión e ionización puede ser obtenida tan solo con un toque del electrodo de tungsteno, energizado, en la pieza por medio de una rápida y corta separación con el fin de formar el arco eléctrico. Esta no es la forma más adecuada, para este proceso de soldadura, pues existe el peligro de una contaminación de la pieza por el tungsteno del electrodo.

De no existir otra manera de establecer el arco eléctrico, (para la emisión de los electrones y de la ionización del mismo), entonces será necesario la utilización de una pequeña chapa en la cual, y una vez apoyada sobre la pieza a soldar, será abierto el arco y posteriormente llevarlo al punto donde se quiere soldar.

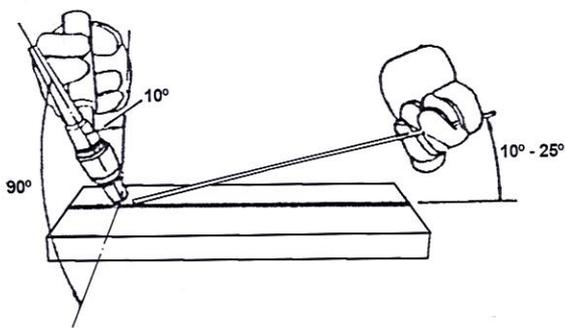


Figura 3 | Técnica del proceso TIG

El método más adecuado para el inicio del arco consiste en una descarga eléctrica de alta frecuencia, que aumentará la diferencia de potencial entre el electrodo y la pieza, ionizando la atmósfera en la que se establecerá el arco y calentando el cátodo (electrodo), lo que facilitará la emisión de los electrones, necesaria para el encendido del arco sin tener que hacer contacto entre el electrodo y la pieza.

La unidad de alta frecuencia, instalada en el circuito de la fuente de poder, se desconectará automáticamente cuando el arco es encendido o abierto, es decir cuando la tensión (voltaje) del arco eléctrico es alcanzada.

El arco eléctrico es mantenido entre el electrodo de tungsteno y el metal base a ser soldado y sobre él se funde el material de aporte.

La figura 2 muestra un esquema del proceso

GTAW o TIG mientras que, la Figura 3, permite observar la típica técnica de aplicación que debe realizar el soldador.

Fuentes de poder para soldadura TIG (GTAW)

Las fuentes de poder para soldadura TIG pueden ser de corriente alterna (CA) o de corriente continua (CC). Una característica importante en los equipos de soldadura es la tensión de vacío (E_0) o tensión de circuito abierto. Esta tensión se define como aquella medida en los terminales de pinza y masa de la máquina sin carga aplicada (sin soldar), los transformadores pequeños y no profesionales registran valores de E_0 de 50 V o ligeramente inferiores, en tanto los equipos industriales tendrán valores mayores (ej.: 55 ó 60 V).

Para su aplicación en soldadura TIG las fuentes de poder serán de corriente constante, esto significa que tendrán una curva característica tensión corriente como la que se puede ver en la figura 4; el punto 1 sobre la curva indica una determinada condición de trabajo seleccionada en la fuente de soldadura (20 V, 116 A), si el soldador varía la altura del arco (levantando el electrodo) la tensión se eleva pasando a una nueva condición de trabajo indicada en el punto 2 (25 V, 112 A). En consecuencia un cambio imprevisto en la tensión del arco producirá cambios menores en la corriente del arco debido a la característica de pendiente negativa que presenta la curva para una fuente de corriente constante.

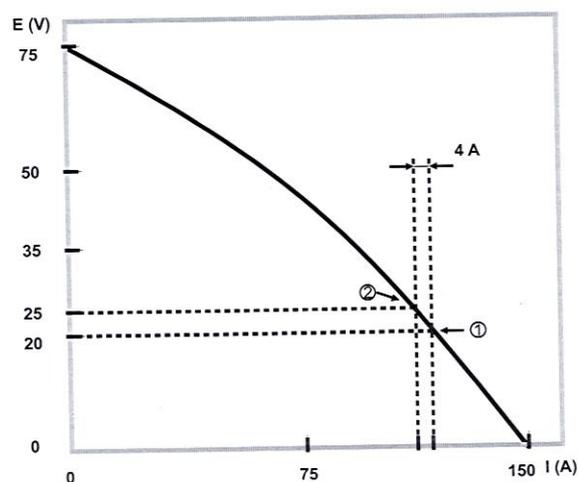


Figura 4 | Curva característica de una fuente de poder de corriente constante..

Otro aspecto muy importante a tener en cuenta para una fuente de poder es el denominado ciclo de trabajo, que se encuentra vinculado con la capacidad de disipación de calor, por parte de los circuitos y bobinados del equipo en relación con el nivel de corriente de soldadura, tiempo de funcionamiento y frecuencia de uso.

En consecuencia, una fuente utilizada para soldadura TIG que trabaja en forma intermitente, con tiempos de arco encendido cortos, puede operar con corrientes de soldadura mayores que aplicada a un proceso TIG automático de uso continuo.

El ciclo de trabajo expresa, en porcentaje (%), el tiempo máximo que un equipo puede entregar su corriente más elevada de soldadura.

Una norma de referencia para el ciclo de trabajo es la NEMA (Estados Unidos), que define al ciclo de trabajo para intervalos de prueba de diez minutos. Por ejemplo, si una fuente indica en su placa de características un ciclo de trabajo del 60 % a 300 A, significa que la misma puede suministrar esa corriente de soldadura durante 6 de cada 10 minutos sin sufrir una sobrecarga o calentamiento excesivo.

Fuentes de corriente alterna

Las fuentes o equipos de CA son básicamente transformadores que cuentan con un bobinado primario que es conectado a la línea de tensión (monofásica o trifásica) constituyendo un circuito de elevada tensión y relativa baja corriente (110 V, 220 V ó 380 V, dependiendo del suministro externo) y un bobinado secundario que permite transformar la salida del transformador, conectada a la pinza porta electrodos y a la pieza, en un circuito de baja tensión y elevada corriente (100 a 300 A y 20 a 22 V).

Las máquinas tipo transformador pueden ser de las más simples, monofásicas para aplicaciones no profesionales o monofásicas y trifásicas para uso industrial, la figura 5a muestra un típico circuito de transformador. En un transformador la relación entre el número de vueltas de los bobinados, tensiones y corrientes de entrada y salida queda definida por:

$$\frac{N_1}{N_2} = \frac{I_2}{I_1} = \frac{E_1}{E_2}$$

siendo:

N_1 , número de vueltas del bobinado primario del transformador;

N_2 , número de vueltas del bobinado secundario;

I_2 , corriente de salida del transformador;

I_1 , corriente de entrada;

E_1 , tensión de entrada;

E_2 , tensión de salida.

Otra característica que distingue a los diferentes tipos de transformadores utilizados en soldadura es la forma en que controlan la corriente de salida o corriente de soldadura, en consecuencia en función de dicho control se los clasifica como transformadores con:

- *Núcleo o hierro móvil*, la reactancia del transformador es cambiada moviendo el núcleo de hierro provocando la modificación del campo magnético.
- *Bobina móvil*, en este caso la bobina del secundario es fija y la primaria móvil pudiendo de esta manera variar el espaciado entre bobinas y de esta forma controlar la corriente.

Ambos sistemas de regulación de corriente pueden ser controlados en forma remota en la fuente, utilizando un motor para mover el hierro o la bobina.

Control por puntos o clavijas, la corriente de salida del transformador se controla por puntos fijos en el bobinado secundario. Cada punto corresponde a un número de vueltas (N_2) determinando, permitiendo el control de la corriente de salida (ver circuito de la figura 5a).

Amplificador magnético o reactor saturable, la corriente de salida del transformador es controlada por medio de un bobinado (bobinado de control), alimentado con corriente continua, conectado en oposición a la bobina del secundario. Variando la CC en el bobinado de control se varía la reactancia en el bobinado secundario controlando de esta forma la corriente de soldadura.

Control electrónico, utiliza un circuito electrónico

que permite el control de la corriente de soldadura, se puede obtener un control más preciso de la corriente.

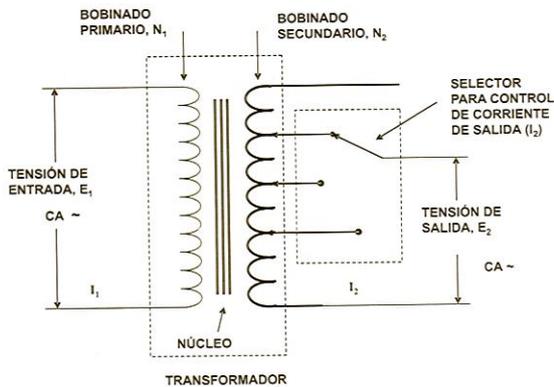


Figura 5a | Circuito básico de una fuente de CA con control por puntos.

Fuentes de corriente continua

Existen tres tipos principales de fuentes o equipos de CC:

Transformador rectificador, estos equipos están constituidos por un transformador, un dispositivo de control de la corriente de salida y un circuito de rectificación de la corriente de salida. Los dos primeros elementos del equipo son similares a los descritos para las fuentes de CA. En estos equipos la etapa de rectificación se realiza por medio de un puente de diodos de potencia con un circuito adicional de filtro para mejorar la salida de CC.

La figura 5b muestra un típico circuito rectificador monofásico.

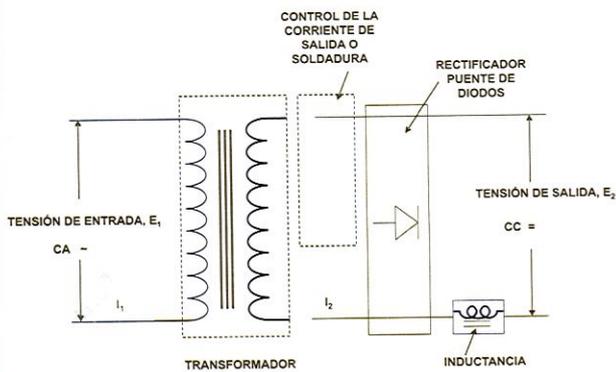


Figura 5b | Circuito básico de una fuente de CC, transformador y rectificador.

Fuentes utilizando tiristores, estos equipos tienen un transformador y un dispositivo de rectificación conectado al circuito secundario del transformador.

La particularidad de dichos equipos es la sustitución de los dispositivos típicos de control de la corriente de soldadura por un circuito de estado sólido constituido por diodos de compuerta o tiristores identificados como SCR (rectificador controlado de silicio, en español o silicon controlled rectifier, en inglés). Estos diodos tienen la particularidad de rectificar la CA y controlar a su vez la corriente de soldadura por medio del manejo de la señal de compuerta. La figura 5c muestra un circuito con SCR para TIG y una foto ilustrativa de este tipo de equipos.

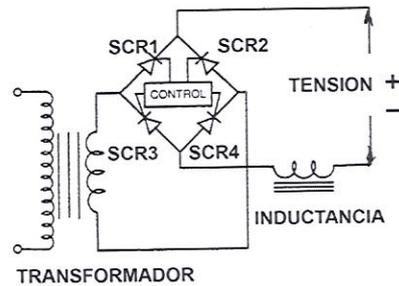


Figura 5c | Circuito básico de una fuente de CC, con rectificación y control por diodos SCR.

Fuentes inversoras, en estos equipos la CA de línea o entrada es rectificada, pasando luego a un circuito inversor que produce alta frecuencia en CA (1 kHz a 50 kHz) la cual es transformada a una salida de baja tensión o tensión de soldadura y alta frecuencia; finalmente pasa por un circuito de rectificación que permite obtener y controlar una salida de CC para soldadura.

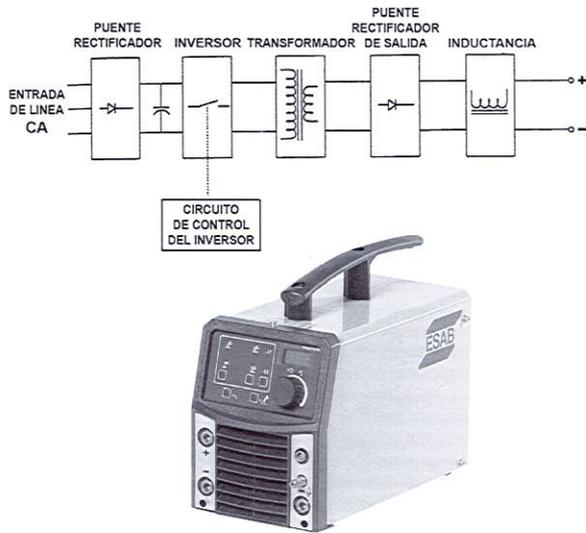


Figura 5d | Circuito básico de una fuente inversora de CC.

Esta tecnología, particularmente la transformación en alta frecuencia, reduce notablemente el tamaño y peso del transformador y consecuentemente del equipo.

Por ello estas fuentes son fácilmente transportables o, en muchos casos, de tipo portátil. La figura 5d muestra un circuito esquemático de una fuente CC inversora y una foto ilustrativa de estos equipos.

Unidad de alta frecuencia

En las fuentes de poder de CC y CA para proceso TIG, es necesario la incorporación de una unidad de alta frecuencia para el encendido del arco. En los equipos de CA no sólo es para establecer el arco, sino también durante la soldadura, cuando la inversión del sentido de la corriente en una dada frecuencia hace que en un determinado instante la misma alcance un valor cero o nulo. En ese momento, el arco se extingue, y si el potencial no es suficiente, no se podrá re-encender. Una corriente de alta frecuencia y baja intensidad es entonces superpuesta a la corriente normal para estabilizar el arco.

En las fuentes de CC la unidad de alta frecuencia debe ser utilizada solo para el encendido del arco, quedando desactivada durante la operación de soldadura.

Tal como se ha descrito en párrafos anteriores, el método esencialmente consiste en una descarga eléctrica de alta frecuencia, que aumentará la diferencia de potencial entre el electrodo y la pieza, ionizando la atmósfera en la que se establecerá el arco y calentando el cátodo, lo que facilitará la emisión de los electrones, necesaria para el encendido del arco sin tener que hacer

contacto entre el electrodo y la pieza.

La unidad de alta frecuencia, instalada en el circuito de la fuente de poder, posee un dispositivo que se desconecta automáticamente cuando el arco es abierto, es decir cuando el voltaje del arco eléctrico es alcanzado.

Equipos para la soldadura por el proceso TIG con programación de la corriente

La programación de la corriente de soldadura posibilita un mayor control sobre el calor aportado a la junta. Al iniciarse la soldadura la intensidad de corriente aumenta lentamente, impidiendo de este modo un sobrecalentamiento del electrodo de tungsteno, en el final de la soldadura, reduciendo lentamente la corriente, se evita la formación de poros y/o fisuras ocasionadas por la contracción en el final del cordón de soldadura, también llamado cráter de terminación. En la figura 6 se puede observar el esquema de funcionamiento.

Esquema de funcionamiento

De acuerdo con el esquema de la figura 6 la secuencia es la siguiente:

- 1- corriente para el encendido del arco.
- 2- velocidad de aumento de la corriente hasta alcanzar el valor de la corriente de soldadura
- 3- corriente de soldadura
- 4- velocidad de la disminución de la corriente de soldadura hasta llegar a la extinción del arco.
- 5- corriente de soldadura disminuída para el llenado del cráter.

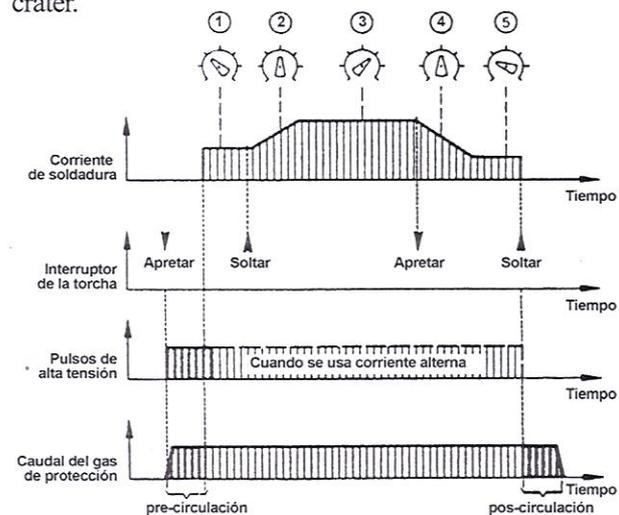
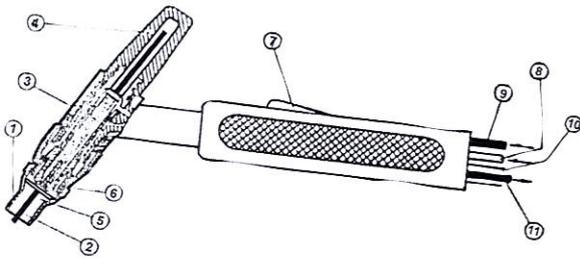


Figura 6 | Soldadura TIG (GTAW) con programación de corriente

Accesorios |

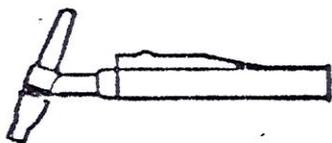
○ *Torcha para la soldadura TIG (GTAW)*

En la figura 7(a) se puede observar una típica torcha para el proceso TIG con la identificación de los elementos principales que la constituyen mientras que, la figura 7 (b), muestra variantes de torcha para diferentes aplicaciones indicando además las necesidades de refrigeración a partir de cierto valor de corriente de soldadura.



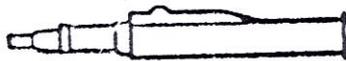
- 1- Tobera de cerámica
- 2- Electrodo de tungsteno
- 3- Pinza
- 4- Capuchón
- 5- Salida del gas de protección
- 6- Difusor de gas inferior
- 7- Interruptor
- 8- Entrada del gas de protección
- 9- Entrada del agua de refrigeración
- 10- Cable alimentador de la corriente eléctrica
- 11- Salida del agua de refrigeración

Figura 7a | Torcha típica para proceso MIG.



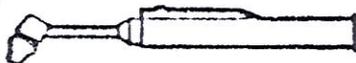
NORMAL

Torcha refrigerada a partir de aprox. 200 A



CUERPO RECTO

Torcha refrigerada a partir de aprox. 150 A



CORTA

Torcha refrigerada a partir de aprox. 125 A

Figura 7b | Variantes de torcha para distintas aplicaciones.

○ *Difusor de gas*

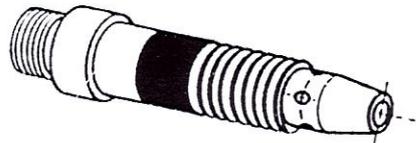
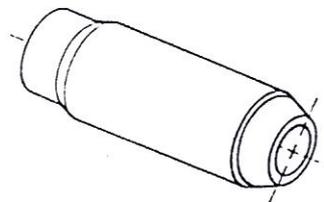


Figura 8 | Difusor de gas.

El difusor de gas es una pieza cilíndrica, generalmente de cobre o bronce (figura 8), responsable por la distribución del gas de protección. Esa distribución se realiza a través de cuatro orificios de pequeño diámetro situados en forma cícunferencial al alojamiento donde está instalado el electrodo de tungsteno.

○ *Tobera de cerámica*

Las toberas de cerámica están disponibles en varias formas y tamaños, a fin de atender las más variadas preparaciones de juntas a ser soldadas (figura 9).



Habitualmente son fabricadas de material cerámico, por ejemplo alumina, que además de su característica de resistencia a altas temperaturas es también un aislante eléctrico, teniendo en su contra el hecho de ser quebradizo, principalmente cuando está caliente.

El diámetro de la tobera es muy importante, debe ser lo suficientemente grande para dar una adecuada protección a la pileta líquida y a la zona afectada por el calor, se puede establecer como regla que el diámetro interno de la salida deberá ser mayor que 1,5 veces el largo del baño de metal fundido.

Para materiales base más sensibles a la contaminación atmosférica como por ejemplo: aleaciones base níquel, titanio, circonio, la tobera de cerámica debe ser usada con una protección adicional de aproximadamente 75 mm de largo.

Regulación de la presión e indicación del caudal de gas

Sistema con dos manómetros

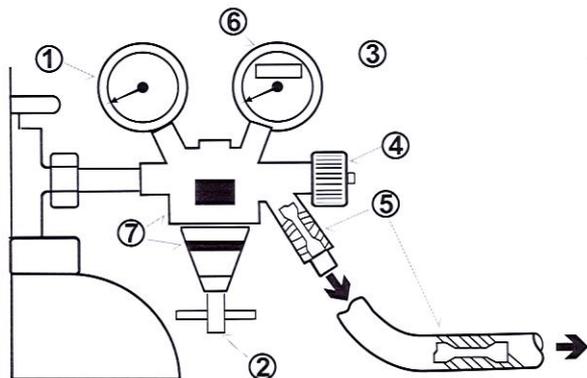


Figura 10 | Regulación con dos manómetros

- 1- Manómetro de presión del cilindro de gas
- 2- Tornillo regulador de la presión del gas
- 3- Manómetro indicador del caudal de gas
- 4- Válvula reguladora del caudal de gas
- 5- Tubo regulador del caudal de gas
- 6- Indicación de apto para un tipo de gas
- 7- Color identificador del tipo de gas

Regulación:

Observando la figura 10, el tubo regulador del caudal de gas (5), incorporado en el reductor de presión, limita el orificio de salida por el cual pasa el gas, en consecuencia, el caudal dependerá de la presión del gas. Con el tornillo regulador de la presión del gas (2), esa presión será fijada y el manómetro indicador del caudal de gas (3) indicará, en litros/min, la salida de gas correspondiente a aquella presión.

Electrodos de tungsteno

Como ya fue descrito al principio, en el proceso de soldadura por arco con electrodo de tungsteno bajo protección gaseosa (TIG), el arco es establecido entre un electrodo de tungsteno no consumible. Recordemos que su punto de fusión es de aproximadamente 3400 °C. Por lo tanto, la calidad y selección de estos electrodos tiene una gran importancia, comercialmente se dispone de electrodos de tungsteno puro o aleados, siendo los más comunes al torio o circonio, estos últimos de menor aplicación.

Debido a efectos radioactivos por la utilización de torio, otros aleantes alternativos son el lantano o lantano y el cerio, elementos que se encuentran dentro del grupo de las tierras raras.

Sistema con caudalímetro

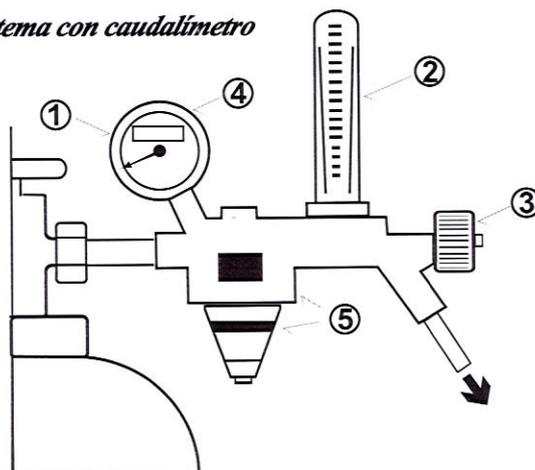


Figura 11 | Regulación con manómetro y caudalímetro

- 1- Manómetro de presión del cilindro de gas
- 2- Caudalímetro (indicador del caudal de salida)
- 3- Válvula reguladora del caudal de gas
- 4- Indicación de apto para un tipo de gas
- 5- Color identificador del tipo de gas

Regulación:

La reducción de presión es de ajuste constante y el pasaje del gas sufrirá alteraciones por acción de la válvula reguladora del caudal de gas, figura 11(3). La presión de salida del gas elevará el flotador dentro del caudalímetro, figura 11(2), indicando el caudal de salida correspondiente.

Electrodos de Tungsteno puro (W)

■ **Ventajas:** es el más económico, tiene el punto de fusión más alto de los tres tipos; buena estabilidad del arco eléctrico; cuando se lo utiliza con corriente alterna provoca un pequeño efecto de la rectificación de la corriente. Pueden utilizarse en una amplia variedad de aplicaciones, particularmente para soldadura con CA de aleaciones de aluminio y magnesio.

■ **Desventajas:** no soporta altas corrientes; fácil desgaste; no es un buen emisor de electrones y son más factibles de contaminación provocando, en este caso, un arco errático.

Electrodos de tungsteno con torio (WTh)

■ **Ventajas:** soporta altas corrientes, aumenta la emisión de electrones por lo tanto enciende el arco con mayor facilidad y lo mantiene más estable cuando es usado en corriente continua, muy bajo desgaste.

■ **Desventajas:** es el de mayor costo; si es utilizado en corriente alterna produce un efecto de rectificación de la corriente al mismo tiempo que disminuye un poco la estabilidad del arco; existe la posibilidad de que partículas microscópicas de tungsteno se desprendan del electrodo contaminando el metal depositado.

Tabla 1 | Electrodos de tungsteno según norma ISO 6848, medidas en mm

Diámetro	0,50	1,00	1,60	2,00	2,50	3,20	4,00	5,00	6,30	8,00
Largo	50,0	75,0	150,0	175,0						

Tabla 2 | Composición química y colores de identificación, según ISO 6848

Símbolo	Elementos de Aleación		Color de Identificación	Aplicación
	Tipo	%		
WP	-	-	verde	soldadura ⁽¹⁾ -
WT 4	óxido de torio	0,35 a 0,55	azul	soldadura -
WT 10	óxido de torio	0,80 a 1,20	amarillo	soldadura -
WT 20	óxido de torio	1,70 a 2,20	rojo	soldadura -
WT 30	óxido de torio	2,80 a 3,20	violeta	soldadura -
WT 40	óxido de torio	3,80 a 4,20	naranja	soldadura -
WZ 3	óxido de circonio	0,15 a 0,50	marrón	soldadura corte ⁽²⁾
WZ 8	óxido de circonio	0,70 a 0,90	blanco	soldadura corte
WL 10	óxido de lantano	0,90 a 1,20	negro	- corte
WC 20	óxido de cerio	1,80 a 2,20	gris	

NOTA: ⁽¹⁾ recomendado para soldadura

⁽²⁾ recomendado para corte por plasma

Tabla 3 | Electrodos de tungsteno según norma AWS A5.12. Medidas en mm

Diámetro	0,30	0,50	1,00	1,60	2,40	3,20	4,00	5,00	6,40
Largo	50.00	75.00	150.0	175.0					

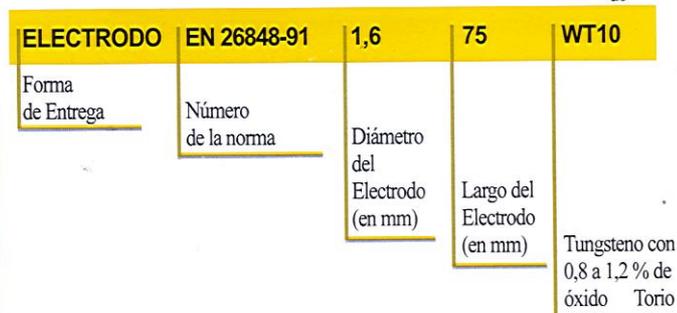


Figura 12 | Clasificación de los electrodos de tungsteno según EN26848. (ISO6848). Ejemplo: WT10

Electrodos de tungsteno con Circonio (WZr)

■ **Ventajas:** este tipo de electrodo combina las cualidades de encendido, estabilidad y capacidad de corriente de los electrodos de Torio, con la ventaja adicional de eliminar la tendencia al chisporroteo del tungsteno cuando se suelda con corriente alterna.

■ **Desventajas:** un eventual mayor costo.

Clasificación de los electrodos de tungsteno según la norma ISO 6848

De acuerdo con la norma ISO (International Organization for Standardization) 6848, similar a la Euronorm EN26848, clasifica a los electrodos de tungsteno en diámetro, composición, identificación y aplicación, de la forma que se describe en las tablas 1 y 2 respectivamente y la figura 12.

En el Apéndice A se indican los rangos de corriente típicos recomendados para electrodos clasificados Electrodo clasificados según EN 26848 |

En la norma A5.12 de AWS (American Welding Society o Sociedad Americana de Soldadura) los electrodos de tungsteno son clasificados en diámetro, composición e identificación de acuerdo con la descripción de las tablas 3 y 4 respectivamente y la figura 13.

En el Apéndice A se indican los rangos de corriente típicos recomendados para los electrodos clasificados según AWS A5.12.

Clasif. AWS	Composición química en %			Color de Identif.
	Tungsteno	Aleados al	Otros (máx.)	
EWP	99,5	-	0,5	verde
EWCe-2	97,3	1,8-2,2 óxido de cerio	0,5	naranja
EWLa-1	98,3	0,9-1,2 óxido de lantano	0,5	negro
EWTh-1	98,3	0,8-1,2 óxido de torio	0,5	amarillo
EWTh-2	97,3	1,7-2,2 óxido de torio	0,5	rojo
EWZr-1	99,1	0,15-0,40 óxido de circonio	0,5	marrón
EWG	94,5	no especificado	0,5	gris

Tabla 4 | Composición química y colores de identificación, según AWS A5.12

Prácticas a ser realizadas con el extremo o punta del electrodo de tungsteno

Soldadura con corriente continua (CC) y electrodo negativo

La punta del electrodo debe ser afilada, por medio de un amolado. Es conveniente eliminar las rayas más profundas provocadas por el amolado mediante un pulido posterior. En la figura 14a se pueden observar las medidas típicas de preparación o afilado de la punta del electrodo.

Soldadura con corriente alterna (CA)

Para los electrodos con diámetros iguales o mayores que 1,6 mm es necesario amolarlos, (figura 14 b). Posteriormente, durante la soldadura se formará un casquete esférico en la extremidad del electrodo.

Regulación de la corriente

Una forma de reconocer la correcta regulación de la corriente, es observar el extremo del electrodo.

En el caso que el extremo del electrodo fuese contaminado por el contacto con el metal base o la varilla de aporte, deberá ser eliminado y la punta del electrodo nuevamente amolada

Otro factor importante a ser considerado es el ángulo de la punta del electrodo pues este tiene gran influencia sobre la forma del cordón de soldadura, ya que afecta el ancho y la penetración del mismo.

El ángulo (α) normalmente varía entre 30° y 120° (figura 14 a).

Cuanto mayor es el ángulo, menor será la penetración y mayor el ancho del cordón de soldadura. Disminuyendo ese ángulo, es decir haciéndolo más agudo, se obtiene más penetración y un cordón más estrecho. Esto ocurre por la concentración del arco en la punta del electrodo (figura 15).

No obstante ello, cuando se sueldan materiales base de mayor espesor y, en razón del rebote de la columna del plasma, se producirá menor penetración y un cordón más ancho. (figura 16 a).

En conclusión, para espesores mayores que 6,4 mm lo ideal es utilizar ángulos mayores en el extremo del electrodo (figura 16 b) Los ángulos agudos o menores, por tener la punta muy fina, pueden fundirse y contaminar el metal aportado.

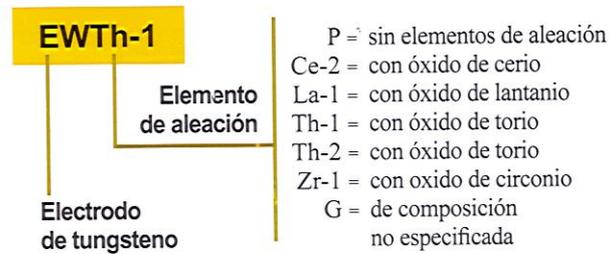


Figura 13 | Clasificación de los electrodos de tungsteno según AWS A5.12. Ejemplo: WTh1

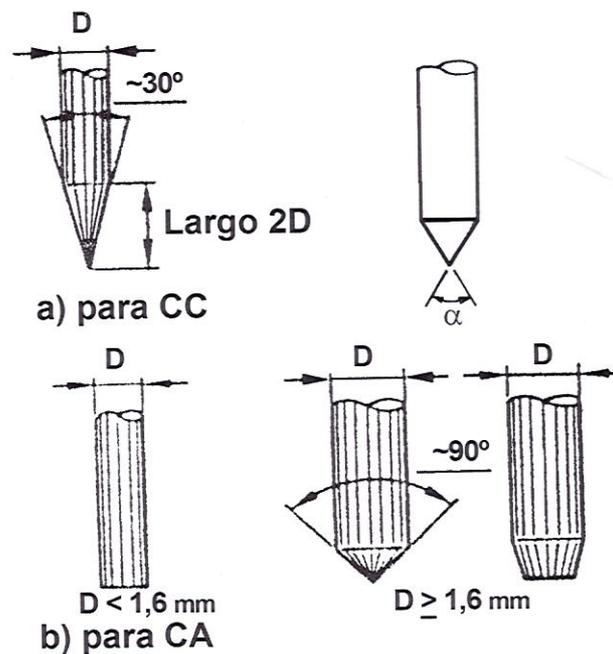


Figura 14 | Afilado del electrodo

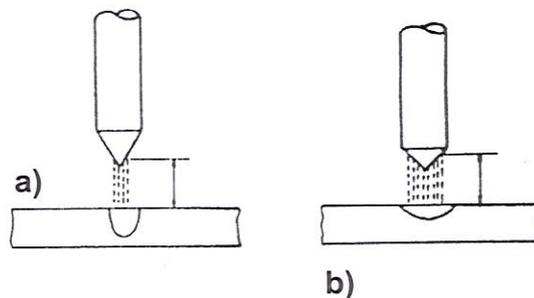


Figura 15 | Efecto del afilado del electrodo (ángulos de la punta) para espesores mínimos de metal base.

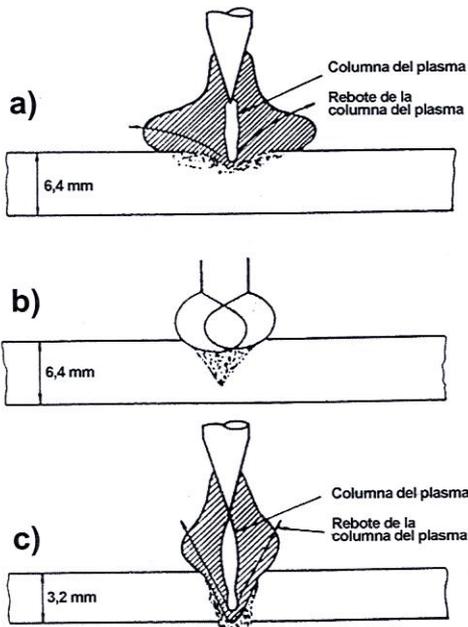


Figura 16 | Ángulo de la punta del electrodo en función del espesor

Encendido del arco eléctrico

Para que pueda establecerse un arco eléctrico estable, es necesario que el espacio entre el electrodo y la pieza sea capaz de conducir la corriente eléctrica. Esto se logra a través de un aumento de la temperatura en el inicio de la formación del arco, logrando que el gas de protección se convierta en un conductor eléctrico (formación del plasma).

Encendido del arco a través del contacto del electrodo con la pieza.

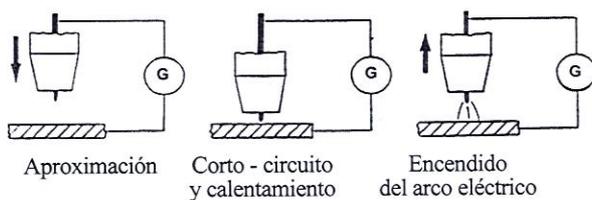


Figura 17 | Encendido por contacto

La figura 17 muestra la secuencia de encendido del arco por contacto del electrodo con la pieza.

Este método ofrece el inconveniente de permitir que ocurran inclusiones de tungsteno en la soldadura, como también adherencia del metal base o del aporte en el electrodo, dando como resultado una inestabilidad en el arco eléctrico. Este inconveniente

puede evitarse con el uso de una pequeña chapa de cobre para el encendido del arco. Esta forma de inicio del arco eléctrico sólo es posible con el uso de corriente continua.

Encendido del arco por medio de pulsos de alta tensión o de alta frecuencia.

La figura 18 muestra la secuencia de encendido del arco por medio de pulsos de alta tensión o de alta frecuencia.

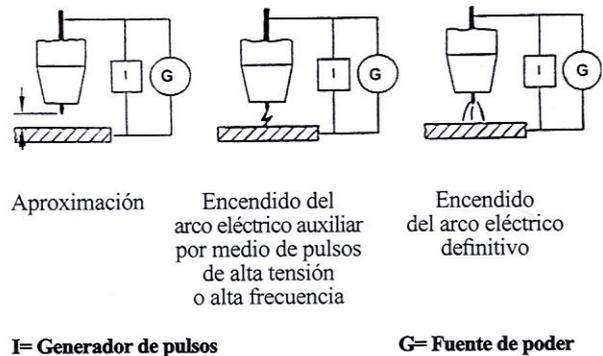


Figura 18 | Encendido por alta frecuencia

Arco eléctrico con corriente continua

En la soldadura con corriente continua, el electrodo es conectado al polo negativo. Si el electrodo fuese conectado al polo positivo su extremo o punta sería fundida debido al fuerte calentamiento. Todos los metales, con excepción del aluminio, magnesio y sus aleaciones, tienen que ser soldados con corriente continua, polaridad negativa o directa.

Arco eléctrico con corriente alterna

En la corriente alterna el arco eléctrico se extingue cada vez que cambia la polaridad, y cuando la tensión es nula. figura 19 (a). Por tal motivo a cada inicio de una media onda, debe re-encenderse el arco sin que haya contacto entre el electrodo y la pieza a soldar, y eso se logra por medio de pulsos de alta tensión figura 19 (b) o de alta frecuencia figura 19 (c).

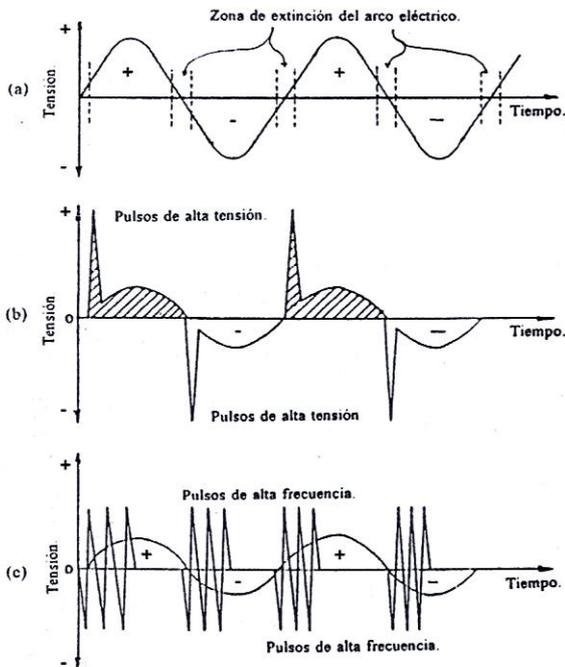


Figura 19 | Oscilograma del proceso TIG en CA

Balace de onda

En la soldadura TIG del aluminio, con corriente alterna, se produce un efecto de rectificación de la corriente que provoca que las ondas de la sinusoide característica de la corriente alterna sean formadas con intensidades diferentes (onda desbalanceada). Tomando la media onda negativa una mayor amplitud, en comparación con la positiva, provocará fallas en el establecimiento del arco eléctrico y una insuficiente limpieza de los óxidos, tal como se observa en la figura 20 (a).

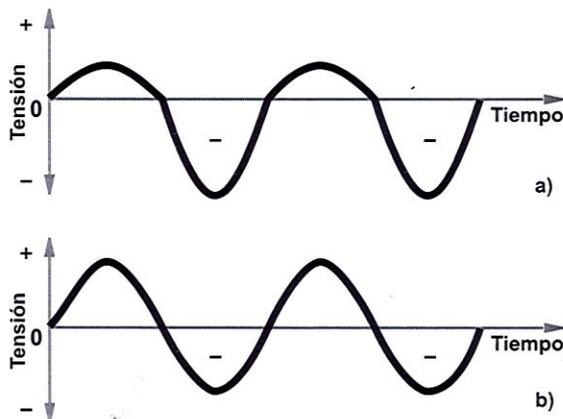
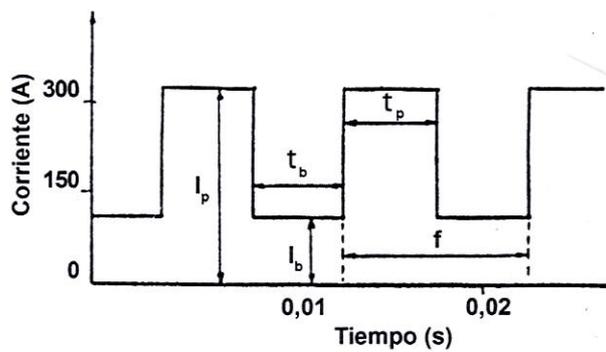


Figura 20 | Balance de onda

A través de la incorporación de condensadores de filtrado de la corriente, ese efecto perjudicial, llamado rectificación inherente, es compensado. figura 20 (b).

Proceso de soldadura TIG utilizando corriente pulsada

La corriente pulsada o arco pulsado permite un mayor control del calor aportado y consecuentemente de la fusión, tanto del metal de aporte como del metal base. Esto se consigue por medio de la variación cíclica por pulsos de la corriente de soldadura entre dos niveles, uno inferior a la corriente efectiva y otro superior a ella, de modo que durante el período en que la corriente es baja (corriente de base) se producirá calentamiento y fusión cuando el valor de la corriente sea alto (pico), este proceso de transferencia puede ser graficado tal como se muestra en la figura 21:



I_b = Intensidad de base
 t_b = Tiempo de base
 I_p = Intensidad de pico
 t_p = Tiempo de pico
 f = Frecuencia del ciclo

Figura 21 | Ciclo de arco pulsado

Para regular esta forma de transferencia, se utiliza una frecuencia que puede oscilar entre 0,5 y 10 Hz y pulsos de corriente de una duración inferior a 3 Hz. El establecimiento de un arco por la acción de esos pulsos funde tanto el metal de aporte como el metal base, y facilita también la solidificación del baño de metal fundido.

Los parámetros que necesariamente son utilizados para una soldadura por corriente pulsada son:

- Corriente de los pulsos (de base y de pico)
- Tiempo de duración de los pulsos
- Frecuencia de los pulsos

La penetración de la soldadura es influenciada principalmente por la frecuencia y la intensidad de los pulsos de corriente. La frecuencia de los pulsos de corriente depende de las propiedades del metal base y la intensidad de los pulsos depende del espesor.

La velocidad de soldadura y la frecuencia de los pulsos, deben ser proporcionales: a mayor velocidad de soldadura mayor deberá ser la frecuencia de los pulsos. Una frecuencia de 2 a 3 pulsos por segundo es recomendada para soldadura manual, ya que proporciona la mejor condición para realizar un cordón de soldadura con buena penetración y buen aspecto visual.

■ **Ventajas de la corriente pulsada:**

- 1- Reduce el calor aportado y en consecuencia disminuye las deformaciones.
- 2- Aumenta la penetración y mejora la uniformidad del cordón de soldadura.
- 3- Inhibe la formación de poros y la formación de fisuras en caliente
- 4- Da una buena estabilidad del arco eléctrico, inclusive con corrientes de baja intensidad.

■ **Desventajas de la corriente pulsada:**

- 1- Es preciso un soldador bien entrenado.
- 2- Puede haber, en algunos casos, una pérdida de productividad.
- 3- Los equipos para esta forma de transferencia resultan más complejos y costosos.

Los gases de protección para el proceso TIG

La principal función para estos gases es eliminar, de la zona donde se está realizando la soldadura al hidrógeno (H_2), nitrógeno (N_2) y oxígeno (O) que puedan contaminar a la misma.

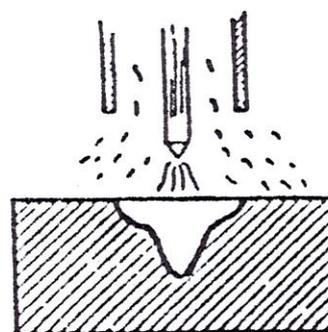
Los gases de protección utilizados en el proceso TIG son, principalmente el argón (Ar) y el helio (He) y algunas mezclas como por ejemplo: argón + helio y argón o helio + pequeños porcentajes de hidrógeno u oxígeno. El tipo de gas o mezcla que se utilice puede afectar significativamente la calidad de la soldadura.

En el Apéndice B se indica la clasificación de gases según las normas AWS A5.32 y EN 439 y una guía de selección para proceso TIG a modo de referencia.

Argón

Por poseer una baja conductibilidad térmica, el argón hace que el plasma sufra menor expansión a través de la ionización térmica y tenga por este motivo una dimensión pequeña pero muy ionizada. Esta característica del argón hace que el encendido del arco sea más fácil al mismo tiempo que las variaciones de voltaje del arco, provocadas por la alteración del largo, sean menores originando un arco más estable y consistente. Por tal motivo es el gas de protección más utilizado en la soldadura.

El efecto de esa alta temperatura localizada, provocada por la ionización concentrada, dará como resultado una penetración también localizada, cuyo perfil del cordón de soldadura es mostrado en la figura 22.



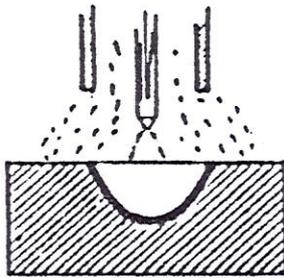
100% ARGÓN.

Figura 22 | Perfil de soldadura TIG con argón.

No obstante la forma del cordón, este efecto trae una gran ventaja para el argón, ya que la alta temperatura localizada contribuye a eliminar los óxidos de la superficie del metal de base, con lo cual facilita la soldadura de los metales que forman óxidos refractarios, es decir aquellos cuyo punto de fusión es mayor que el del metal base.

Helio

La utilización del helio como gas de protección es recomendable cuando se utilicen altos valores de energía de arco, es decir, en la soldadura de materiales cuya conductividad térmica sea alta o refractarios, esto se debe a que la conductividad térmica de este gas provoca la formación de un plasma ionizado de mayores dimensiones que el formado por el argón, lo que dará como resultado una densidad de corriente más uniforme a través del arco, evitando el calentamiento localizado y produciendo una penetración de forma parabólica, tal como se ve en la figura 23.



100% HELIO.

Figura 23 | Perfil de soldadura TIG con helio.

A pesar de estas propiedades el helio es poco utilizado, dada la dificultad de ser obtenido y en consecuencia su alto costo.

Nitrógeno

Este gas se utiliza en soldadura y en corte como gas de protección, dado su bajo costo y alta conductividad térmica y un comportamiento relativamente inerte.

La mayor aplicación de este gas es en la soldadura del cobre y sus aleaciones.

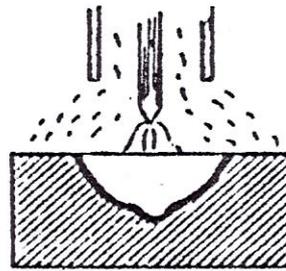
Mezcla de Argón y Helio

A través de esta mezcla se trata de obtener las mejores características presentes en los dos gases, es decir, a aumentar la potencia del arco manteniendo las características propias del argón.

Cantidades en el orden del 50 % de helio tienen poca influencia en las características del arco. Lo más común es una mezcla de 75 % de helio más 25 % de argón, lo que da como resultado un aumento de la

penetración en comparación con el uso del argón puro.

En la figura 24 se muestra el tipo de penetración obtenida con esta mezcla.



25% ARGÓN
75% HELIO

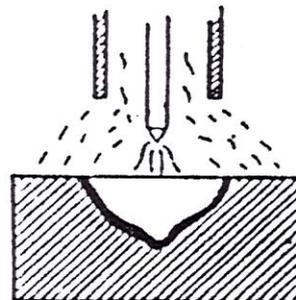
Figura 24 | Perfil de soldadura TIG con mezcla Ar - He.

Mezclas con Hidrógeno

El hidrógeno es un gas que se inflama naturalmente, quemándose en forma espontánea no bien encuentra el oxígeno. En el proceso de soldadura TIG es usado como aditivo, cumpliendo la función de aumentar el aporte térmico y también la velocidad de desplazamiento. Cuando es mezclado, en porcentajes que varían entre el 1% y el 5% con el argón, aumenta la penetración y el ancho del cordón de soldadura.

Este tipo de mezcla no debe ser utilizada en la soldadura de los aceros al carbono, de baja aleación, ni para aceros inoxidables ferríticos y martensíticos, ya que en estos materiales el hidrógeno puede producir fisuración. La figura 25 permite observar un típico perfil de soldadura con mezcla de Ar - H₂.

Para una mejor interpretación sobre la utilización de los gases en la soldadura con electrodo de tungsteno con protección gaseosa (TIG o GTAW), en la Tabla 5 se muestra una típica guía de aplicaciones.



99% ARGÓN
1% HIDRÓGENO

Figura 25 | Perfil de soldadura TIG con mezcla Ar - H.

Tabla 5 | Guía de Aplicación de gases

Metal	Espesores (en mm)	Proceso Manual	Proceso Automatizado
Aceros al carbono	<3,00	Argón (CC-)	Argón (CC-)
	>3,00	Argón (CC-)	Ar + He 75% o He (CC-)
Aceros Inoxidables	<3,00	Argón (CC-)	Ar + He 75% o Ar + H ₂ 1 a 15%
	>3,00	Ar + He 75% (CC-)	(CC-) He o He + H ₂ (CC-)
Aluminio	<3,00	Argón (CA,af)	Argón (CA,af) o He (CC-)
	>3,00	Argón (CA,af)	Helio (CC-)
Cobre	<3,00	Ar+He 75% (CC-)	Ar+He 75% (CC-)
	>3,00	Helio (CC-)	Ar+He 90% o He (CC-)
Níquel y sus aleaciones	<3,00	Argón (CC-)	Ar + He 75% o He (CC-)
	>3,00	Ar + He 75% (CC-)	Helio (CC-)

NOTA: af ó hfi: Alta Frecuencia

Consumo y caudal del gas de protección elección de la tobera

El caudal del gas de protección, así como su consumo, están influenciados por:

- a) el tipo del material
- b) el espesor del material

La figura 26 muestra consumos típicos de gas argón.

Algunas diferencias en el consumo del gas podrían presentarse por:

- a) la dimensión del baño de fusión
- b) la zona afectada por el calor
- c) la velocidad de la soldadura
- d) el movimiento de la torcha
- e) el tipo de junta

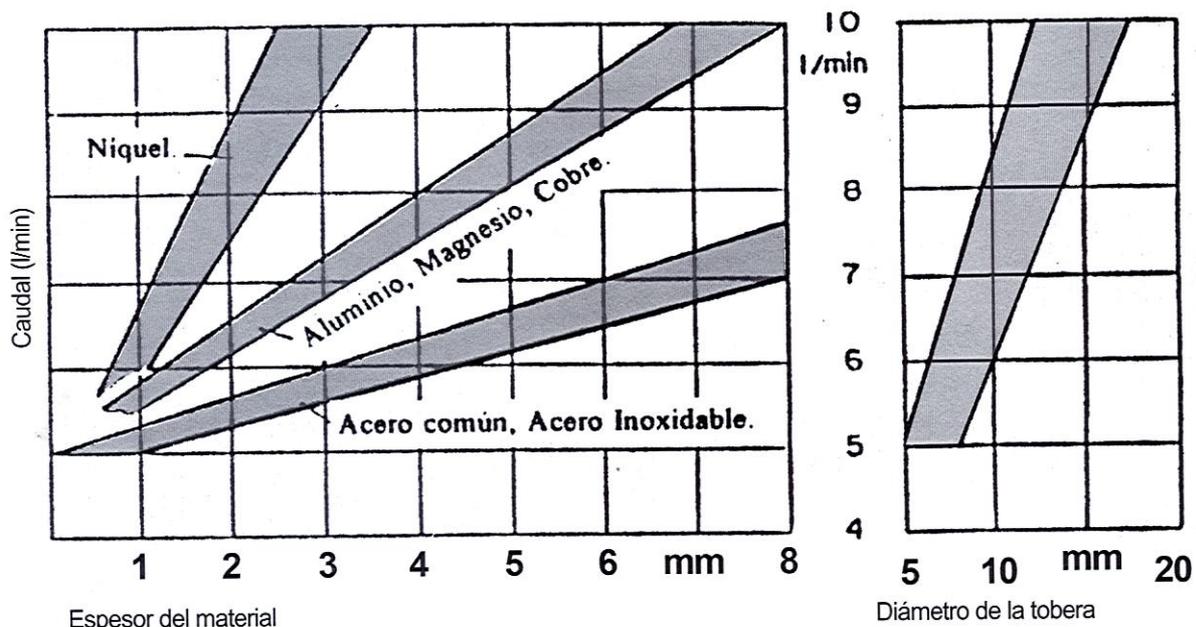


Figura 26 | Consumos de gas Argón.

Variables del proceso |

Tensión de Soldadura (Voltaje)

El voltaje es determinado por el largo del arco, y varía generalmente alrededor de una vez y media el diámetro del electrodo de tungsteno. Este largo del arco también puede variar para aplicaciones específicas y, particularmente, de acuerdo con la preferencia del soldador.

Cuando mayor es el largo del arco, mayor es la disipación del calor hacia la atmósfera, disminuyendo la penetración y aumentando el ancho del cordón de soldadura (figura 27).

Arcos de largo grande también interfieren en la progresión del cordón de soldadura.

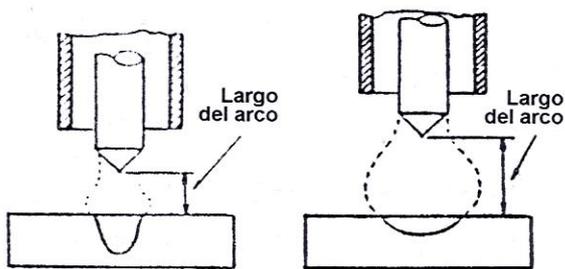


Figura 27 | Perfil del cordón en función del largo del arco.

Corriente de Soldadura

De todas las variables utilizadas en la operación de soldadura, la corriente es una de las más importantes, ya que está relacionada tanto con la penetración como con el volumen de deposición, la velocidad de avance y la calidad de la soldadura.

En el proceso de soldadura TIG, se puede usar tanto corriente alterna como corriente continua, con polaridad inversa (+) o directa (-)

Corriente Continua con Polaridad Directa (CC-) ó CCEN

En la soldadura con corriente continua, el polo negativo (-) (cátodo) está conectado con el electrodo de tungsteno y el polo positivo (+) (ánodo) con la pieza (figura 28).

En los procesos de soldadura TIG con esta polaridad, la mayor cantidad de calor es generada sobre el ánodo (material base), lo que nos indica, que la polaridad directa provocará

mayor calentamiento en la pieza, obteniendo una penetración más profunda con un cordón de soldadura más angosto. Al mismo tiempo con esta polaridad se tendrá un encendido del arco más fácil, en general sin necesidad de la alta frecuencia. Esto se explica por las particularidades termoiónicas del electrodo de tungsteno.

Al estar conectado a esta polaridad, el electrodo trabaja más frío, permitiendo el uso de corrientes más altas que con polaridad inversa.

Las desventajas de este tipo de corriente es que, generalmente, no hay remoción de los óxidos.

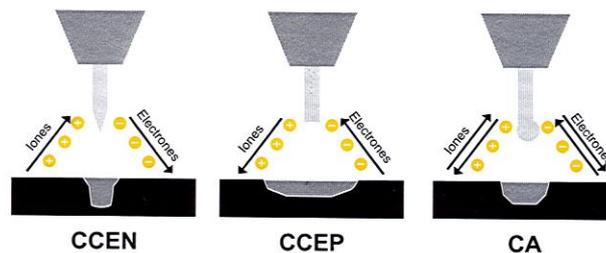


Figura 28 | Polarización en proceso de soldadura TIG (GTAW).

Corriente Continua Polaridad Inversa (CC+) ó CCEP

En este caso ocurre lo contrario del anterior, el electrodo va conectado al polo positivo (+) y la pieza al negativo (-) (figura 28).

La concentración del calor será en el ánodo, en consecuencia, el electrodo de tungsteno será el punto más caliente del arco, lo que provocará una penetración más pequeña, y un cordón de soldadura más ancho.

Con esta polaridad se incrementa el efecto de la remoción de los óxidos, en virtud que la mayor abundancia de emisión de los electrones va desde el metal base hacia el electrodo, rompiendo y dispersando la mencionada capa.

Esta es una de las ventajas para soldar aluminio y magnesio, que forman óxidos refractarios. No obstante esto, el valor de la corriente queda limitado, pues el bombardeo de electrones sobre el electrodo de tungsteno podría fundirlo. Por lo tanto la polaridad inversa requiere valores de corriente menores, limitando su utilización a piezas de menor espesor.

Las corrientes más utilizadas en el proceso de

soldadura TIG son la corriente alterna, cuando se desea la limpieza de los óxidos, y la corriente continua con polaridad directa (-) cuando se desea entregar más calor a la pieza.

La Tabla 6 muestra los tipos de corriente de soldadura que deben ser empleados para los diferentes materiales a soldar.

Corriente Alterna (CA)

La corriente alterna es la aplicada para la soldadura del aluminio y el magnesio, en virtud de la constante inversión de la polaridad, lo que significa un cambio del sentido del bombardeo de electrones de 50 veces por segundo (en nuestro país), dando como resultado una proporcionalidad entre la penetración y la acción de limpieza de los óxidos (figura 29).

La profundidad de la penetración es consecuencia del calor producido por el arco y la emisión de electrones en dirección a la pieza y la acción limpiadora de la capa de óxidos es conseguida cuando

la emisión de electrones es más abundante desde la pieza, contra el electrodo de tungsteno. Este proceso puede observarse en la figura 29.

Con la corriente alterna se obtiene una excelente calidad de soldaduras en aluminio en todas las posiciones.

Como ya fue explicado en párrafos anteriores, para ejecutar una soldadura por el proceso TIG con corriente alterna, es necesario el uso de un módulo generador de alta frecuencia para estabilizar el arco. (figura 29).

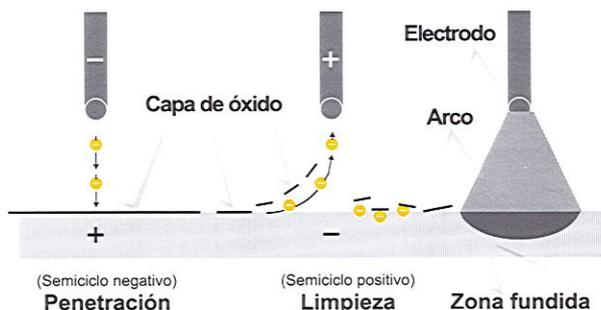


Figura 29 Polarización con corriente alterna en proceso de soldadura TIG (GTAW).

Tabla 6 Diferentes tipos de corriente de soldadura, según el material a soldar.

Materiales	CA con Alta Frecuencia	CC(-)	CC(+)
Acero al carbono	limitada	adecuada	-
Acero inoxidable	limitada	adecuada	-
Hierro fundido	limitada	adecuada	-
Aluminio y sus aleaciones	adecuada	-	posible para chapas finas
Magnesio y sus aleaciones	adecuada	-	posible para chapas finas
Cobre y sus aleaciones	limitada	adecuada	-
Bronce - Aluminio	adecuada	limitada	-

Velocidad de soldadura

Para cada corriente y voltaje utilizados, la velocidad de soldadura determinará la cantidad de energía que es liberada por cada unidad de longitud del cordón. Cambios en el valor de esta energía, calor aportado, tienen un fuerte efecto en la forma y propiedades de la soldadura.

Aumentando la velocidad, se reduce la penetración y el ancho del cordón de soldadura.

Disminuyendo la velocidad, aumenta la penetración y el ancho del cordón, pudiendo

tener un aumento aún mayor si la corriente es también incrementada. La figura 30 muestra el comportamiento descrito.

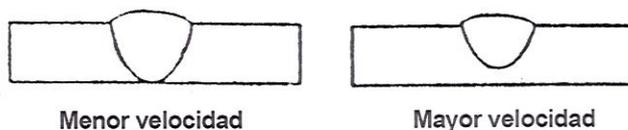


Figura 30 Efecto de la velocidad de soldadura sobre el perfil de cordón

Aplicaciones del proceso

El proceso TIG permite ser utilizado en la soldadura de una gran diversidad de metales y/o aleaciones metálicas, como por ejemplo: aceros al carbono, aceros de baja aleación, aceros inoxidables, metales refractarios, aleaciones de aluminio, de berilio, de cobre, de magnesio, de níquel, de titanio y de circonio.

Plomo y zinc son complicados de soldar, pues su bajo punto de fusión torna muy difícil el control del proceso.

El proceso de soldadura TIG es aplicable a un amplio rango de espesores de metal base. El proceso es utilizado en la soldadura de juntas a tope o en filete, con espesores típicos menores o iguales que 4 mm. Para juntas de más de 10 mm de espesor, se utilizan otros procesos de soldadura con un mayor índice de deposición, a menos que sea requerida una alta calidad de soldadura.

Este proceso es muy utilizado en las pasadas de raíz, justamente por entregar una soldadura de alta calidad. En este caso, para garantizar la calidad de la pasada, se utiliza una protección adicional por el otro lado de la junta, llamada "purga" o respaldo gaseoso. Esa protección se consigue mediante la introducción de un gas protector a través de un canal, como se muestra en la figura 31.

En la ejecución de la pasada de raíz en la soldadura de tuberías, el gas puede ser introducido directamente, dentro del tubo, como se muestra en la figura 32.

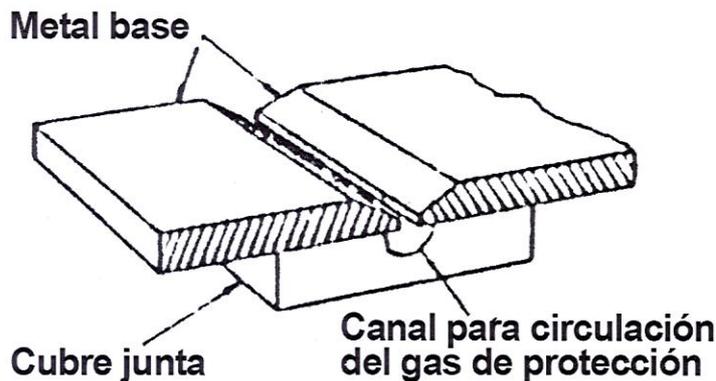


Figura 31 | Respaldo de gas.

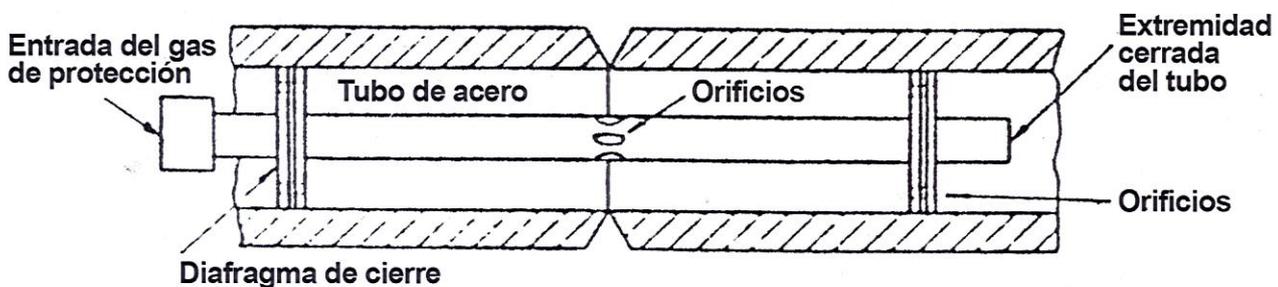


Figura 32 | Protección de gas en el interior de un tubo para soldadura TIG.

Selección y clasificación de los materiales de aporte para la soldadura TIG o GTAW

La selección del material de aporte para una determinada unión soldada se basa fundamentalmente en dos criterios: la igualación de la resistencia con el material base o la igualación de la resistencia y similitud de la composición química.

La igualación de la resistencia es frecuentemente aplicada en la soldadura de aceros estructurales en general, mientras que la igualación por resistencia y composición química se aplica en aceros que contienen elementos característicos de aleación para conferir propiedades específicas relacionadas con el comportamiento en servicio. Este es el caso de los aceros destinados a aplicaciones tales como: altas temperaturas, bajas temperaturas o régimen criogénico, resistencia a la corrosión (aceros inoxidables), etc.

Una vez definido el material de aporte, será especificado en un procedimiento de soldadura o para una solicitud de compra de acuerdo con la clasificación de las normas para materiales de aporte en soldadura TIG o GTAW. Existen normas para aportes de soldadura TIG con origen en diferentes países, tales como: AWS (USA), DIN (Alemania), AFNOR (Francia), IRAM (Argentina), GOST (Rusia), JIS (Japón), entre otras e internacionales como Euronorm o ISO.

Las normas de materiales de aporte de uso extendido internacionalmente son las correspondientes a la Sociedad Americana de Soldadura, AWS (American Welding Society).

Las normas aplicables para alambres de soldadura TIG son:

- **AWS A5.18** Alambres y varillas para la soldadura por arco con gas de protección de los aceros al carbono.
- **AWS A5.28** Alambres y varillas para la soldadura por arco con gas de protección de los aceros de baja aleación.
- **AWS A5.9** Alambres y varillas para la soldadura por arco de los aceros inoxidables.
- **AWS A5.10** Alambres y varillas para la soldadura del aluminio y sus aleaciones.

- **AWS A5.7** Alambres y varillas para la soldadura del cobre y sus aleaciones.

- **AWS A5.14** Alambres y varillas para la soldadura del níquel y sus aleaciones.

- **AWS A5.19** Alambres y varillas para la soldadura de las aleaciones de magnesio.

- **AWS A5.16** Alambres y varillas para la soldadura del titanio y sus aleaciones.

Alambres para Aceros al Carbono y de Baja Aleación

La clasificación de las varillas de las especificaciones AWS A5.18 y AWS A5.28, tienen las siguientes características:

ER	XX	X	X
1	2	3	4

Siendo:

1- las letras **ER**, cuando son utilizadas juntas, se refieren al consumible en la forma de alambre o varilla.

2- estos dígitos, que también podrían llegar a ser tres, indican la resistencia a la tracción mínima del metal depositado en miles de libras por pulgada cuadrada (psi).

Algunos ejemplos se dan en la siguiente tabla 7:

Tabla 7 | Nivel de resistencia para soldadura TIG

Alambre ó Varilla	Límite de resistencia a la tracción (mínimo) ⁽¹⁾	psi	MPa
		ER 70 X-X	70.000
ER 80 X-X	80.000	550	
ER 90 X-X	90.000	620	
ER 100 X-X	100.000	690	
ER 110 X-X	110.000	760	
ER 120 X-X	120.000	830	

NOTA ⁽¹⁾: Las probetas son preparadas en las condiciones establecidas por la propia especificación, especialmente en lo que se refiere al precalentamiento, temperatura entre pasadas y tratamiento térmico.

3- este dígito, en forma de letra, señala lo siguiente:

S: indica que se trata de un alambre o varilla sólida

C: significa que se trata de un material compuesto (alambre tubular "metal cored").

4- este último dígito indica la composición química del alambre - en porcentaje (%) - para el caso de la soldadura de aceros al carbono la norma A5.18 establece la clasificación en función del rango de Mn y Si tal como se indica en la tabla 8.

Tabla 8 | Clasificación de alambres según AWS A5.18

Clasificación C ⁽¹⁾	Mn ⁽¹⁾	Si ⁽¹⁾	P ⁽¹⁾	S ⁽¹⁾	Cu ⁽¹⁾	
ER 70S-2	0,07	0,90 a 1,40	0,40 a 0,70	0,025	0,035	0,50
ER 70S-3	0,06 a 0,15	0,90 a 1,40	0,45 a 0,75	0,025	0,035	0,50
ER 70S-4	0,06 a 0,15	1,00 a 1,50	0,65 a 0,85	0,025	0,035	0,50
ER 70S-6	0,06 a 0,15	1,40 a 1,85	0,80 a 1,15	0,025	0,035	0,50
ER 70S-7	0,07 a 0,15	1,50 a 2,00	0,50 a 0,80	0,025	0,035	0,50
ER 70S-G	NE ⁽²⁾	NE	NE	NE	NE	NE

NOTA ⁽¹⁾ Todos los valores son dados en % en peso.

⁽²⁾ NE = no especificado

Los valores individuales corresponden al máximo.

En cambio para la soldadura de aceros de baja aleación se utiliza una identificación de letras y números, según AWS A5.28 que corresponden al grupo de aleación al que pertenece el alambre y al % en peso de composición, tal como se observa en forma abreviada en la tabla 9.

Tabla 9 | Clasificación de alambres según AWS A5.28

Digito	Alambres y Varillas aleados al
B 2 al B 9	Cromo (Cr) -molibdeno (Mo)
Ni 1 al Ni 3	Níquel (Ni)
D2	Manganeso (Mn) - molibdeno (Mo)
S-1 y S-G	Cualquier elemento

Clasificación para aceros inoxidables

La clasificación de los materiales de aporte, alambres y varillas para la soldadura de los aceros inoxidables, o también denominados resistentes a la corrosión, es realizada teniendo como base la composición química de los mismos, similar a la clasificación adoptada por la AISI (American Iron and Steel Institute o Instituto Americano del Hierro y del Acero) para los aceros de esas mismas propiedades. Esta clasificación de los alambres y varillas según la norma AWS A5.9 tiene las siguientes características:

ER **XXX**
1 **2**

Siendo:

1- Las letras ER se refiere al consumible en la forma de alambre o varilla.

2- Estos dígitos normalmente en número de tres, señalan la composición química del alambre de acuerdo con lo definido en la clasificación AISI para los aceros del mismo tipo y también puede venir seguidos de letras que indican una composición específica.

El agregado del símbolo de algún elemento (por ejemplo Mo) después de la clasificación, significa que el contenido de este elemento fue alterado en relación a la composición química original.

Ejemplos:

ER308: Corresponde a la misma característica de un acero de clasificación AISI (308=18Cr-8Ni)

ER308L: La misma composición química del ER308, pero con menor contenido de carbono (bajo carbono).

ER308MoL: La misma composición química del ER308L, pero con un contenido de molibdeno (Mo) de 2 a 3 %.

Alambres para aluminio y aleaciones de aluminio

De acuerdo con la norma AWS A5.10 la clasificación se realiza de la siguiente forma:

ER **XXXX**
1 **2**

Siendo:

1- Las letras ER, se refieren al consumible en la forma de alambre o varilla.

2- Estos dígitos en número de cuatro indican la composición del alambre de acuerdo con las aleaciones clasificadas por AA (Aluminium Association o Asociación del Aluminio de los Estados Unidos), en la tabla 10 se detallan las aleaciones más comunes.

Tabla 10 | Alambres para soldadura de Aluminio

Clasificación A.W.S.	Composición química (en %)
ER 1100	Aluminio (Al) 99,0 mín.
ER 4043	Aluminio + 4,5 a 6,0 de Silicio (Si)
ER 5356	Aluminio + 4,5 a 5,5 de Magnesio (Mg) + 0,05 a 0,20 de Manganeso (Mn) + 0,05 a 0,20 de Cromo (Cr)
ER 5654	Aluminio + 3,1 a 3,9 de Magnesio (Mg)

Alambres para Magnesio y Aleaciones de Magnesio

La clasificación de los alambres y varillas para la soldadura de las aleaciones de magnesio de acuerdo con la norma AWS A5.19 se detalla a continuación:

ER **XX** **XX** **X**
1 **2** **3** **4**

Siendo:

1- Las letras ER se refieren al consumible en la forma de alambre o varilla.

2- Estas dos letras señalan los dos principales elementos de aleación, en orden decreciente (ver tabla 13).

3- Estos dos números indican, en valores medios, los porcentajes de los dos principales elementos de aleación (ver tabla 13).

4- Esta última letra sirve para distinguir aquellas aleaciones con el mismo porcentaje de los dos elementos principales.

Tabla 13 | Alambres para soldadura de Mg

Clasificación AWS	Principales elementos de aleación (en %)			
	Aluminio (Al)	Cinc (Zn)	Circonio (Zr)	Tierras Raras
ERAZ61A	5,8 a 7,2	0,40 a 1,5	-	-
ERAZ92A	8,3 a 9,7	1,7 a 2,3	-	-
ERAZ101A	9,5 a 10,5	0,75 a 1,25	-	-
EREZ33A	-	2,0 a 3,1	0,45 a 1,0	2,5 a 4,0

Alambres para titanio y aleaciones de titanio

De acuerdo con la norma AWS A5.16 la clasificación se realiza de la siguiente forma:

ER **Ti - X**
1 **2**

Siendo:

1- Las letras ER, se refieren al consumible en la forma de alambre o varilla.

2- Indica la composición del alambre de acuerdo con las aleaciones clasificadas por ASTM (American Society of Testing and Materials o Asociación Americana de Ensayos y Materiales), en la tabla 14 se detallan algunas de las aleaciones.

Tabla 14 | Alambres para soldadura de Ti

Clasificación AWS	Principales elementos de aleación (en %)	
	Aluminio (Al)	Vanadio (V)
ER Ti-1	Titanio comercialmente puro	
ER Ti-5	5,5 a 6,7	3,5 a 4,5
ER Ti-6	4,5 a 5,8	-
ER Ti-9	2,5 a 3,5	2,0 a 3,0

Bibliografía

ASM Handbook vol 6 : Welding, brazing and soldering, American Society of Metals, 1994.

AWS Welding Handbook, vol 1, 9th edition, American Welding Society

AWS Specification for carbon steel filler metals for gas shielded arc welding, AWS 5.28, American Welding Society.

AWS Specification for low alloy steel filler metals for gas arc welding, AWS 5.28, American Welding Society.

AWS Specification for corrosion-resisting Chromium - Nickel steel bare and composite metal - cored and stranded welding electrodes and rods, AWS 5.9, American Welding Society.

AWS Welding Handbook, Vol 2, 7th edition, American Welding Society.

Balley, N. Weldability of ferritic steels, Abington Publishing, England, 1992.

Conarco Alambres y Soldaduras, Manual de Soldadura, Buenos Aires, 1988.

FLS, Apuntes sobre enseñanza de la soldadura eléctrica, Fundación Latinoamericana de Soldadura.

Houldcroft, P and John, R. Welding and cutting, Woodhead- Faulkner, England, 1988.

Stout, R. D. Weldability of steels, WRC editor, fourth edition, N.Y., 1987.

Apéndice A

Rango de utilización de los electrodos

Tabla 1A | Electrodos Clasificación según EN 26848

Diámetro en mm	Corriente de soldadura (A)			Tobera de cerámica	
	Corriente continua	Corriente alterna			
	electrodo al negativo	con condensador de filtrado ⁽¹⁾ u onda balanceada		Largo en mm	Diámetro en mm ⁽³⁾
	Electrodo con 2% de torio ⁽²⁾	Electrodo de tungsteno puro	Electrodo con 2% de torio		
1,0	≤ 80	≤ 30	30 - 60	4,0 - 5,0	6,5 - 8,0
1,6	10 - 140	30 - 70	40 - 100	4,0 - 6,0	6,5 - 9,5
2,4	20 - 230	50 - 110	70 - 150	6,0 - 8,0	9,5 - 12,7
3,2	30 - 310	100 - 170	130 - 200	7,0 - 8,0	11,2 - 12,7
4,0	40 - 400	160 - 200	170 - 250	8,0 - 10	12,7 - 15,9

NOTA: ⁽¹⁾ sin condensador de filtrado u onda desbalanceada, los valores son 50 % más altos aproximadamente

⁽²⁾ para electrodos de tungsteno puro, los valores superiores son aproximadamente 40 % más bajos

⁽³⁾ las medidas se refieren al diámetro interno de la tobera

OBSERVACIÓN:

Los electrodos de tungsteno deben estar exentos de impurezas y libres de aceite, grasas, etc.

Tabla 2A | Electrodos Clasificación según AWS A5.12

Diámetro en mm	Corriente de soldadura (A)					
	Corriente Continua			Corriente Alterna		
	Electrodo Negativo	Electrodo Positivo	Sin condensador de filtrado u onda desbalanceada	Con condensador de filtrado u onda balanceada		
	EWX-X ⁽¹⁾	EWX-X	EWP	EWX-X	EWP	EWX-X
0,30	≤ 15	NA ⁽²⁾	≤ 15	≤ 15	≤ 15	≤ 15
0,50	5 - 20	NA	5 - 15	5 - 20	5 - 20	5 - 20
1,00	15 - 80	NA	10 - 60	15 - 80	20 - 30	20 - 60
1,60	70 - 150	10 - 20	50 - 100	70 - 150	30 - 80	60 - 120
2,40	150 - 250	15 - 30	100 - 160	140 - 235	60 - 130	100 - 180
3,20	250 - 400	25 - 40	150 - 200	225 - 325	100 - 180	160 - 250
4,00	400 - 500	40 - 55	200 - 275	300 - 400	160 - 240	200 - 320
5,00	500 - 750	55 - 80	250 - 350	400 - 500	190 - 300	290 - 390
6,00	750 - 1000	80 - 125	325 - 450	500 - 600	250 - 400	340 - 525

NOTA: (1) Los símbolos X-X indican electrodos de tungsteno con cualquier otro elemento de aleación, por ejemplo torio, etc

(2) Las letras NA señalan que esos tipos de electrodos en esos diámetros no son aplicables

OBSERVACIÓN:

Los rangos de utilización están basados en el uso de argón como gas de protección. En caso de cambiar el gas de protección los valores de corriente variarán también. Si se usara Helio como gas de protección, los valores de corriente serán algo menores.

Apéndice B |

Clasificación de gases |

Los gases de protección se clasifican según las normas AWS A5.32 y la norma europea EN439¹.

El propósito de estas normas es clasificar los gases de protección, de acuerdo con sus propiedades químicas, como base para la aprobación de las combinaciones del gas de protección y material de aporte.

La norma comprende gases y mezclas de gases utilizadas en la soldadura y en el corte de arco plasma MIG/MAG, TIG y de Respaldo.

Las mezclas de gases desarrolladas en base a los gases puros mencionados tienen la siguiente clasificación AWS:

SG-XX-X SG significa "Shielding Gas", el primer dígito siguiente indica el tipo de gas balance, el segundo dígito denota el gas aditivado y el tercer dígito el porcentaje de dicho gas aditivado.

Ejemplos:

- Mezcla 80 % Ar – 20 % CO₂ SG-AC-20
- Mezcla 90 % Ar – 5 % CO₂ - 5 % O₂ SG-ACO-5/5
- Mezcla 95 % Ar – 5 % H₂ SG-AH-5

Norma europea EN439:

La Tabla B2 muestra la clasificación de los gases de protección en grupos y por aplicaciones típicas. La clasificación está basada en la conducta de reacción de los gases de protección en la soldadura y en el corte, como se establece a continuación:

- R** Mezclas de gases reductores
- I** Gases inertes y mezclas de gases inertes
- C** Gas altamente oxidante y mezclas altamente oxidantes
- F** Gas no reactivo o mezclas de gases reductores

Según la EN439 los gases de protección se designan con número de esta norma, el grupo y el número de identificación conforme a la Tabla B2.

Ejemplos:

- Mezcla 92 % Ar – 8% CO₂ EN439-M21
- Mezcla 98 % Ar – 2% O₂ EN439-M13
- Mezcla 95 % Ar – 5% H₂ EN439-R1
- Argón EN439-I1
- Dióxido de Carbono EN439-C1

Tabla B1 | Clasificación AWS A5.32

Gas	Clasificación AWS	Estado del Producto	Pureza Mínima (%)	Humedad Máxima (ppm)	Punto de Rocío Humedad Máxima a 1 atm		CGA Clase
					°F	°C	
Argón	SG-A	Gas	99.997	10.5	-78	-60	Tipo I G-11.1 Grado C
		Liquid	99.997	10.5	-78	-60	Tipo II G-11.1 Grado C
Dióxido de Carbono	SG-C	Gas	99.8	32	-60	-51	G-6.2 Grado H
		Liquid	99.8	32	-60	-51	G-6.2 Grado H
Helio	SG-He	Gas	99.995	15	-71	-57	Tipo I G-9.1 Grado L
		Liquid	99.995	15	-71	-57	Tipo II G-9.1 Grado L
Hidrógeno	SG-H	Gas	99.95	32	-60	-51	Tipo I G-5.3 Grado B
		Liquid	99.95	32	-60	-51	Tipo II G-5.3 Grado B
Nitrógeno	SG-N	Gas	99.9	32	-60	-51	Tipo I G-10.1 Grado F
		Liquid	99.998	4	-90	-68	Tipo II G-10.1 Grado L
Oxígeno	SG-O	Gas	99.5	No Aplicable	-54	-48	Tipo I G-4.3 Grado B
		Liquid	99.5	No Aplicable	-82	-63	Tipo II G-4.3 Grado B

¹. A. Fernández, Revista Soldar - Conarco, N° 128, p5-11, septiembre 2007

Tabla B2 | Clasificación EN439

Grupo	Nº de Identificación	Símbolo ¹ , Componentes en volumen porcentual						Aplicaciones Típicas	Adaraciones
		Oxidante		Inerte		Reductor	No Reactivo		
		CO ₂	O ₂	Ar	He				
R	1 2			Balance ²			> 0 - 15 > 15 - 35		TIG, Soldadura y Corte Plasma Reductor
I	1 2 3			100		100			MIG, TIG, Soldadura Plasma Inerte
M1	1	> 0 - 5		Balance ²			> 0 - 5		Soldadura MAG Levemente Oxidante
	2	> 0 - 5		Balance ²					
	3	> 0 - 3		Balance ²					
	4	> 0 - 5	> 0 - 3	Balance ²					
M2	1	> 5 - 25		Balance ²					Soldadura MAG
	2		> 3 - 10	Balance ²					
	3	> 0 - 5	> 3 - 10	Balance ²					
	4	> 5 - 25	> 0 - 8	Balance ²					
M3	1	> 25 - 50		Balance ²					Soldadura MAG
	2		> 10 - 15	Balance ²					
	3	> 5 - 50	> 8 - 15	Balance ²					
C	1 2	100 Balance							Soldadura MAG Gran Oxidación
F	1 2						100 Balance		Corte Plasma

1- Cuando se agregan componentes no mencionados en uno de los grupos de esta tabla, la mezcla de gas está designada como una mezcla especial de gas y lleva el prefijo S. Para detalles de la designación ver cláusula 4 en EN439.
2- El argón puede ser reemplazado hasta por un 95% de helio. El contenido de helio está designado por un número de identificación adicional. Ver cláusula 4 en EN439.

**Tabla B3 | Proceso de soldadura TIG
Selección del gas de protección**

Material	Espesor (mm)	Proceso Manual					Proceso Automatizado				
		Ar	Ar +20%He	Ar +70%He	Ar +20%He +5%H ₂	Ar +2%N ₂	Ar	Ar +20%He	Ar +70%He	Ar +20%He +5%H ₂	Ar +2%N ₂
Aluminio	< 3	▲					●	▲			
	> 3	●	▲				●	▲			
Acero al Carbono	< 3	▲					●	▲			
	> 3	▲					●	▲			
Cobre	< 3	●	▲				●	▲			
	> 3		●	▲			●	▲			
Acero Inoxidable	< 3	▲					●			▲	
	> 3	●				▲	●		▲		
Titanio		●		▲				▲			
Aleaciones base Ni		●		▲				▲			

▲ Que puede obtenerse un mayor rendimiento ● Que es comúnmente utilizado

Apéndice C

Tablas para la selección de la corriente de soldadura en proceso TIG

Guía de selección básica para aceros estructurales, inoxidables, aleaciones de aluminio y cobre

■ Aceros al carbono y de baja aleación

Corriente continua, electrodo en el polo negativo (-), junta a tope, posición plana.

Espesor de Chapa de Bisel	Tipo	N° de Pasadas	Diámetro		Intensidad de Corriente
			Electrodo Toriado	Varilla	
mm			mm	mm	(A)
1,0	s/p	1	1,0 ó 1,6	1,6 ó 2,0	30 a 40
2,0	s/p	1	1,6 ó 2,4	1,6 ó 2,0	70 a 80
3,0	s/p	1 ó 2	2,4	2,4	70 a 90
4,0	s/p ó V	2	2,4	2,0	70 a 130
5,0	V	3	2,4 ó 3,2	2,4	75 a 130
6,0	V	3	2,4 ó 3,2	2,4 ó 3,0	75 a 130

■ Aceros inoxidables

Corriente continua, electrodo en el polo negativo (-), junta a tope, posición plana.

Espesor de Chapa de Bisel	Tipo	N° de Pasadas	Diámetro		Intensidad de Corriente
			Electrodo Puro	Varilla	
mm			mm	mm	(A)
1,5	s/p	1	1,0 ó 1,6	1,6 ó 2,0	80 a 100
2,5	s/p	1	1,6 ó 2,5	2,0 ó 2,5	100 a 120
3,0	s/p	1 ó 2	2,5	2,5	120 a 140
5,0	s/p ó V	2	2,5 ó 3,2	2,5 ó 3,2	200 a 250
6,5	V	3	3,2	3,2 ó 5,0	275 a 350
12,5	V ó X	3 ó 4	3,2 ó 5,0	5,0 ó 6,3	350 a 450

■ Aluminio

Corriente alterna, junta a tope, posición plana

Espesor de Chapa de Bisel	Tipo	N° de Pasadas	Diámetro		Intensidad de Corriente
			Electrodo Puro	Varilla	
mm			mm	mm	(A)
1,0	s/p	1	1,6 ó 2,4	2,0	40 a 50
2,0	s/p	1	1,6 ó 2,4	3,0	60 a 80
3,0	s/p	1	2,4	3,0	110 a 130
4,0	s/p	1 ó 2	2,4 ó 3,2	3,0	120 a 150
5,0	s/p ó V	1 ó 2	3,2	3,0	150 a 200

■ Cobre

Corriente continua, electrodo en el polo negativo (-), junta a tope, posición plana

Espesor de Chapa de Bisel	Tipo	N° de Pasadas	Diámetro		Intensidad de Corriente
			Electrodo Toriado	Varilla	
mm			mm	mm	(A)
1,5	s/p	1	1,6	2,0	90 a 100
3,0	s/p	1	3,2	3,0	150 a 200
5,0	V	2	4,0	4,0	180 a 300

s/p : sin preparación de bisel o junta a tope sin preparación

ATENCIÓN | Los contenidos de esta publicación están basados en información de diferentes fuentes, algunas de las cuales han sido incluidas en la lista de referencias.

ESAB- CONARCO, FLS y el autor no se responsabilizan por la precisión de la información o por cualquier daño, imprevisto o indirecto, perjuicio comercial o incidentes similares que pudieran ser causados por la implementación de medidas o acciones descritas en esta publicación.

SEGURIDAD EN SOLDADURA | la aplicación de una técnica industrial como la soldadura por arco eléctrico obliga a la aplicación de prácticas de protección adecuadas, para tal fin ESAB- CONARCO y FLS recomiendan la lectura de su publicación titulada: **Riesgos & Precauciones en Soldadura y Corte.**

La información consignada en la presente publicación es precisa y confiable. Aún así, es presentada sin garantía ni responsabilidad explícita o implícita de nuestra parte. La empresa se reserva el derecho de introducir modificaciones sin previo aviso.

SUCURSALES

SUCURSAL BUENOS AIRES

SUCURSAL CENTRO

SUCURSAL CUYO

SUCURSAL LITORAL

SUCURSAL N.O.A.

REPRESENTANTE BAHIA BLANCA



CASA CENTRAL: Calle 18 N° 4079
(B1672AWG) Villa Lynch - Pcia. de Buenos Aires
Tel.: (54 11) 4754-7000 | Fax: (54 11) 4753-6313
www.esab.com.ar - 0800-888 SOLDAR (7653)