

**INDICE**

---

|  |     |
|--|-----|
| 12.1. Principios del proceso TIG .....     | 245 |
| 12.1.1. Descripción y denominaciones.....  | 245 |
| 12.1.2. Ventajas y limitaciones.....       | 246 |
| 12.1.3. Aplicaciones .....                 | 247 |
| 12.2. Selección del tipo de corriente..... | 247 |
| 12.2.1. Arco con corriente continua .....  | 247 |
| 12.2.2. Arco con corriente alterna .....   | 247 |
| 12.3. Equipo de soldeo.....                | 249 |
| 12.3.1. Fuente de energía .....            | 250 |
| 12.3.2. Funciones.....                     | 254 |
| 12.3.3. Portaelectrodo.....                | 258 |
| 12.4. Electrodo no consumibles.....        | 259 |
| 12.4.1. Simbolización .....                | 260 |
| 12.4.2. Tipos .....                        | 261 |

|  |     |
|--|-----|
| 12.4.3. Acabado del extremo .....              | 263 |
| 12.4.4. Contaminación del electrodo.....       | 265 |
| 12.4.5. Intensidades admisibles .....          | 266 |
| 12.5. Metales de aportación .....              | 267 |
| 12.5.1. Varillas .....                         | 267 |
| 12.5.2. Insertos consumibles .....             | 268 |
| 12.6. Gases de protección .....                | 270 |
| 12.7. Técnicas operativas .....                | 271 |
| 12.7.1. Preparación de la unión.....           | 271 |
| 12.7.2. Cebado del arco.....                   | 272 |
| 12.7.3. Técnica de soldeo manual .....         | 273 |
| 12.8. Técnicas especiales .....                | 275 |
| 12.8.1. Arco pulsado.....                      | 275 |
| 12.8.2. Soldeo con alambre caliente.....       | 277 |
| 12.8.3. Soldeo orbital .....                   | 277 |
| 12.9. Defectos típicos en las soldaduras ..... | 279 |
| 12.10. Fallos en el equipo de soldeo.....      | 286 |

## 12.1. Principios del Proceso TIG

### 12.1.1. Descripción y denominaciones

El procedimiento de soldeo por arco bajo gas protector con electrodo no consumible, también llamado TIG (Tungsten Inert Gas), utiliza como fuente de energía el arco eléctrico que se establece entre un electrodo no consumible y la pieza a soldar, mientras un gas inerte protege el baño de fusión. El material de aportación, cuando se utiliza, se aplica por medio de varillas como en el soldeo oxiacetilénico. La figura 12.1 muestra esquemáticamente los principios del proceso TIG.

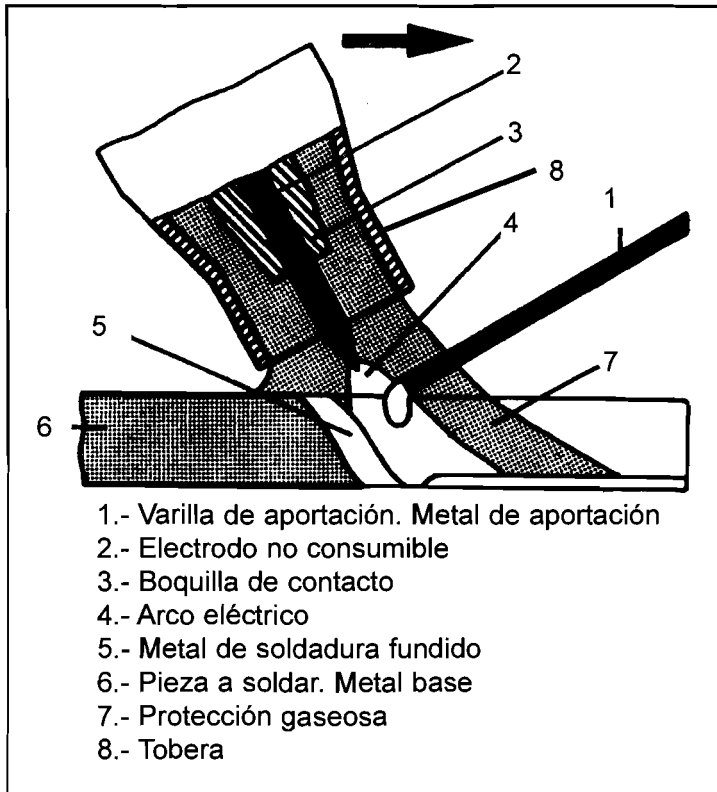


FIGURA 12.1: DESCRIPCIÓN DEL PROCESO TIG

Hay que recordar que wolframio (o volframio) y tungsteno son dos denominaciones para el mismo metal cuyo símbolo en la tabla periódica es W.

El proceso de soldeo TIG también recibe las denominaciones de:

- GTAW, Gas Tungsten Arc Welding (ANSI/AWS A3.0).
- 141, Soldeo por arco con electrodo de volframio y gas inerte (UNE-EN ISO 4063).
- Soldeo por arco con electrodo de volframio (UNE 14100).
- Gas-Shielded Tungsten-Arc Welding (Reino Unido).

### 12.1.2. Ventajas y limitaciones

#### *Ventajas*

- Proceso adecuado para unir la mayoría de los metales.
- Arco estable y concentrado.
- Aunque se trata de un proceso esencialmente manual, se ha automatizado para algunas fabricaciones en serie, como tubería de pequeño espesor soldada longitudinal o helicoidalmente y para la fijación de tubos a placas en intercambiadores de calor.
- No se producen proyecciones (al no existir transporte de metal en el arco).
- No se produce escoria.
- Produce soldaduras lisas y regulares.
- Se puede utilizar con o sin metal de aporte, en función de la aplicación.
- Puede emplearse en todo tipo de uniones y posiciones.
- Alta velocidad de soldeo en espesores por debajo de 3–4 mm.
- Se pueden conseguir soldaduras de gran calidad.
- Permite un control excelente de la penetración en la pasada de raíz.
- No requiere el empleo de fuente de energía excesivamente caras.
- Permite el control independiente de la fuente de energía y del metal de aportación.

#### *Limitaciones del proceso TIG:*

- La tasa de deposición es menor que la que se puede conseguir con otros procesos de soldeo por arco (en el soldeo automático esta desventaja se puede solucionar con la técnica de alambre caliente).
- Su aplicación manual exige, en general, gran habilidad por parte del soldador.
- No resulta económico para espesores mayores de 10 mm.
- En presencia de corrientes de aire puede resultar difícil conseguir una protección adecuada de la zona de soldadura.

### **12.1.3. Aplicaciones**

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

Puesto que el proceso posee las virtudes necesarias para conseguir soldaduras de alta calidad y con una elevada pureza metalúrgica, exentas de defectos y buen acabado superficial, es ideal para soldaduras de responsabilidad en la industria del petróleo, química, petroquímica, alimentación, generación de energía, nuclear y aeroespacial.

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

También se puede utilizar para realizar soldaduras por puntos y por costuras.

## **12.2. Selección del Tipo de Corriente**

El proceso TIG puede utilizarse tanto con corriente continua como con corriente alterna. La elección de la clase de corriente y polaridad se hará en función del material a soldar. Con el fin de realizar esta elección correctamente, se va a destacar algunos aspectos diferenciales de ambas alternativas.

En la tabla 12.1 se han resumido los efectos de la polaridad cuando se suelda con corriente continua y los efectos del soldeo con corriente alterna.

### **12.2.1. Arco con corriente continua**

La polaridad recomendada en corriente continua es la directa, ya que si se suelda con polaridad inversa se tienen que utilizar intensidades tan bajas para que no se sobrecaliente el electrodo que resulta impracticable el soldar.

### **12.2.2. Arco con corriente alterna**

La corriente alterna auna, aunque reducidas, las ventajas de las dos polaridades (Ver tabla 12.1): el buen comportamiento durante el semiciclo de polaridad directa y el efecto decapante del baño durante el semiciclo de polaridad inversa, por lo que suele emplearse en el soldeo de aleaciones ligeras, tales como las de aluminio y magnesio.

| Tipo de corriente             | Corriente continua                                | Corriente continua                               | Corriente alterna                                |
|-------------------------------|---|--|--|
| Polaridad                     | Directa   | Inversa  |  |
| Flujo de electrones e iones   |   |  |  |
| Aspecto de la penetración     |   |  |  |
| Acción decapantes             | No  | Sí   | Sí. Una vez durante el semiciclo positivo        |
| Balance calórico (aproximado) | 70% en la pieza.<br>30% en la punta del electrodo | 30% en la pieza<br>70% en la punta del electrodo | 50% en la pieza<br>50% en la punta del electrodo |
| Penetración                   | Profunda y estrecha                               | Ancha y menos profunda                           | Media  |
| Comportamiento del electrodo  | Excelente.<br>Ej. 400 A; 3,2 mm                   | Pobre.<br>Ej. 120 A; 6 mm                        | Buena<br>Ej. 225 A; 3,2 mm                       |

TABLA 12.1: CARACTERÍSTICAS DEL SOLDEO DE ACUERDO CON LA CORRIENTE SELECCIONADA

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

Con corriente alterna, el arco se apaga cada vez que el voltaje es nulo, dos veces cada ciclo [Ver figura 12.2 (a)]. Para mejorar la estabilidad la tensión de vacío debe incrementarse. Como ejemplo se requiere una tensión de vacío de 100V con helio como protección. La tensión necesaria puede obtenerse añadiendo al transformador una fuente de alta frecuencia. El voltaje de la fuente de alta frecuencia puede ser del orden de 1000V y con una frecuencia del orden de MHz [Ver figura 12.2 (b)]. La corriente de alta frecuencia puede ser aplicada continuamente, o cada vez que la corriente de soldeo pasa por cero. La selección se realiza desde el panel de control del equipo.

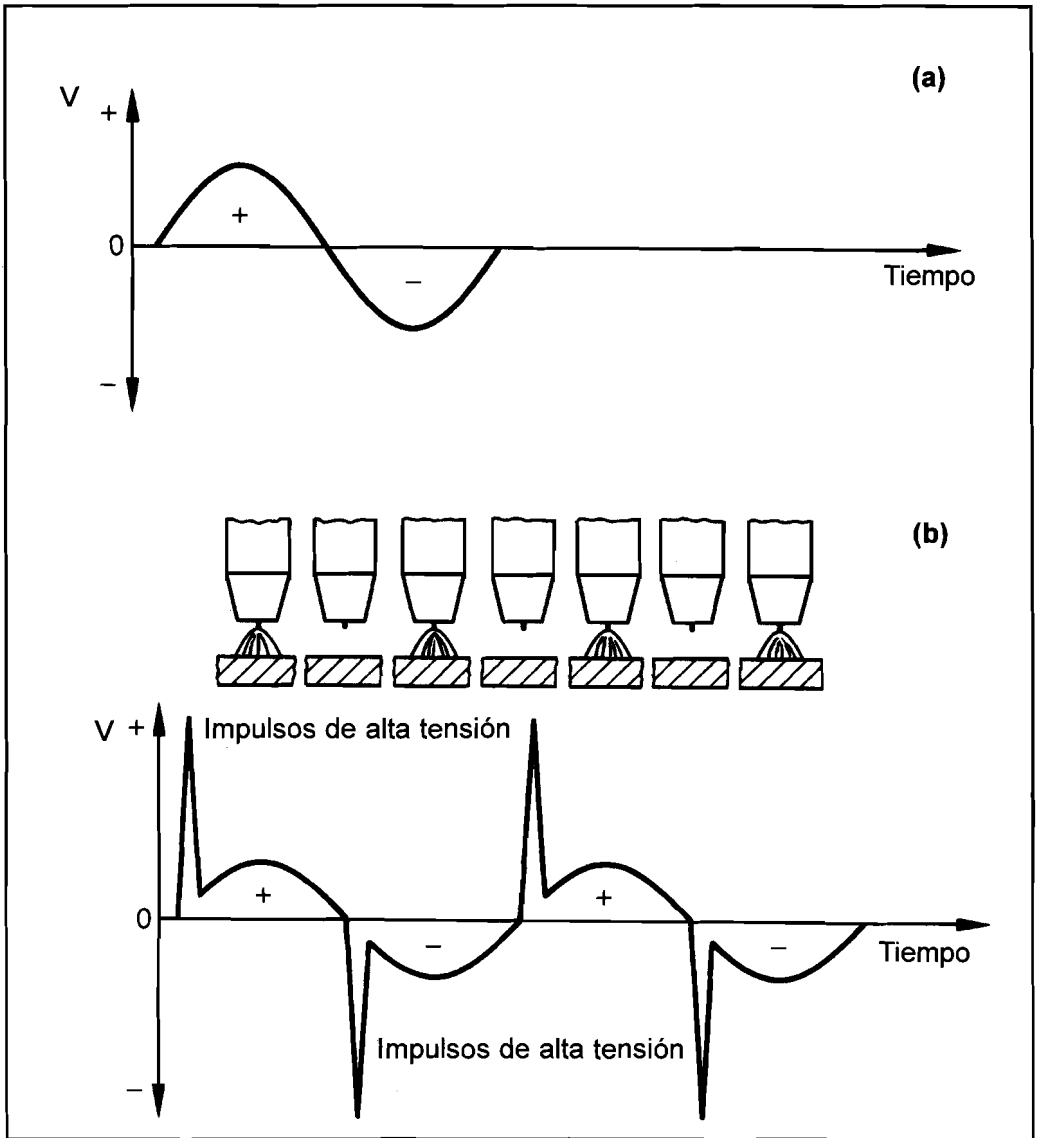


FIGURA 12.2: (A) CORRIENTE ALTERNA; (B) CORRIENTE ALTERNA CON IMPULSOS DE ALTA FRECUENCIA

### 12.3. Equipo de Soldeo

El equipo básico para el soldeo TIG consiste en una fuente de energía o de alimentación, un portaelectrodos, electrodo, cables de soldeo, botellas de gas inerte y mangueras para la conducción del gas. (Ver figura 12.3)

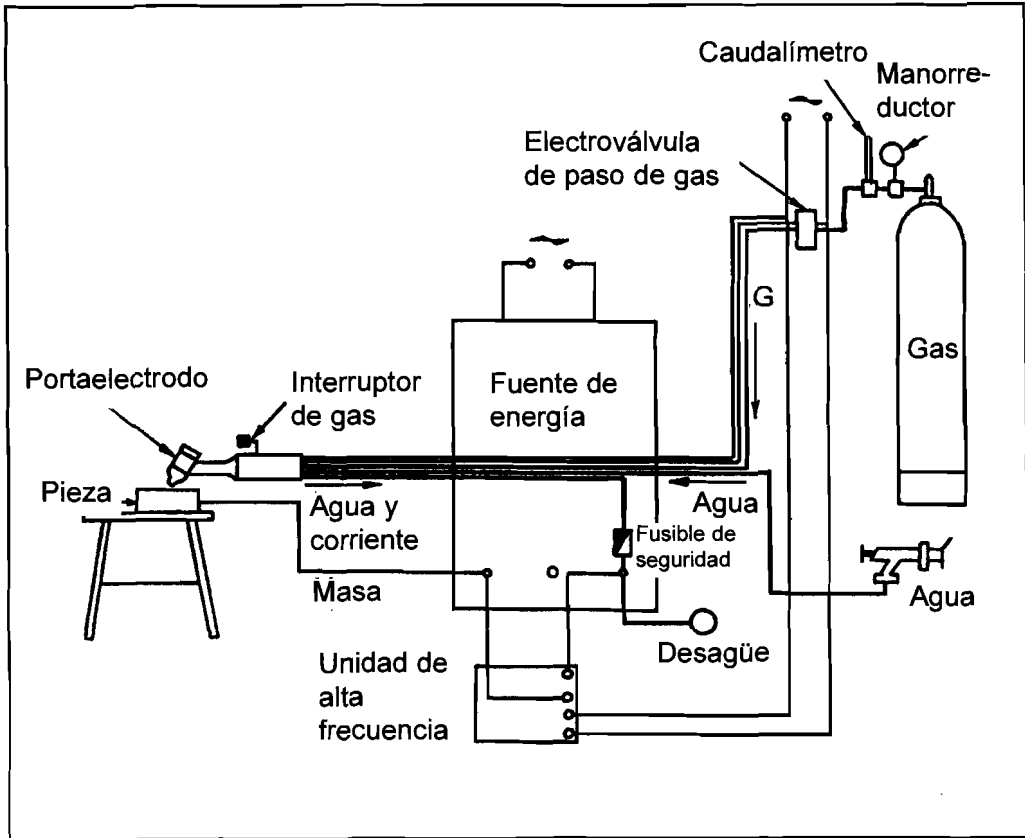


FIGURA 12.3: INSTALACIÓN DE SOLDEO TIG, CON PORTAELECTRODOS REFRIGERADO CON AGUA Y CON UNIDAD DE ALTA FRECUENCIA

### 12.3.1. Fuente de energía

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

La fuente de energía debe tener un rango de variación continua de intensidad y una intensidad mínima baja (5–8 A). Lo último es importante para la función “disminución progresiva de intensidad o control de pendiente”. Además la fuente de energía debe ser capaz de suministrar una intensidad tan alta como sea requerida por los espesores y el material que se va a soldar. Se da a continuación una indicación de las **intensidades requeridas por milímetro de espesor de chapa** para diferentes materiales.



|                     |         |
|---------------------|---------|
| Acero baja aleación | 30–40 A |
| Aluminio            | 45–50 A |
| Cobre               | 75–80 A |
| Acero inoxidable    | 30–40 A |

***Tipos de fuente en corriente alterna***

- Transformadores con un control adicional para la unidad de alta frecuencia y la unidad de control de gas.
- Equipo de soldeo TIG con capacidad para corriente alterna y corriente continua.

Se emplea corriente alterna para favorecer el decapado de la capa de óxido en aleaciones de aluminio y magnesio, también se utiliza para el soldeo de materiales de bajo espesor.

Las fuentes de corriente alterna convencionales utilizan una onda sinusoidal (ver figura 12.2) simplemente transformando la onda de la red para adecuar los parámetros de intensidad y tensión. El arco con corriente alterna es inestable, por lo que se utilizan diferentes medios para estabilizar el arco durante el soldeo como son: generador de impulsos de alta frecuencia, filtros capacitivos o empleo de fuentes de onda cuadrada.

Las fuentes de **onda cuadrada** pueden cambiar el sentido de la corriente de soldeo en muy poco tiempo, permitiendo una óptima activación de la semionda positiva y de la negativa consiguiéndose gran estabilidad. Algunas fuentes de onda cuadrada poseen un control de balance de la onda, estas fuentes ajustan el nivel de intensidad que se alcanza en la semionda positiva y en la negativa. Otras fuentes de onda cuadrada ajustan también el tiempo de cada semionda. Las características de la onda cuadrada con control de balance se muestran en la figura 12.4. Son muy utilizadas en el soldeo del aluminio y sus aleaciones.

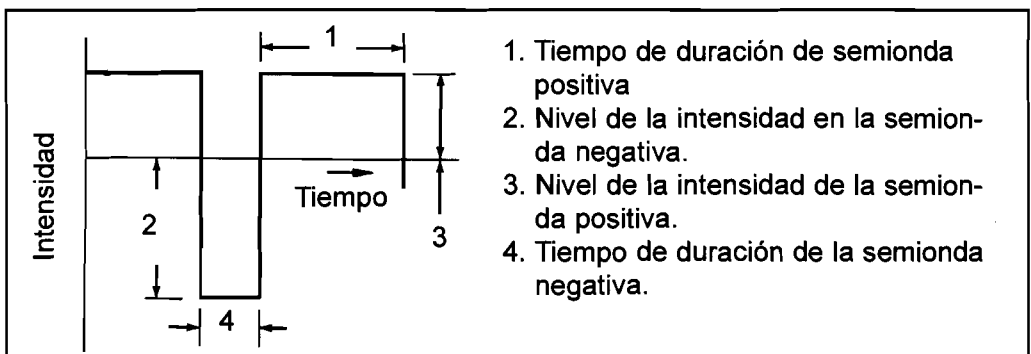
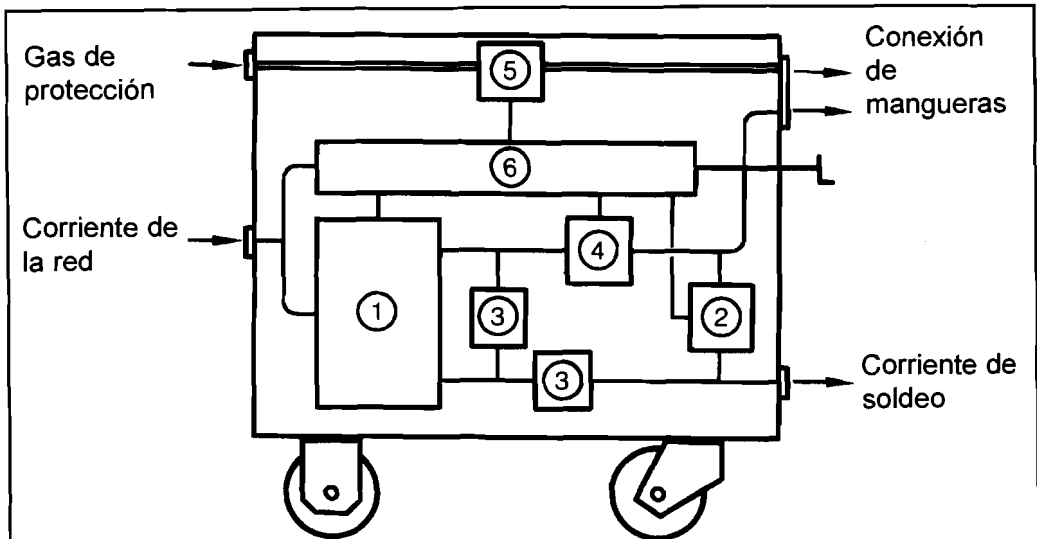


FIGURA 12.4: CARACTERÍSTICAS DE LA ONDA CUADRADA PARA CORRIENTE ALTERNA

En la figura 12.5 (A) se pueden ver todos los componentes de una máquina de corriente alterna.



**1. Transformador.**

Función: Convierte la corriente de la red en corriente adecuada para el soldeo: disminuyendo la tensión de la red e incrementando la intensidad.

**2. Generador de impulsos de alta frecuencia.**

Función: Genera impulsos de alta frecuencia y elevada intensidad para cebar el arco.

**3. Protector.**

Protección del transformador contra los impulsos de alta tensión que podrían destruirle.

**4. Filtro capacitivo**

Función: Compensación de la diferencia entre las dos mitades de cada onda que pueden provocarse durante el soldeo. (Efecto rectificador).

**5. Válvula magnética del gas de soldeo.**

Función: Apertura y cierre del gas de protección mediante medios electromagnéticos.

**6. Módulo de control.**

Funciones:

Encendido y apagado de la corriente de soldeo.

Regulación de la corriente de soldeo.

Control del gas de protección con tiempo ajustable de pre y post flujo.

Ajuste del filtro capacitivo

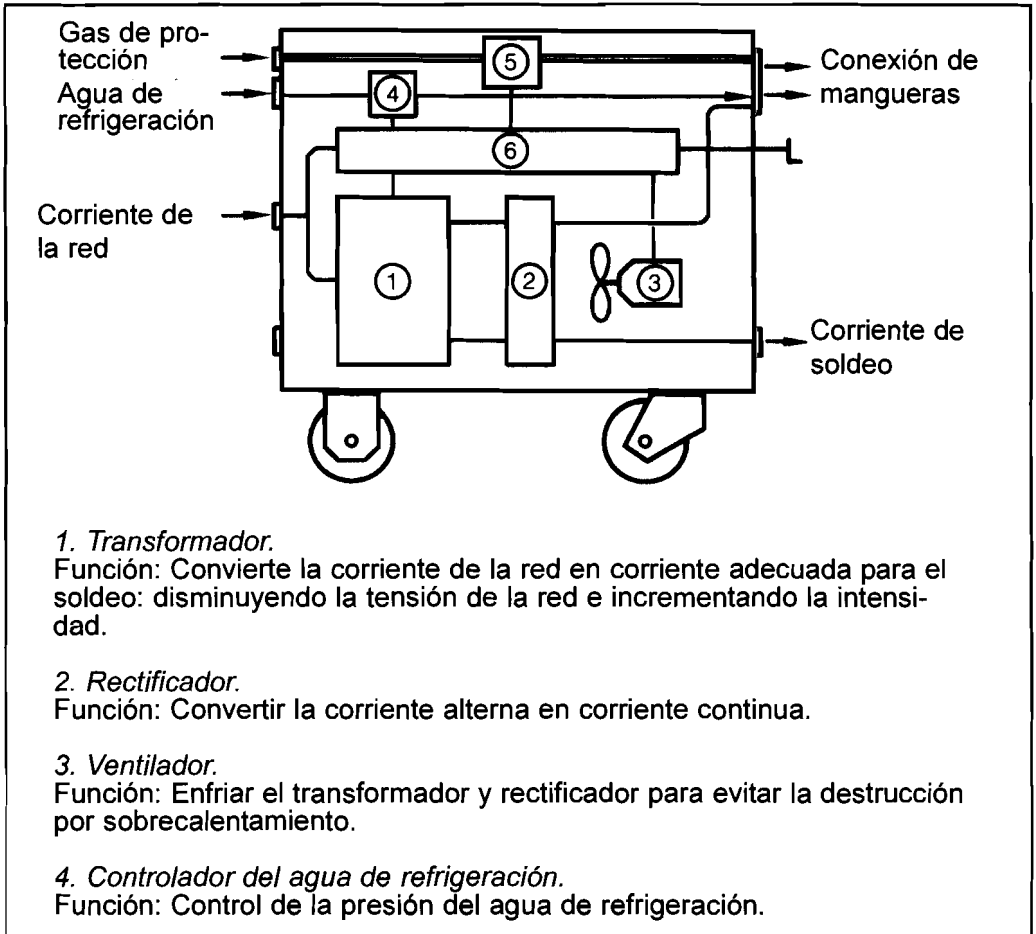
Control de otras funciones.

FIGURA 12.5 (A): COMPONENTES DEL EQUIPO DE CORRIENTE ALTERNA

***Tipos de fuente de energía para soldeo con corriente continua***

- Equipos ordinarios para trabajar con electrodos revestidos en corriente continua, equipados con portaelectrodos TIG. Esta es la solución más simple pero tiene sus limitaciones, especialmente al comenzar y terminar la soldadura.
- El mismo que el anterior pero equipado con un control de gas y otras funciones necesarias.
- Rectificador especialmente preparado para el soldeo TIG. La máquina posee una unidad de control de gas, una unidad de alta frecuencia y otras funciones necesarias.

En la figura 12.5 (B) se pueden ver todos los componentes de una máquina de corriente continua.



**1. Transformador.**

Función: Convierte la corriente de la red en corriente adecuada para el soldeo: disminuyendo la tensión de la red e incrementando la intensidad.

**2. Rectificador.**

Función: Convertir la corriente alterna en corriente continua.

**3. Ventilador.**

Función: Enfriar el transformador y rectificador para evitar la destrucción por sobrecalentamiento.

**4. Controlador del agua de refrigeración.**

Función: Control de la presión del agua de refrigeración.

FIGURA 12.5 (B): COMPONENTES DEL EQUIPO DE CORRIENTE CONTINUA

**5. Válvula magnética del gas de soldeo.**

Función: Apertura y cierre del gas de protección mediante medios electromagnéticos.

**6. Módulo de control.**

Funciones:

Encendido y apagado de la corriente de soldeo.

Regulación de la corriente de soldeo.

Control del gas de protección con tiempo ajustable de pre y post flujo.

Apagado de la corriente de soldeo en caso de falta de agua.

Control de otras funciones.

FIGURA 12.5 (B) (CONTINUACIÓN): COMPONENTES DEL EQUIPO DE CORRIENTE CONTINUA

### **12.3.2. Funciones**

#### ***Función de control de pendiente (electroslope)***

Algunos equipos poseen integrada una función de control de pendiente. Durante la pendiente positiva la corriente se incrementa paulatinamente en el momento de arranque. Esto da al soldador más tiempo para colocar el electrodo en la posición de soldeo. También reduce el riesgo de fusión del electrodo.

La función de pendiente negativa, conocida también como función de llenado del rechupe, permite una reducción gradual de la corriente al final de la soldadura. Esto evita la formación de defectos de soldeo causados por la aparición de rechupes que se podrían formar al final de la soldadura.

Si la máquina de soldeo tiene la función de control de pendiente tendrá 4 mandos de selección, que están indicados en la figura 12.6 con los números 1, 2, 4 y 5, ya que el 3 de intensidad de soldeo suele estar separado.

#### ***Temporización de post-flujo (postflow time) y pre-flujo (preflow time) de gas de protección***

Con objeto de mejorar la protección al inicio y final de la soldadura, se puede seleccionar el tiempo de salida de gas de protección antes de cebar el arco (preflow time), con esto se retira el aire que rodea el material base en la zona de cebado y se crea una atmósfera formada únicamente por gas de protección.

Más importante es la regulación del tiempo de salida de gas de protección después de la extinción del arco (postflow time); con ello se asegura que el material recién depositado esté perfectamente protegido hasta que se enfríe lo suficiente. También se evita la contaminación del electrodo de wolframio por oxidación de éste.

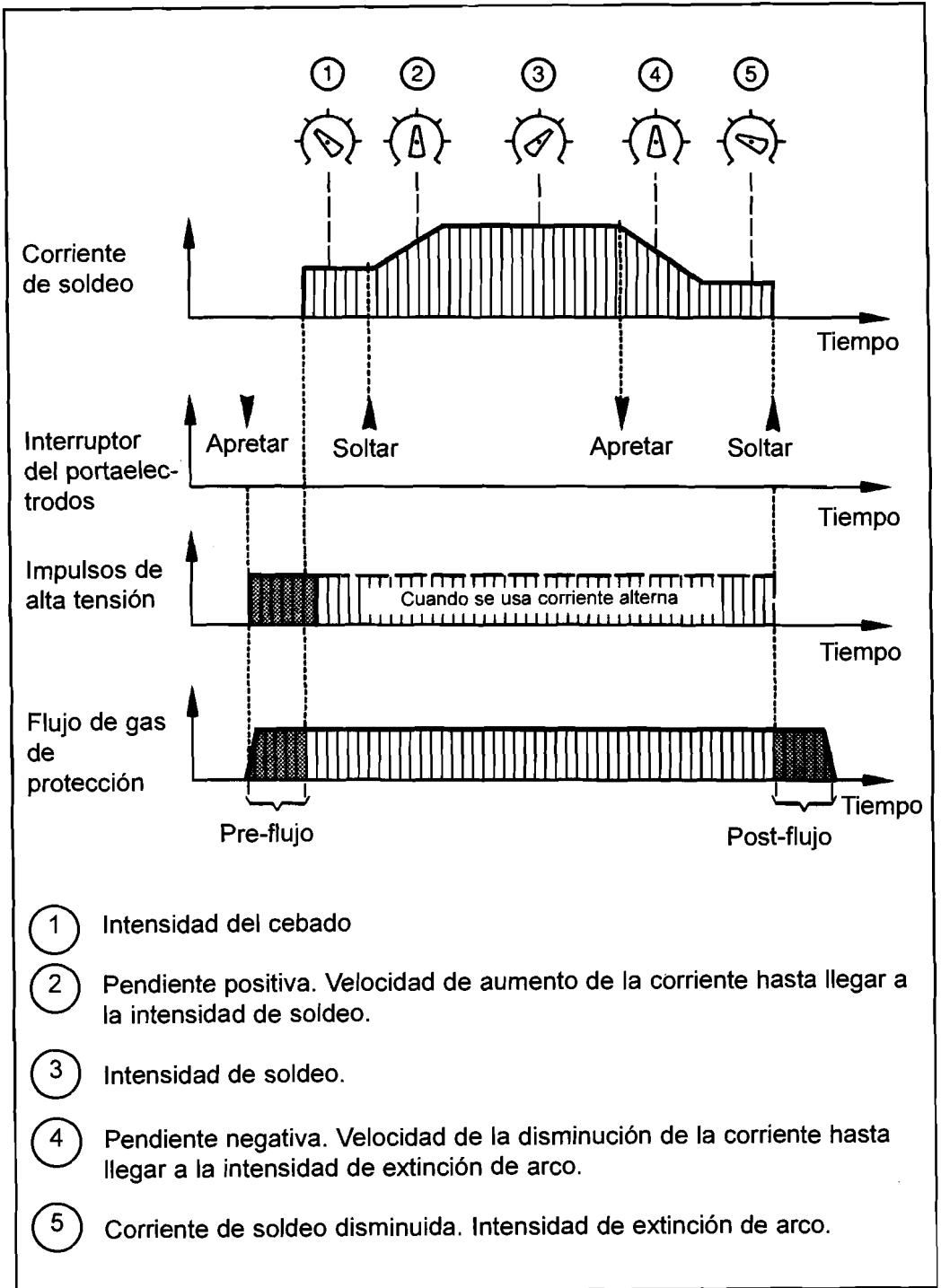


FIGURA 12.6: EQUIPO DE SOLDEO CON PROGRAMACIÓN DE LA CORRIENTE DE SOLDEO

Se ha representado este temporizador en la figura 12.6.

Si no existiera esta función será el soldador el que debe dejar salir el gas durante un cierto tiempo antes del inicio y después de la extinción del arco.

### ***Impulsos de alta frecuencia (High frequency)***

Se utiliza para mejorar la estabilidad del arco en corriente alterna o para facilitar el cebado tanto en cc como en ca. Se ha explicado en el apartado 12.2 de “selección del tipo de corriente”. Se puede seleccionar, desde el panel de control de la máquina, que actúe continuamente (continuous) o solamente cada vez que la corriente de soldeo pasa por cero (start).

### ***Control del balance de onda (AC balance)***

Se puede regular el tiempo de cada semionda cuando se utiliza corriente alterna con onda cuadrada, pudiendo elegirse si se desea que la semionda negativa dure más tiempo, consiguiendo mayor penetración (max penetration) o que la semionda positiva sea la más larga, consiguiéndose que el efecto de decapado o limpieza esté más acentuado (max cleaning). Esta función se utilizará, sobre todo, para el soldeo del aluminio y sus aleaciones.

### ***Función pulsatoria***

Si se quiere obtener un mayor control sobre el aporte de calor al metal base se puede utilizar TIG con arco pulsado, la explicación se puede ver en el apartado 12.8 “técnicas especiales”.

Las pulsaciones son variaciones de corriente entre dos valores previamente fijados.

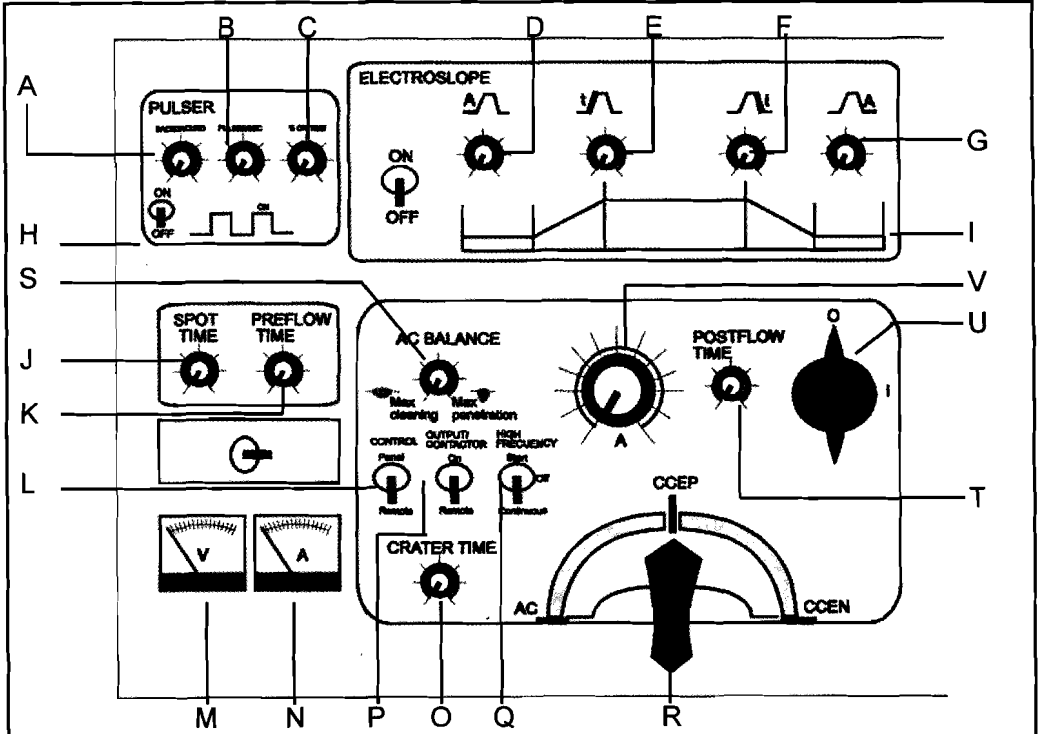
En el panel de control de la máquina se selecciona la corriente de fondo (background), el número de pulsos por segundo (pulses/sec) y el tiempo del pulso muchas veces en porcentaje respecto al ciclo de la onda (% on time).

La función pulsatoria puede estar integrada en la fuente de energía o generada desde una unidad independiente.

### ***Control remoto***

Se puede controlar la fuente de energía durante el soldeo con algún tipo de control remoto, por ejemplo activado con el pie. Este control remoto permite disminuir o aumentar gradualmente la intensidad de la corriente donde sea necesario, por ejemplo para el soldeo en posiciones múltiples (HL045).

En la figura 12.7 se representa un panel de control completo que puede encontrarse en una máquina de soldeo.



- A: Intensidad de fondo
- B: N° de pulsos por segundo
- C: Tiempo de pulso
- D: Intensidad de cebado de arco
- E: Tiempo de aumento de intensidad
- F: Tiempo de disminución de la intensidad
- G: Intensidad de extinción del arco
- H: Corriente pulsada
- I: Control de pendiente
- J: Control de soldeo por puntos
- K: Tiempo de preflujo
- L: Control remoto
- M: Voltímetro
- N: Amperímetro
- O: Tiempo de duración de la intensidad de extinción del arco
- P: Control de encendido en la pistola (remoto) en la máquina
- Q: Alta frecuencia
- R: Selección tipo de corriente
- S: Control de balance de la onda cuadrada
- T: Tiempo de postflujo
- U: Interruptor de encendido o apagado
- V: Intensidad de encendido

FIGURA 12.7: PANEL DE CONTROL DE UNA MÁQUINA TIG

## 12.3.3. Portaelectrodo

La figura 12.8 muestra varias configuraciones de los portaelectrodos, también denominados “sopletes” en el proceso TIG.

Tienen la misión de conducir la corriente y el gas de protección hasta la zona de soldeo. Pueden ser de refrigeración natural (por aire) o de refrigeración forzada (mediante circulación de agua, como se observa en la figura 12.3). Los primeros se emplean en el soldeo de espesores finos, que no requieren grandes intensidades, y los de refrigeración forzada se recomiendan para trabajos que exijan intensidades superiores a los 150–200 amperios. En estos casos la circulación de agua por el interior del portaelectrodos evita el sobrecalentamiento del mismo. A partir de 300 amperios en régimen discontinuo es necesario que también la boquilla esté refrigerada por agua.

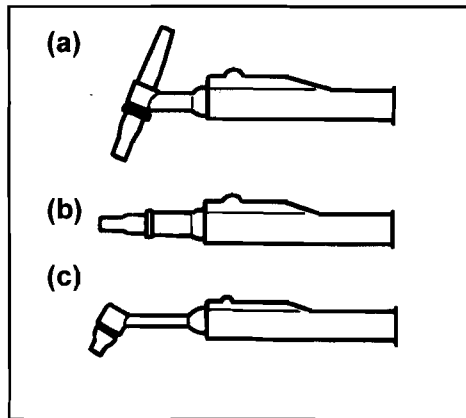


FIGURA 12.8: CONFIGURACIONES DEL PORTAELECTRODOS TIG. (A) NORMAL; (B) RECTA; (C) CORTA

El electrodo de wolframio que transporta la corriente hasta la zona de soldeo se sujeta rígidamente mediante una pinza alojada en el cuerpo del portaelectrodos. Cada portaelectrodos dispone de un juego de pinzas, de distintos tamaños, que permiten la sujeción de electrodos de diferentes diámetros.

El gas de protección llega hasta la zona de soldeo a través de una tobera de material cerámico, sujeta en la cabeza del portaelectrodos. La tobera tiene la misión de dirigir y distribuir el gas protector sobre la zona de soldeo. A fin de acomodarse a distintas exigencias de consumo, cada portaelectrodos va equipado con un juego de toberas de diferentes diámetros.

Hay que tener en cuenta que el electrodo de wolframio debe estar perfectamente centrado dentro de la tobera para que el chorro de gas inerte proteja bien el baño de



fusión y, también, en caso de tobera de cobre, no se produzca el arco doble, esto es, que el arco salte primero entre el electrodo y la tobera y después continúe entre ésta y el metal base.

En la figura 12.9 se da un esquema de un portaelectrodo seccionado.

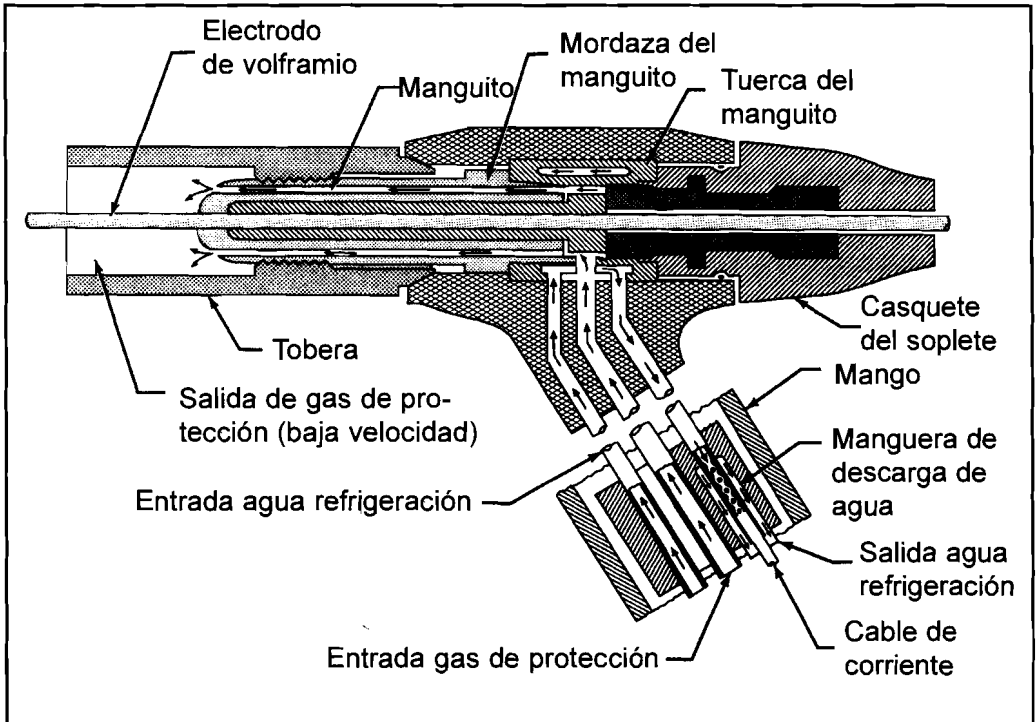


FIGURA 12.9: PORTAELECTRODO CON REFRIGERACIÓN POR AGUA PARA TIG

## 12.4. Electrodo No Consumibles

La misión del electrodo en este proceso es únicamente la de mantener el arco sin aportar material al baño de fusión. Por este motivo y para evitar su desgaste, es muy importante que posea una alta temperatura de fusión. Esta es la razón por la que, cuando se emplea c.c., el electrodo se suele conectar al polo negativo, pues el calor generado en el extremo es inferior y permanece más frío que si conectase al polo positivo.

En general, se emplean tres tipos diferentes de electrodos, que se clasifican en función de su composición en:

- Volframio puro.
- Volframio aleado con torio.
- Volframio aleado con circonio.

Al principio los electrodos fueron de volframio puro, pero posteriormente se pudo comprobar que al añadir a este metal óxidos de torio o de circonio aumenta la emisividad, incrementándose el flujo de electrones, favoreciéndose el encendido y reencendido del arco y, como consecuencia, su estabilidad.

Además, estos elementos permiten utilizar mayores intensidades de corriente, pues elevan el punto de utilización del electrodo. De esta forma se evita el fenómeno de desgaste del electrodo de volframio puro que, adicionalmente, contaminaría el baño de fusión.

Los diámetros disponibles son **1; 1,6; 2; 2,4; 3,2; 4; 4,8; 5 y 6,4 mm**, siendo los más empleados los señalados en negrita. La longitud estándar de estos electrodos es de 150 mm.

### 12.4.1. Simbolización

La siguiente información ha sido obtenida de la Norma UNE 14208 (EN 26848) y de la Norma AWS-A5.12.

La simbolización de los electrodos de volframio se basa en su composición según las indicaciones que figuran en la tabla 12.2, la primera letra caracteriza el componente principal, volframio. La segunda representa las adiciones de óxido, la letra elegida es la inicial del elemento que forma el óxido adicionado, el número corresponde al contenido medio de óxido multiplicado por diez.

Los electrodos deben marcarse de acuerdo con la tabla, según su composición, con un anillo en el caso de los electrodos normales y con dos anillos en el caso de los electrodos compuestos, el color del anillo será el indicado en la tabla y se situarán en uno de los extremos del electrodo. El ancho de cada anillo será igual o superior a 3 mm.

| Símbolo | Composición                     |             | Contenido de volframio mínimo | Color de Identificación (2) | Equivalencia con la simbolización AWS (3) |
|---------|---------------------------------|-------------|-------------------------------|-----------------------------|---|
|         | Óxido adicionado (1)            |             |                               |                             |   |
|         | Naturaleza del óxido adicionado | %           |                               |                             |   |
| WP      | --                              | --          | 99,8                          | verde                       | EWP                                       |
| WT4     | ThO <sub>2</sub>                | 0,35 a 0,55 | resto                         | azul                        | EWTh-3                                    |
| WT10    | ThO <sub>2</sub>                | 0,80 a 1,20 | resto                         | amarillo                    | EWTh-1                                    |
| WT20    | ThO <sub>2</sub>                | 1,70 a 2,20 | resto                         | rojo                        | EWTh-2                                    |
| WT30    | ThO <sub>2</sub>                | 2,80 a 3,20 | resto                         | violeta                     |   |
| WT40    | ThO <sub>2</sub>                | 3,80 a 4,20 | resto                         | naranja                     |   |
| WZ3     | ZrO <sub>2</sub>                | 0,15 a 0,50 | resto                         | marrón                      | EWZr-1                                    |
| WZ8     | ZrO <sub>2</sub>                | 0,70 a 0,90 | resto                         | blanco                      |   |
| WL10    | LaO <sub>2</sub>                | 0,90 a 1,20 | resto                         | negro                       | EWLa-1                                    |
| WL20    | CeO <sub>2</sub>                | 1,80 a 2,20 | resto                         | gris                        | EWCe-2 (Naranja)                          |

- (1) Los óxidos adicionados en general están finamente dispersos en la matriz de volframio, pero existen electrodos llamados compuestos que están formados por un alma de volframio puro con un revestimiento exterior de óxido. Estos electrodos reúnen las cualidades del volframio puro con las del volframio con adición de óxidos pero tiene el inconveniente de que no pueden tallarse los extremos cuando se precise.
- (2) Los electrodos compuestos se identifican con un segundo anillo de color rosa.
- (3) Se ha indicado la simbolización según AWS de los electrodos más usuales, el electrodo también está representado por una franja del mismo color y el porcentaje de óxido medio es el mismo.

TABLA 12.2: SIMBOLIZACIÓN DE ACUERDO CON UNE/EN Y AWS DE LOS ELECTRODOS DE VOLFRAMIO

### 12.4.2. Tipos

#### *Volframio puro*

Compuesto de volframio puro, cuyo punto de fusión es de 3.400 °C aproximadamente.

Es necesario que el extremo de electrodo sea redondeado.

Se utiliza fundamentalmente con corriente alterna en el soldeo del aluminio y sus aleaciones, ya que con corriente alterna los electrodos de wolframio puro mantienen la punta de electrodo en buenas condiciones y esto permite una buena estabilidad del arco. Pueden utilizarse con corriente continua pero los electrodos de wolframio puro no tienen la facilidad de cebado ni la estabilidad de los electrodos con torio en corriente continua.

### ***Volframio aleado con torio***

El punto de fusión de esta aleación es de 4.000 °C aproximadamente.

Es necesario que el extremo del electrodo sea afilado.

Se utiliza en el soldeo con **corriente continua** (c.c.) de aceros al carbono, baja aleación, inoxidable, cobre, titanio, etc; no se suelen utilizar en corriente alterna porque es difícil mantener la punta del electrodo en la forma adecuada con este tipo de corriente.

El precio de estos electrodos resulta de un 10 a un 15% superior a los de wolframio puro.

El contenido de torio conlleva a una mayor emisividad (incremento del flujo de electrones), mejor cebado, mayor resistencia a la contaminación y proporciona un arco más estable.

Electrodos de wolframio con óxidos de cerio o de lantano se pueden utilizar en los mismos casos que los electrodos con torio, con la ventaja de que ni el cerio ni el lantano son radiactivos mientras que el torio sí lo es.

### ***Volframio aleado con circonio***

El punto de fusión de esta aleación es de 3.800 °C aproximadamente.

Tiene unas características intermedias entre los electrodos de wolframio puro y los de wolframio con torio.

Se utilizan con **corriente alterna** (c.a.) y **corriente continua** (c.c.), pero son más usuales en corriente alterna ya que combinan las características de estabilidad del arco y punta adecuada típicas de los electrodos de wolframio puro, con la facilidad de cebado y la permisibilidad de mayores intensidades de los electrodos aleados con torio. Se utiliza en el soldeo de materiales ligeros como aluminio y magnesio.

### 12.4.3. Acabado del extremo

La forma del extremo del electrodo es muy importante pues, si no es la correcta, existe el riesgo de que el arco eléctrico sea inestable. En la figura 12.10 se muestra diferentes acabados del extremo del electrodo, indicándose las características peculiares de cada tipo.

En general, es preferible seleccionar un electrodo tan fino como sea posible, con objeto de concentrar el arco y obtener de este modo un baño de fusión reducido.

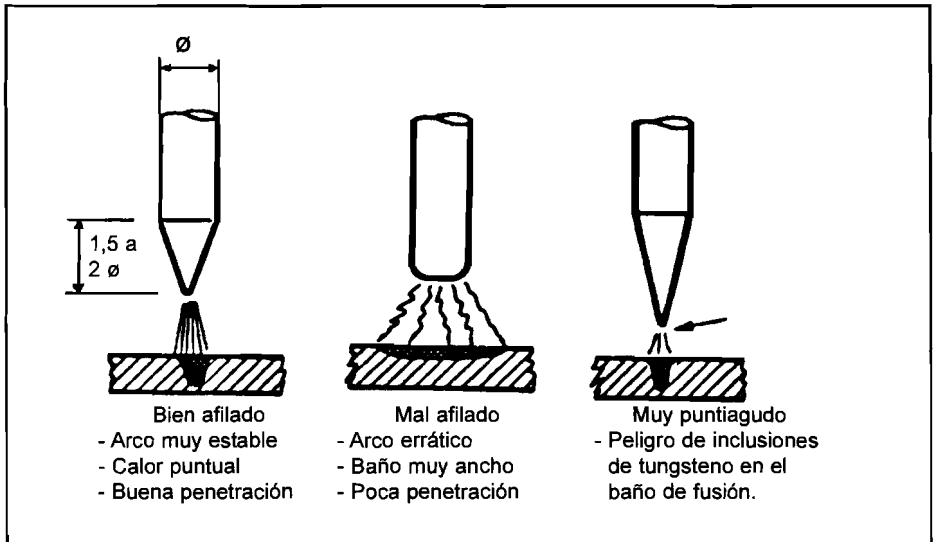


FIGURA 12.10: FORMAS DE ACABADOS DE LA PUNTA DEL ELECTRODO

En las figura 12.11 se muestran diferentes geometrías de la punta del electrodo:

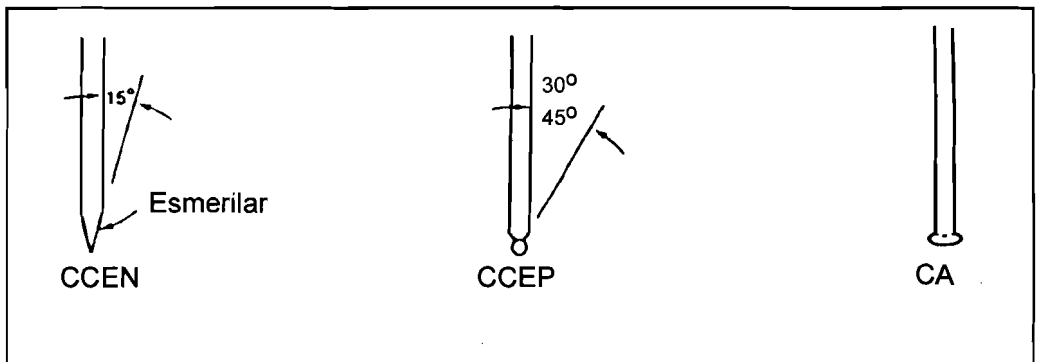


FIGURA 12.11: VARIACIONES DE LA GEOMETRÍA EN EL EXTREMO DE LOS ELECTRODOS

Los electrodos para soldeo con corriente continua deben tener punta. Es importante que el amolado se efectúe correctamente, éste debe hacerse en la dirección longitudinal del electrodo. Una longitud correcta de la punta del electrodo es dos veces el diámetro de éste. El extremo puntiagudo en exceso del electrodo debe ser eliminado con la piedra de amolar.

Cuando se utiliza el amolado para conseguir la geometría adecuada del electrodo, deberá realizarse con una rueda o cinta abrasiva de grano fino y que sólo se utilice para la preparación de electrodos de wolframio, evitándose de esta forma su contaminación. El amolado se deberá realizar de forma que el electrodo quede como indica la figura 12.12 evitando la preparación tachada con una cruz.

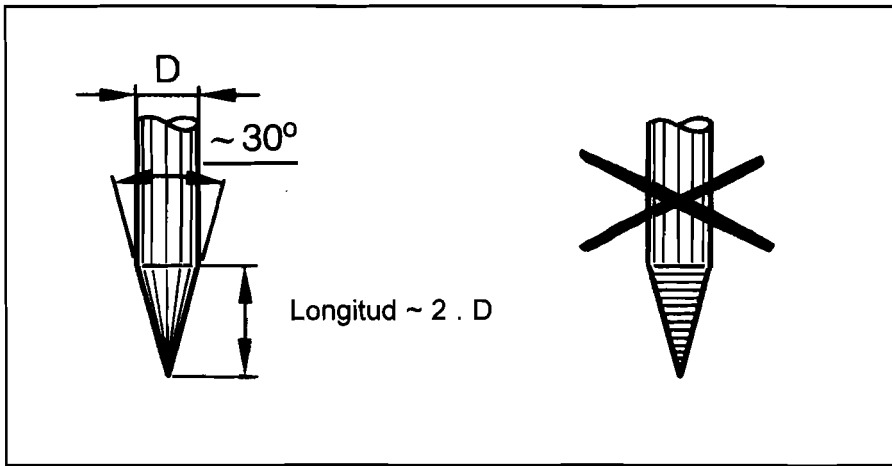


FIGURA 12.12: PREPARACIÓN ACONSEJABLE DE LA PUNTA DEL ELECTRODO PARA SOLDEO CON CORRIENTE CONTINUA

En el soldeo con corriente alterna el extremo de la punta debe estar ligeramente redondeado. La punta se redondea por sí sola si el electrodo es cuidadosamente sobrecargado, haciéndose innecesario amolarla.

Se puede conformar la punta adecuada del electrodo para corriente alterna, cebando antes del soldeo un arco sobre una placa de cobre refrigerada por agua empleando corriente continua polaridad inversa, cuando el electrodo empieza a fundirse se redondea su punta quedando con una geometría óptima para el soldeo en corriente alterna, ver figura 12.13.

La tabla 12.3 resume el tipo de corriente a utilizar, la geometría del extremo y la aplicación de los diferentes electrodos de wolframio.

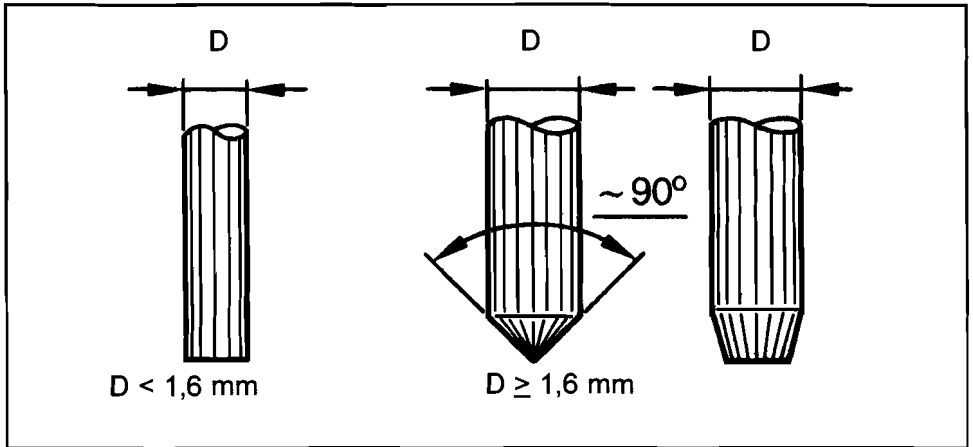


FIGURA 12.13: PREPARACIÓN ACONSEJABLE DE LA PUNTA DEL ELECTRODO PARA SOLDEO CON CORRIENTE ALTERNA

| Tipo de electrodo                                       | Tipo de corriente con la que se utiliza | Aplicación común   | Geometría del extremo del electrodo     |
|---|---|--|---|
| Volframio puro  | c.a.                                    | Aluminio y magnesio  | Redondeada                              |
| Volframio con torio o volframio con cerio o con lantano | c.c.                                    | Aceros al carbono, baja aleación, inoxidable, cobre, titanio | Afilado                                 |
| Volframio con circonio                                  | c.a. (generalmente)<br>c.c.             | Aluminio y magnesio con c.a. Aceros, cobre, titanio con c.c. | Redondeada con c.a.<br>Afilada con c.c. |

TABLA 12.3: ELECTRODOS DE VOLFRAMIO. GEOMETRÍA, TIPO DE CORRIENTE Y APLICACIONES

#### 12.4.4. Contaminación del electrodo

En la tabla 12.4 se resumen las causas que pueden provocar la contaminación y sus soluciones.

| Tipo de contaminación del electrodo                         | Causa de la contaminación   | Soluciones  |
|---|---|---|
| Por el metal de soldadura o el metal de aportación fundidos | Contacto entre el electrodo y la varilla durante el soldeo, o al introducir el electrodo en el baño de fusión | Utilizar una buena técnica de soldeo evitando este tipo de contacto                       |
| Por el aire   | Longitud libre del electrodo de wolframio fuera de la boquilla demasiado larga                                | Utilizar una longitud máxima del electrodo igual al diámetro de la boquilla               |
|   | Caudal de gas de protección insuficiente  | No utilizar menos caudal que el recomendado   |
|   | Tiempo de salida de postflujos de gas de protección insuficiente  | El tiempo de postflujos deberá ser el suficiente para permitir que el electrodo se enfríe |
| Por agua  | Fugas en la refrigeración   | Eliminar las fugas  |
|   | Condensación del agua atmosférica en la tobera  | Utilizar agua templada  |

TABLA 12.4: CONTAMINACIÓN DEL ELECTRODO

## 12.4.5. Intensidades admisibles

En la tabla 12.5 se indican las intensidades admisibles en función del tipo de corriente y del diámetro del electrodo.

Si la intensidad de corriente es baja para el diámetro del electrodo, el arco es errático e inestable. Si, por el contrario, la intensidad de corriente es demasiado elevada, se produce un calentamiento excesivo con fusión del electrodo y pueden caer gotas de wolframio en la soldadura. El arco se vuelve inestable.



| Diámetro del electrodo (mm) | Corriente continua (A) |                      |                        |                      | Corriente alterna (A) |                      |
|-----------------------------|------------------------|----------------------|------------------------|----------------------|-----------------------|----------------------|
|                             | Electrodo negativo (-) |                      | Electrodo positivo (+) |                      | Volframio puro        | Volframio con óxidos |
|                             | Volframio puro         | Volframio con óxidos | Volframio puro         | Volframio con óxidos |                       |                      |
| 1,6                         | 40 a 130               | 60 a 150             | 10 a 20                | 10 a 20              | 45 a 90               | 60 a 125             |
| 2                           | 75 a 180               | 100 a 200            | 15 a 25                | 15 a 25              | 65 a 125              | 85 a 160             |
| 2,5                         | 130 a 230              | 170 a 250            | 17 a 30                | 17 a 30              | 80 a 140              | 120 a 210            |
| 3,2                         | 160 a 310              | 225 a 330            | 20 a 35                | 20 a 35              | 150 a 190             | 150 a 250            |

TABLA 12.5: INTENSIDADES ADMISIBLES PARA CADA ELECTRODO

## 12.5. Metales de Aportación

### 12.5.1. Varillas

El metal de aportación en el soldeo TIG no es siempre necesario cuando se sueldan piezas delgadas (de menos de 3 mm de espesor) utilizando una preparación de bordes recta o con bordes levantados. Cuando es necesario emplear material de aportación, éste puede alimentarse manual o automáticamente.

Con la finalidad de obtener uniones sin defectos, es muy importante que el metal de aportación se mantenga libre de contaminaciones ya sea en forma de humedad, polvo o suciedad. Debe por tanto mantenerse en su paquete hasta el momento de ser utilizado. Durante el soldeo es importante que la parte caliente de la varilla esté siempre lo suficientemente cerca del baño de fusión como para que lo cubra el gas de protección.

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

Normalmente, se presentan en forma de varillas de distintos diámetros: 1,1; 1,6; 2; 2,4; 3,2; 4 y 4,8 mm, con una longitud de 900 mm.

### 12.5.2. Insertos consumibles

Los insertos consumibles se utilizan para las pasadas de raíz realizadas desde un sólo lado, donde se requiera alta calidad de la soldadura con el mínimo de reparaciones, así como cuando el soldeo se deba realizar en zonas de difícil accesibilidad. Son muy empleados en tubería para asegurar la penetración, aunque también se emplean en depósitos a presión y en estructuras.

El diseño de la unión deberá ser compatible con la forma del inserto para conseguir soldaduras de alta calidad.

En la figura 12.14 (A) se indican las formas de los insertos consumibles más comunes y su disposición.

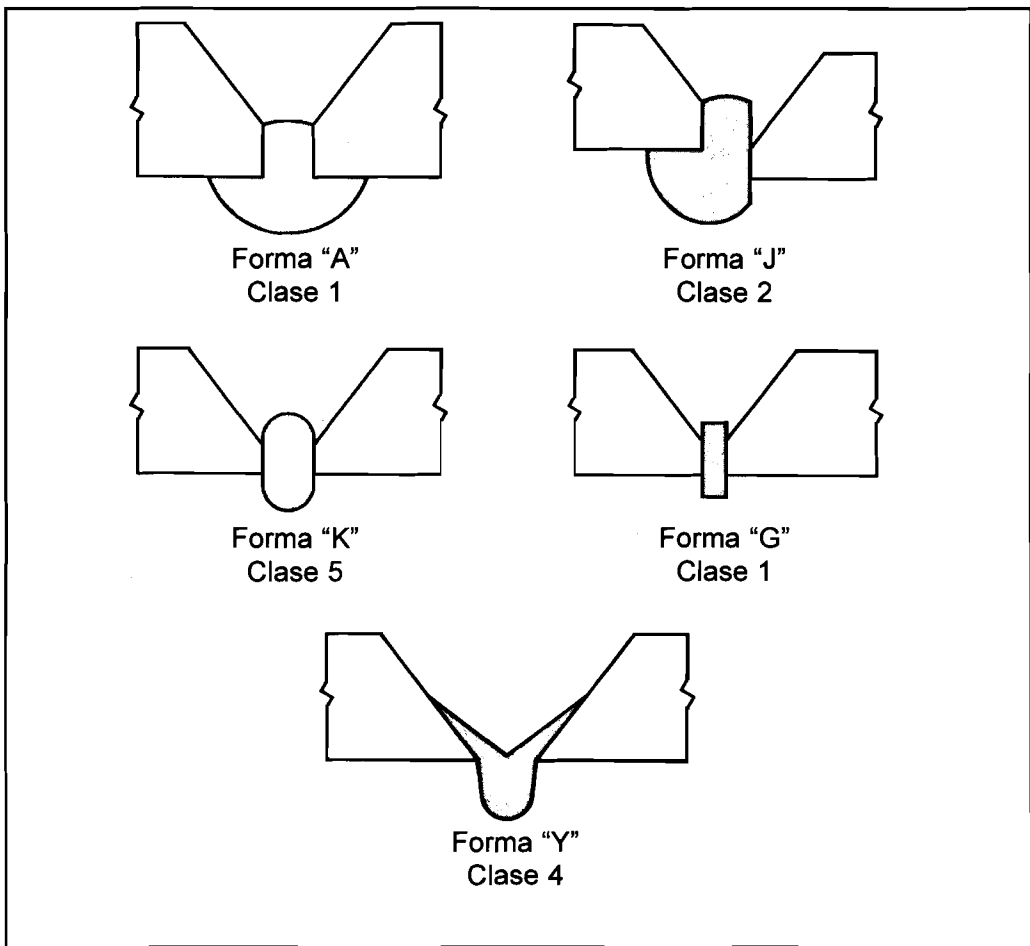


FIGURA 12.14 (A): INSERTOS CONSUMIBLES MÁS COMUNES



