

# Soldeo por Arco con Electrodos Revestidos

## INDICE

---

10.1. Principios del proceso .....	193
10.1.1. Descripción y denominaciones.....	193
10.1.2. Ventajas y limitaciones.....	194
10.1.3. Aplicaciones .....	195
10.2. Selección del tipo de corriente.....	195
10.3. Equipo de soldeo.....	198
10.3.1. Fuente de energía .....	198
10.3.2. Portaelectrodo.....	199
10.3.3. Conexión de masa .....	199
10.4. Electrodos revestidos .....	199
10.5. Tipos de revestimiento .....	202
10.5.1. Revestimientos de los electrodos de acero al carbono.....	203
10.5.2. Revestimiento de los electrodos de aceros aleados y materiales no férreos.....	206

## ***Soldeo por Arco con Electrodo Revestidos*** ---

10.5.3. Electrodo con polvo de hierro en el revestimiento.....	206
10.6. Manipulación y conservación de los electrodos .....	207
10.7. Parámetros de soldeo .....	209
10.7.1. Diámetro del electrodo .....	209
10.7.2. Intensidad de soldeo .....	211
10.7.3. Longitud del arco .....	212
10.7.4. Velocidad de desplazamiento .....	215
10.7.5. Orientación del electrodo .....	215
10.8. Técnicas operativas .....	216
10.8.1. Punteado .....	216
10.8.2. Inspección antes de soldar.....	217
10.8.3. Establecimiento o cebado del arco.....	217
10.8.4. Observación del baño de fusión .....	219
10.8.5. Ejecución del soldeo.....	220
10.8.6. Interrupción del arco de soldeo.....	220
10.8.7. Empalmes de los cordones de soldadura .....	221
10.8.8. Retirada de la escoria .....	222
10.8.9. Soplo del arco.....	223
10.9. Defectos típicos en las soldaduras .....	224

## 10.1. Principios del Proceso

### 10.1.1. Descripción y denominaciones

El soldeo por arco con electrodo revestido es un proceso en el que la fusión del metal se produce gracias al calor generado por un arco eléctrico establecido entre el extremo de un electrodo revestido y el metal base de una unión a soldar.

El material de aportación se obtiene por la fusión del electrodo en forma de pequeñas gotas (ver figura 10.1). La protección se obtiene por la descomposición del revestimiento en forma de gases y en forma de escoria líquida que flota sobre el baño de fusión y, posteriormente, solidifica.

Al soldeo por arco con electrodo revestido se le conoce por las siguientes denominaciones:

- SMAW, Shielded metal-arc welding (ANSI/AWS A3.0)
- 111, Soldeo metálico por arco con electrodo revestido (UNE-EN ISO 4063)
- MMAW, Manual metal-arc welding (Reino Unido).

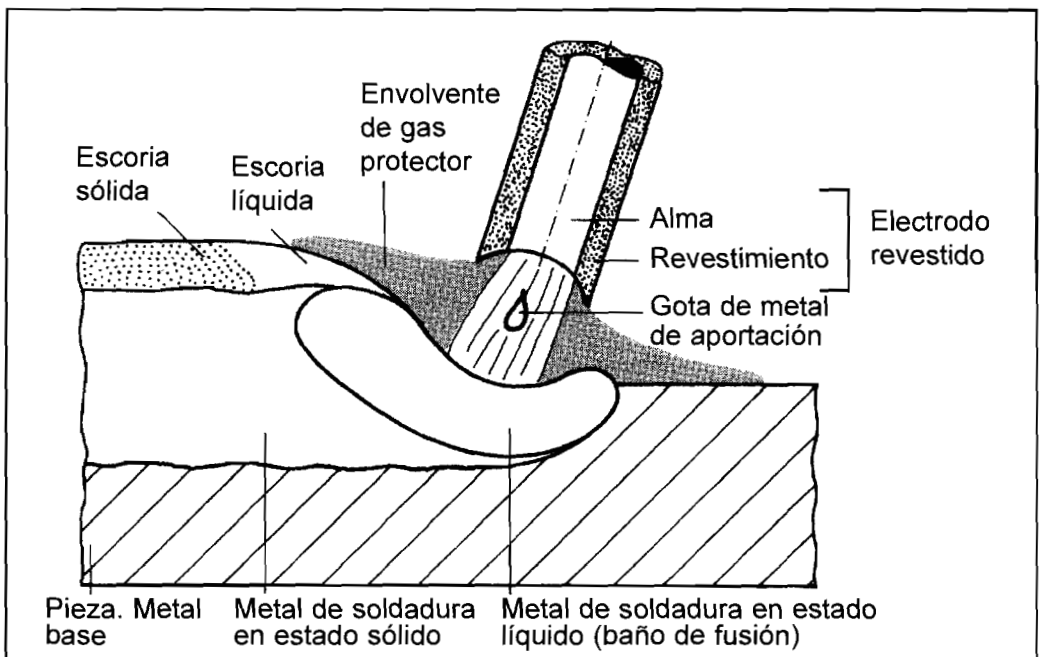


FIGURA 10.1: DESCRIPCIÓN DEL PROCESO

## **10.1.2. Ventajas y limitaciones**

### *Ventajas*

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

### *Limitaciones*

- Es un proceso lento, por la baja tasa de deposición y por la necesidad de retirar la escoria, por lo que en determinadas aplicaciones ha sido desplazado por otros procesos.
- Requiere gran habilidad por parte del soldador.
- No es aplicable a metales de bajo punto de fusión como plomo, estaño, cinc y sus aleaciones, debido a que el intenso calor del arco es excesivo para ellos. Tampoco es aplicable a metales de alta sensibilidad a la oxidación como el titanio, circonio, tántalo y niobio, ya que la protección que proporciona es insuficiente para evitar la contaminación por oxígeno de la soldadura.
- No es aplicable a espesores inferiores a 1,5-2 mm.
- La tasa de deposición es inferior a la obtenida por los procesos que utilizan electrodo continuo, como FCAW o GMAW. Esto se debe a que el electrodo solo puede consumirse hasta una longitud mínima (unos 5 cm),

=====

## FE DE ERRATAS

En el apartado 10.2. del capítulo 10 (página 195), el último párrafo dice “...sin embargo se recuerda que se obtiene mayor penetración con polaridad directa”

y debe decir

“...sin embargo se recuerda que se obtiene mayor penetración con polaridad inversa”

=====

cuando se llega a dicha longitud el soldador tiene que retirar la colilla del electrodo no consumida e insertar un nuevo electrodo.

- Aunque en teoría se puede soldar cualquier espesor por encima de 1,5 mm, el proceso no resulta productivo para espesores mayores de 38 mm. Para estos espesores resultan más adecuados los procesos SAW y FCAW.

### **10.1.3 Aplicaciones**

El soldeo por arco con electodos revestidos es uno de los procesos de mayor utilización, especialmente en soldaduras de producción cortas, trabajos de mantenimiento y reparación, así como en construcciones en campo.

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

El proceso es aplicable a aceros al carbono, aceros aleados, inoxidables, fundiciones y metales no férreos como aluminio, cobre, níquel y sus aleaciones.

Los sectores de mayor aplicación son la construcción naval, de máquinas, estructuras, tanques y esferas de almacenamiento, puentes, recipientes a presión y calderas, refinerías de petróleo, oleoductos y gaseoductos y en cualquier otro tipo de trabajo similar.

Se puede emplear en combinación con otros procesos de soldeo, realizando bien la pasada de raíz o las de relleno, en tubería se suele emplear en combinación con el proceso TIG. La raíz se realiza con TIG completándose la unión mediante soldeo SMAW.

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

El soldeo por arco con electodos revestidos se puede realizar tanto con corriente alterna como con corriente continua, la elección dependerá del tipo de fuente de energía disponible, del electrodo a utilizar y del material base. En la tabla 10.1 se indica la corriente más adecuada en función de una serie de parámetros.

En cuanto a la polaridad utilizada con corriente continua depende del material a soldar y del electrodo empleado, sin embargo se recuerda que se obtiene mayor penetración con polaridad directa. (Ver figura 10.2).

## Soldeo por Arco con Electrodo Revestidos

Parámetros	Corriente continua	Corriente alterna
Soldeo a gran distancia de la fuente de energía.		Preferible
Soldeo con electrodos de pequeño diámetro que requieren bajas intensidades de soldeo	La operación resulta más fácil	Si no se actúa con gran precaución, se puede deteriorar el material debido a la dificultad de encendido de arco
Cebado del arco	Resulta más fácil	Más difícil en especial cuando se emplean electrodos de pequeño diámetro
Mantenimiento del arco	Más fácil por la mayor estabilidad	Más difícil, excepto cuando se emplean electrodos de gran rendimiento
Soplo magnético	Puede resultar un problema en el soldeo de materiales ferromagnéticos	No se presentan problemas
Posiciones de soldeo	Se prefiere en el soldeo en posiciones vertical y bajo techo porque deben utilizarse intensidades bajas	Si se utilizan los electrodos adecuados, se pueden realizar soldaduras en cualquier posición
Tipo de electrodo	Se puede emplear con cualquier tipo de electrodo	No se puede utilizar con todos los electrodos. El revestimiento debe contener sustancias que reestablezcan el arco
Espesor de la pieza	Se prefiere para espesores delgados	Se prefiere para espesores gruesos ya que se puede utilizar un electrodo de mayor diámetro y mayor intensidad, con lo que se consiguen mayores rendimientos

TABLA 10.1: COMPARACIÓN ENTRE CORRIENTE CONTINUA Y CORRIENTE ALTERNA

Parámetros	Corriente continua	Corriente alterna
Salpicaduras	Poco frecuentes	Más frecuentes
Soldeo utilizando longitudes de arco pequeñas (importante en algún tipo de electrodos sobre todo los de tipo básico)	El soldeo resulta más fácil	
Polaridad	Posibilidad de elección de la polaridad en función del metal a soldar y electrodo a emplear	No hay polaridades

TABLA 10.1 (CONTINUACIÓN): COMPARACIÓN ENTRE CORRIENTE CONTINUA Y CORRIENTE ALTERNA

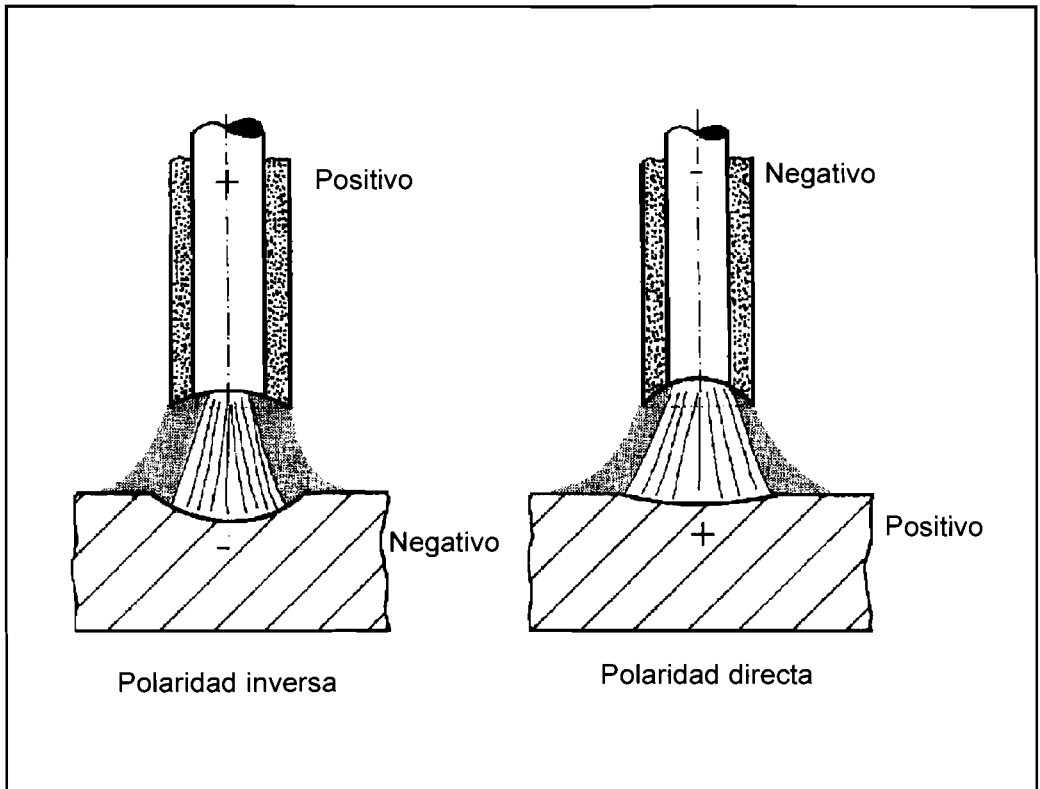


FIGURA 10.2: PENETRACIÓN OBTENIDA EN FUNCIÓN DE LA POLARIDAD



### 10.3. Equipo de soldeo

El equipo de soldeo es muy sencillo (ver figura 10.3); consiste en la fuente de energía, el portaelectrodo, la conexión de masa y los cables de soldeo.

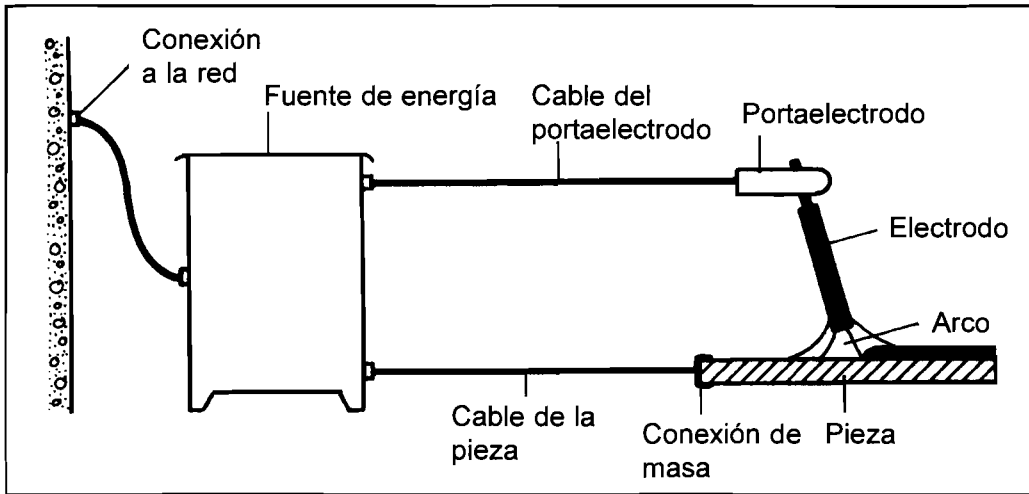


FIGURA 10.3: EQUIPO DE SOLDEO

#### 10.3.1. Fuente de energía

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

Para el soldeo en corriente continua se utilizarán transformadores-rectificadores o generadores, para el soldeo en corriente alterna se utilizan transformadores.

Para la selección de la fuente de energía adecuada se deberá tener en cuenta el electrodo que se va a emplear, de forma que pueda suministrar el tipo de corriente (cc o ca), rango de intensidades y tensión de vacío que se requiera.

Los electrodos básicos necesitan mayores tensiones de vacío en comparación con los electrodos de tipos rutilo y ácido.

Salvo para algunos tipos específicos, los electrodos básicos requieren corriente continua, mientras que los de los demás tipos de revestimiento pueden ser empleados indistintamente con corriente continua o alterna.

### 10.3.2. Portaelectrodo

Tiene la misión de conducir la electricidad al electrodo y sujetarle. Para evitar un sobrecalentamiento en las mordazas, éstas deben mantenerse en perfecto estado; un sobrecalentamiento se traduciría en una disminución de la calidad y dificulta la ejecución del soldeo. Se debe seleccionar siempre el portaelectrodo adecuado para el diámetro de electrodo que se vaya a utilizar.

En la figura 10.4 se representa un portaelectrodo típico.

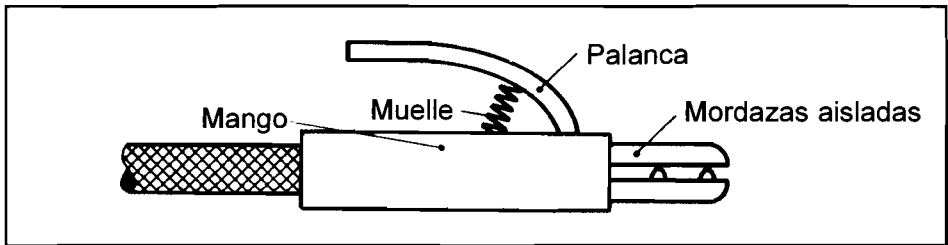


FIGURA 10.4: PORTAELECTRODO

### 10.3.3. Conexión de masa

La conexión correcta del cable de masa es una consideración de importancia. La situación del cable es de especial relevancia en el soldeo con cc. Una situación incorrecta puede provocar el sopló magnético, dificultando el control del arco. Más aún, el método de sujetar el cable también es importante. Un cable mal sujeto no proporcionará un contacto eléctrico consistente y la conexión se calentará, pudiendo producirse una interrupción en el circuito y la desaparición del arco. El mejor método es emplear una zapata de contacto de cobre sujeta con una mordaza tipo C. Si fuese perjudicial la contaminación por cobre del metal base con este dispositivo, la zapata de cobre debe adherirse a una chapa que sea compatible con la pieza, chapa que, a su vez, se sujeta a la pieza. Para piezas giratorias, el contacto debe efectuarse mediante zapatas que deslizan sobre la pieza o mediante rodamientos en el eje sobre el que la pieza va montada. Cuando se emplean zapatas deslizantes se deben colocar dos como mínimo, ya que si se produjese la pérdida de contacto en una de ellas el arco se extinguiría.

## 10.4. Electrodo Revestidos

El elemento fundamental de este proceso es el electrodo, que establece el arco, protege el baño de fusión y que, al consumirse, produce la **aportación del material**

## Soldeo por Arco con Electrodo Revestidos

que, unido al material fundido del metal base, va a constituir la soldadura.

Los **electrodos revestidos** están formados por: (ver figura 10.5)

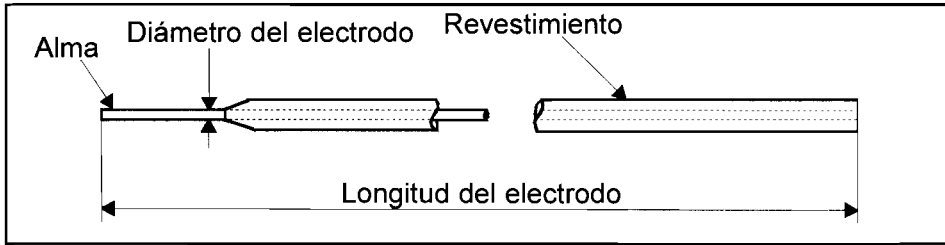


FIGURA 10.5: ELECTRODO REVESTIDO

- Un alambre de sección circular uniforme, denominado **alma**, de composición normalmente similar a la del metal base.
- El **revestimiento** que es un *cilindro* que envuelve el alma, concéntrico con ella y de espesor uniforme, constituido por una mezcla de compuestos que caracterizan el electrodo y que cumple varias funciones, las cuales evitan los inconvenientes del electrodo desnudo. En la figura 10.6 se indican las funciones más importantes del revestimiento y se compara el comportamiento del electrodo revestido frente al desnudo.

Los electrodos tienen **longitudes normalizadas** de 150, 200, **250, 300, 350 y 450** mm, en función del diámetro del electrodo. Un **extremo** del alma está sin cubrir de revestimiento, en una longitud de 20 a 30 mm., para la inserción del mismo en la pinza del portaelectrodo. Los diámetros de los electrodos también están normalizados, siendo los más comunes los de **1,6; 2; 2,5; 3,25; 4; 5; 6; 6,3; 8; 10; 12,5** mm (diámetro del alma). Tanto en la longitud como en el diámetro se ha señalado con **negrita** los más comunes.

Atendiendo al **espesor** del revestimiento, o a la relación entre el diámetro del alma y el del revestimiento (ver figura 10.7), los electrodos se clasifican en:

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

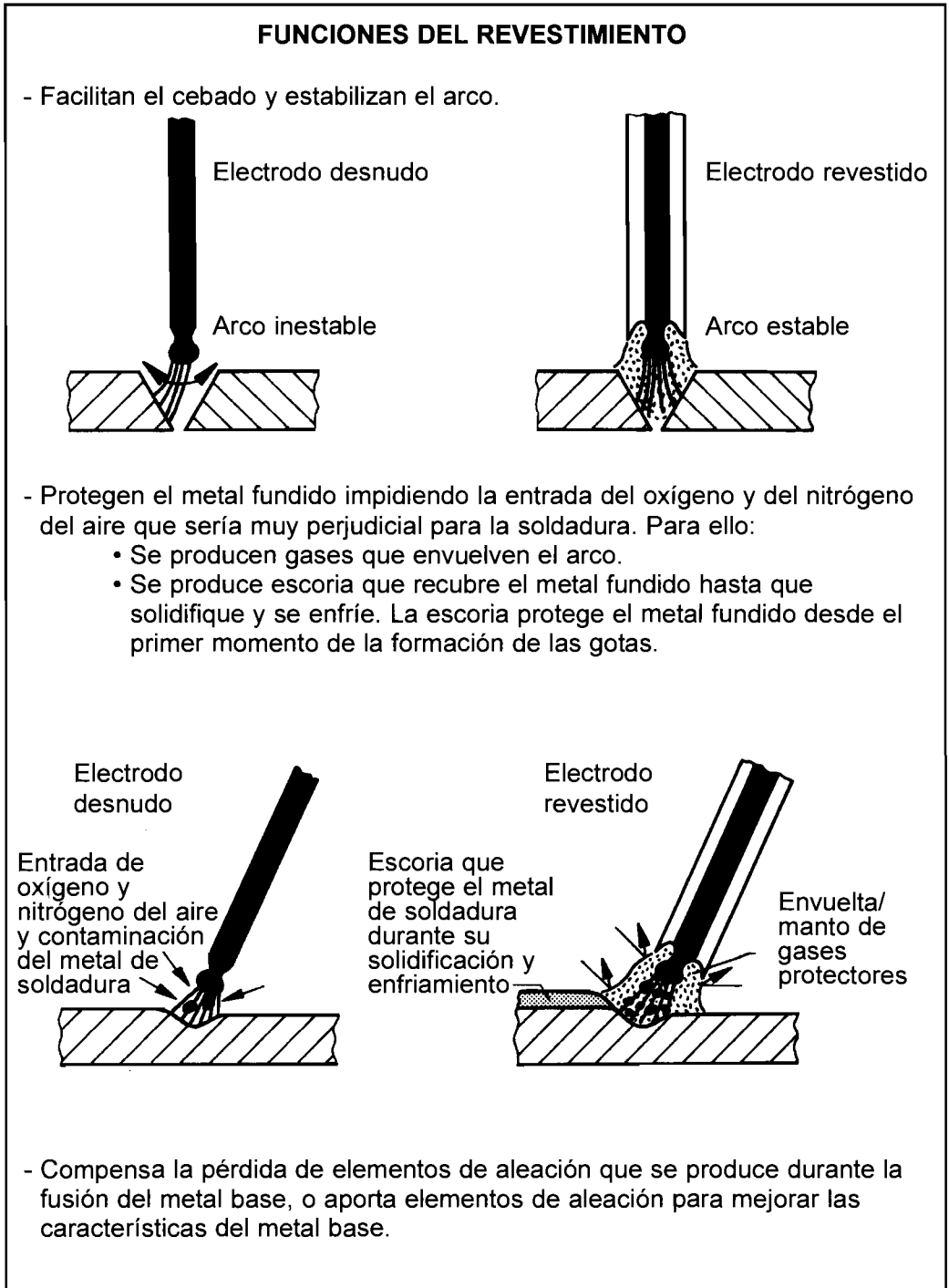


FIGURA 10.6: FUNCIONES DEL REVESTIMIENTO DEL ELECTRODO

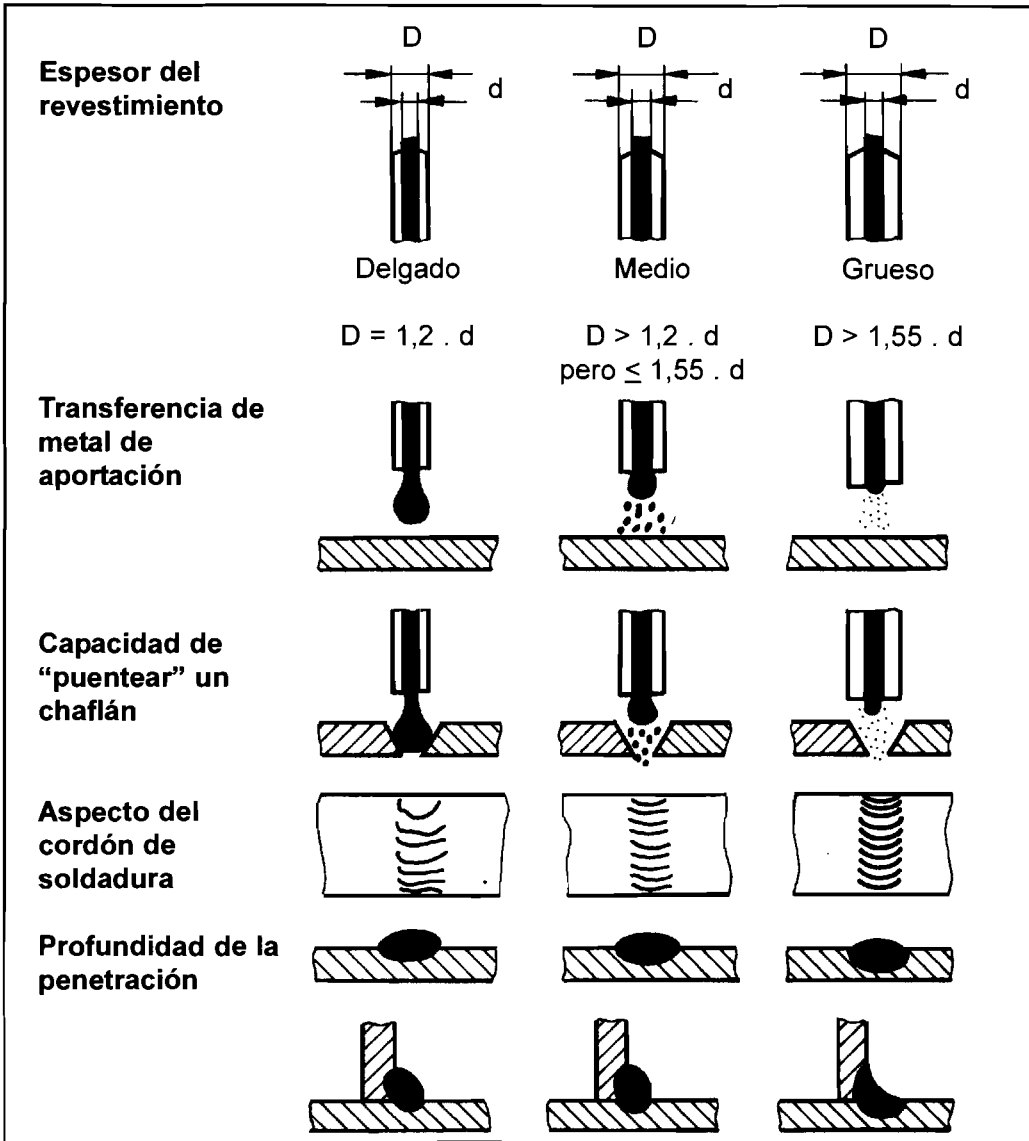


FIGURA 10.7: CLASIFICACIÓN Y CARACTERÍSTICAS DE LOS ELECTRODOS EN FUNCIÓN DEL ESPESOR DEL REVESTIMIENTO

## 10.5. Tipos de Revestimiento

Se indicarán primero los tipos de revestimiento que se pueden encontrar en los electrodos de acero al carbono, luego los revestimientos más comunes en los aceros aleados y aleaciones no férrreas.

### 10.5.1. Revestimientos de los electrodos de acero al carbono

El revestimiento se clasifica en función de su composición que determinará sus cualidades y aplicaciones, agrupándose y designándose como sigue (según UNE-EN 287-1):

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

En las siguientes tablas se indica la composición, características y aplicaciones de los revestimientos más utilizados.

#### Electrodos ácidos (A)

**Composición del revestimiento:** Óxidos de hierro y manganeso.

**Características de la escoria:** Bastante fluida, de aspecto poroso y abundante.

**Ventajas:** La velocidad de fusión es bastante elevada, así como la penetración. Se puede utilizar con intensidades elevadas.

**Limitaciones:** Sólo se puede utilizar con metales base con buena soldabilidad, contenidos muy bajos de azufre, fósforo y carbono, de lo contrario puede presentarse fisuración en caliente ya que los componentes del revestimiento no son capaces de extraer el azufre y el fósforo como puede hacerlo los revestimientos básicos.

**Posición:** Especialmente indicados para posición plana, pero pueden utilizarse también en otras posiciones.

**Tipo de corriente:** c.c y c.a.

**Electrodos de rutilo (R)**

**Composición del revestimiento:** Rutilo (óxidos de titanio).

**Características de la escoria:** Es muy densa y viscosa

**Ventajas:** Fácil cebado y manejo del arco. Fusión del electrodo suave. Cordón de soldadura muy regular y de buen aspecto.

**Posición:** Todas. Especialmente adecuado para soldar en posición vertical y bajo techo gracias a las características de su escoria.

**Aplicaciones:** Es el electrodo más comunmente utilizado.

**Tipo de corriente:** c.a y c.c.

**Electrodos rutilo-ácido (RA)**

**Composición del revestimiento:** Óxido de hierro o de manganeso y rutilo (óxido de titanio)

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

**Electrodos de tipo rutilo grueso (RR)**

Igual que los de rutilo pero con revestimiento más grueso.

**Electrodos básicos (B)**

**Composición del revestimiento:** Carbonato cálcico y otros carbonatos también básicos.

**Características de la escoria:** es densa, no muy abundante, de color pardo oscuro y brillante, se separa fácilmente y asciende con facilidad por lo que se reduce el riesgo de inclusiones de escoria.

**Ventajas:** Metal de soldadura muy resistente a la fisuración en caliente. Son de bajo contenido en hidrógeno (el metal depositado tendrá bajo contenido en hidrógeno) lo que reduce la fisuración en frío.

**Electrodos básicos (B) (continuación)**

**Limitaciones:** Su manejo es algo dificultoso, debiéndose emplear con un arco muy corto y con intensidades poco altas.

Son muy higroscópicos (absorben humedad con gran facilidad), por lo que es necesario mantenerlos en paquetes herméticamente cerrados y conservados en recintos adecuados para mantenerlos perfectamente secos. A veces se deben secar en estufas adecuadas justo antes de su empleo, extremando las precauciones cuando vayan a ser utilizados en soldadura de aceros con problemas de temple.

**Aplicaciones:** Soldaduras de responsabilidad. Su gran tenacidad los hace recomendables para soldar grandes espesores y estructuras muy rígidas. Aceros débilmente aleados e incluso aceros que presentan baja soldabilidad

**Posición:** Todas las posiciones

**Tipo de corriente:** Corriente continua y polaridad inversa, aunque hay algún tipo de electrodo preparado para ser empleado también con corriente alterna.

**Electrodos celulósicos (C)**

**Composición del revestimiento:** Sustancias orgánicas que generan gran cantidad de gases por el calor.

**Características de la escoria:** La escoria que producen es escasa y se separa con gran facilidad.

**Ventajas:** Los gases forman una gran envoltura gaseosa en torno al arco e imprimen a las gotas metálicas gran velocidad, por lo cual se consigue gran penetración. Gran velocidad de fusión.

**Limitaciones:** Muchas proyecciones. Superficie de la soldadura muy irregular.

**Posición:** Todas.

**Aplicaciones:** Se emplean principalmente para el soldeo de tuberías en vertical descendente, por la buena penetración que consiguen y por la rapidez del trabajo, debida a su alta velocidad de fusión.

**Tipo de corriente:** Corriente continua y polaridad directa. Para utilizarlos con corriente alterna se necesita emplear una máquina con tensión de vacío muy elevada.



**Otros (S)**

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

### **10.5.2. Revestimientos de los electrodos de aceros aleados y materiales no féreos**

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

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

### **10.5.3. Electrodo con polvo de hierro en el revestimiento**

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

Uno de los elementos que se agregan al revestimiento de los electrodos de acero (al carbono, de baja aleación, inoxidables y de alta aleación) es el polvo de hierro (ver figura 10.8), que permite aumentar la cantidad de metal depositado y mejorar el comportamiento del arco.

***Ventajas:***

- El arco es más estable.
- Se requiere menor destreza para utilizarlo correctamente, ya que el crisol formado en el extremo del electrodo es mayor y puede arrastrarse a lo largo de la superficie de la pieza manteniéndose el arco de soldeo. A los electrodos con polvo de hierro se les denomina “electrodos de arrastre”, por poder utilizar esta técnica.

- Aumenta la cantidad de metal depositado para un determinado diámetro del alma, ya que se aporta también el hierro procedente del revestimiento. De esta forma aumenta la tasa de deposición (peso de material depositado por unidad de tiempo) y la velocidad de soldeo.

### ***Limitaciones:***

- Solo se pueden emplear en posición plana.

El **rendimiento gravimétrico** de un electrodo es la relación entre el metal depositado durante el soldeo y el peso del alma de los electrodos empleados, multiplicado por cien para determinarlo en tanto por cien.

$$\text{Rendimiento gravimétrico en \%} = \frac{\text{Peso del metal depositado}}{\text{Peso del alma}} \times 100$$

### ***Electrodos de gran rendimiento***

Cualesquiera que sean las características del electrodo, y siempre que su rendimiento gravimétrico sea superior al 110%, el electrodo se denomina de gran rendimiento.

## **10.6. Conservación y Manipulación de los Electrodo**

El revestimiento del electrodo es muy frágil, si se emplean electrodos con el revestimiento agrietado, o desprendido, la protección del baño de fusión no será perfecta, además disminuirá la estabilidad del arco; por tanto se deben transportar y almacenar en recipientes suficientemente resistentes evitando cualquier golpe en su manipulación. No se deben utilizar los electrodos que presenten algún defecto en su revestimiento.

Nunca se deberá transportar un número de electrodos mayor que el que se considere va a ser necesario para una tarea determinada.

Manipular los electrodos con guantes limpios y secos. No exponer los electrodos a ambientes excesivamente húmedos ni depositarlos sobre superficies manchadas de grasa, polvo, pintura o suciedad.


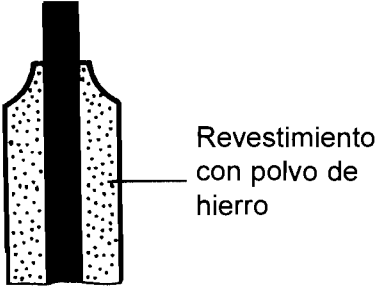
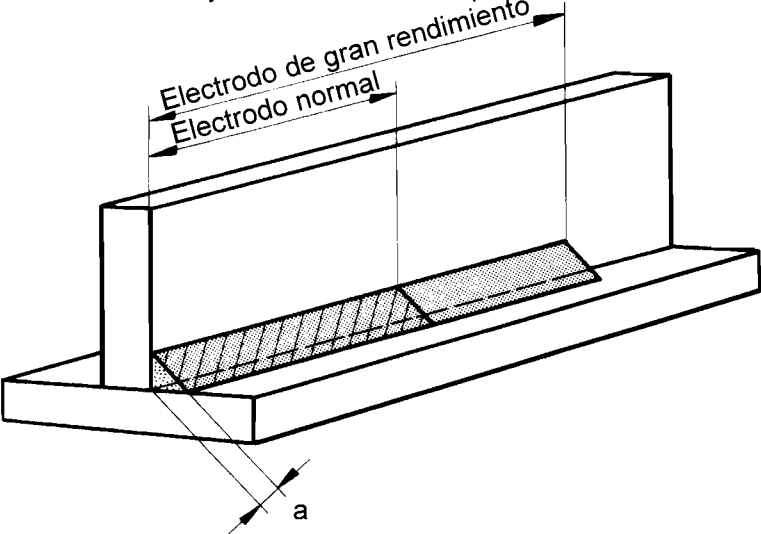
<p><b>Electrodo normal (sin polvo de hierro)</b> 4 mm x 450 mm</p>	<p><b>Electrodo con polvo de hierro</b> 4 mm x 450 mm</p>
	
<p>Peso del alma = 40 gramos</p>	<p>Peso del alma = 40 gramos</p>
<p>Peso del metal depositado= 40 gramos</p>	<p>Peso del metal depositado= 70 gramos</p>
<p>Rendimiento gravimétrico = <math>(40/40) \cdot 100 = 100\%</math></p>	<p>Rendimiento gravimétrico = <math>(70/40) \cdot 100 = 175\%</math></p>
<p>Tiempo de soldeo = 70 segundos</p>	<p>Tiempo de soldeo = 70 segundos</p>
<p><b>Resultado</b></p> <p>Longitud de soldadura mayor en el mismo tiempo.</p> 	

FIGURA 10.8: COMPARACIÓN ENTRE ELECTRODOS DE GRAN RENDIMIENTO Y LOS ELECTRODOS NORMALES

Los revestimientos de los electrodos son higroscópicos (absorben y retienen la humedad con gran facilidad). Si se utiliza un electrodo húmedo se pueden provocar poros, además de grietas en frío. Para disminuir los problemas de la humedad, los electrodos revestidos deben ser embalados, almacenados y manejados en las condiciones adecuadas. Los electrodos deben almacenarse en locales limpios y dotados de una regulación de temperatura y humedad adecuadas.

Los electrodos básicos (de bajo contenido en hidrógeno), que por unas causas u otras hayan permanecido expuestos a la humedad ambiente durante algún tiempo, deber ser sometidos a un proceso de secado en estufa. Para seleccionar la temperatura y tiempo de secado se deberán seguir las recomendaciones del fabricante del electrodo, dado que los límites de temperatura y tiempo pueden variar de un fabricante a otro incluso para los electrodos de la misma clasificación. Un calentamiento excesivo puede dañar el revestimiento del electrodo. Cuando se emplean este tipo de electrodos se debe disponer de pequeñas estufas, en lugares cercanos a los de trabajo, en donde se mantengan los electrodos a temperaturas uniformes de 65 a 150 °C (temperatura de mantenimiento) de la que se vayan sacando en número reducido para su utilización más inmediata. En la figura 10.9 se ha representado el proceso de secado para electrodos de bajo contenido en hidrógeno. Los valores de temperatura y tiempo se facilitan únicamente como ejemplo.

## **10.7. Parámetros de Soldeo**

### **10.7.1. Diámetro del electrodo**

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

Los **electrodos de mayor diámetro** se seleccionan para el soldeo de materiales de gran espesor y para el soldeo **en posición plana**.

En el soldeo **en posición cornisa, vertical y bajo techo** el baño de fusión tiende a caer por efecto de la gravedad, este efecto es tanto más acusado, y tanto más difícil de mantener el baño en su sitio, cuanto mayor es el volumen de éste, es decir cuanto mayor es el diámetro del electrodo, por lo que en estas posiciones convendrá **utilizar electrodos de menor diámetro**.

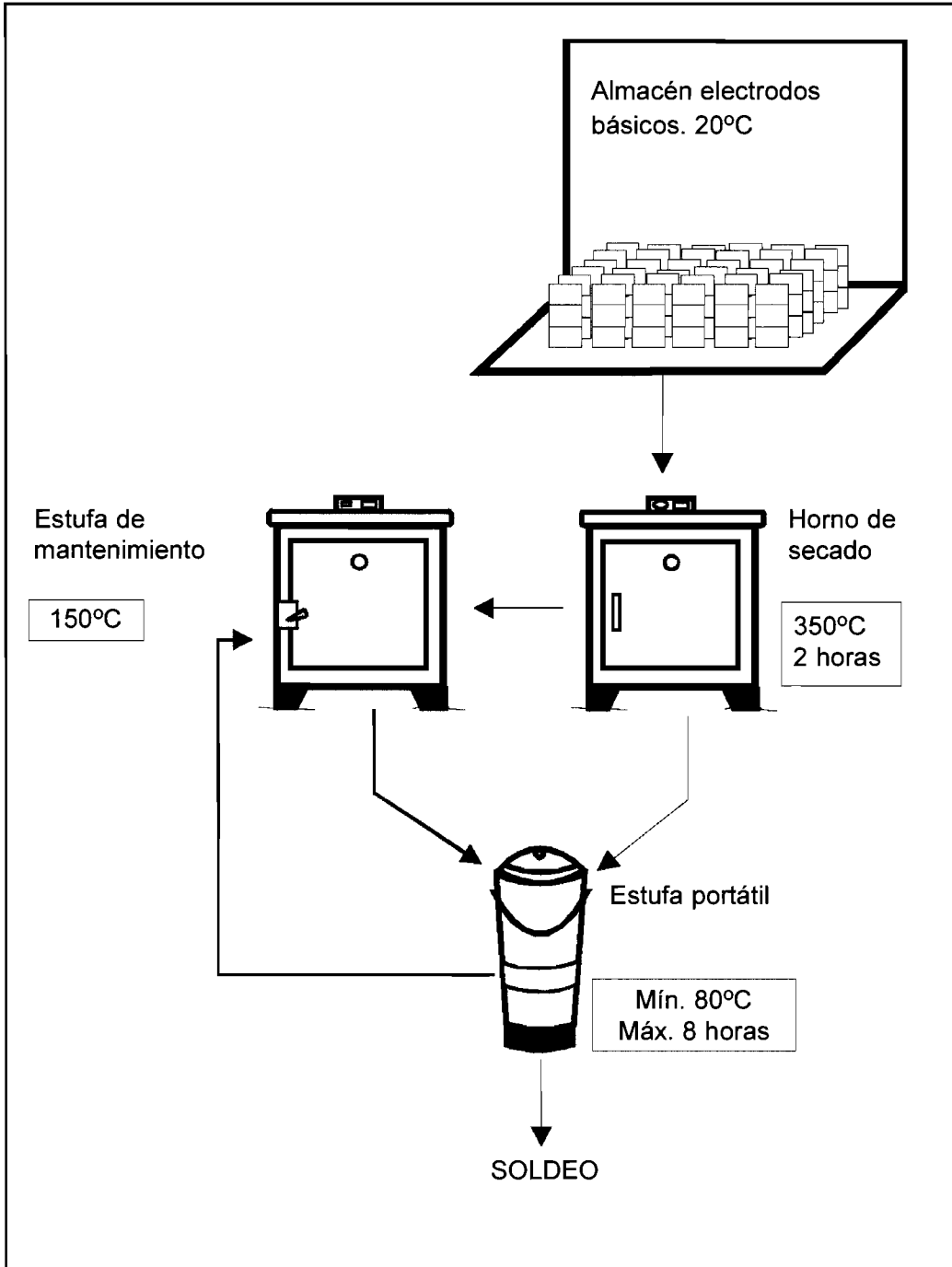


FIGURA 10.9: PROCESO DE SECADO DE ELECTRODOS BÁSICOS (BAJO HIDRÓGENO)

Asimismo, en el soldeo con **pasadas múltiples el cordón de raíz** conviene efectuarlo con un electrodo de **pequeño diámetro**, para conseguir el mayor acercamiento posible del arco al **fondo de la unión** y asegurar una buena penetración, se utilizarán electrodos de mayor diámetro para completar la unión.

El **aporte térmico** depende, directamente de la intensidad, tensión del arco y velocidad de desplazamiento, parámetros dependientes del diámetro del electrodo; siendo mayor cuanto mayor es el diámetro del mismo, en las aplicaciones o materiales **donde se requiera que el aporte térmico sea bajo** se deberán utilizar **electrodos de pequeño diámetro**.

Por tanto, se deberán emplear:

- Electrodos de poco diámetro ( 2; 2,5; 3,25; 4 mm) en: punteado, uniones de piezas de poco espesor, primeras pasadas, soldaduras en posición cornisa, vertical y bajo techo y cuando se requiera que el aporte térmico sea bajo.
- Electrodos de mayores diámetros para: uniones de piezas de espesores medios y gruesos, soldaduras en posición plana y recargues.

### **10.7.2. Intensidad de soldeo**

Cada electrodo, en función de su diámetro, posee un rango de intensidades en el que puede utilizarse, en ningún caso se debe utilizar intensidades por encima de ese rango ya que se producirían mordeduras, proyecciones, intensificación de los efectos del soplo magnético e incluso grietas. Las figuras 10.10 (B) y (C) muestran el efecto de la intensidad en un cordón de soldadura. Cuanto mayor sea la intensidad utilizada mayor será la penetración.

La intensidad a utilizar depende de la posición de soldeo y del tipo de unión. En la figura 10.11 se ha indicado el nivel de intensidad dentro del rango que se recomienda en función de las diferentes posiciones de soldeo, para ello se ha tomado como ejemplo un electrodo de 2,5 mm de acero al carbono.

Como regla práctica y general, se deberá ajustar la intensidad a un nivel en el que “la cavidad” del baño de fusión sea visible (ver figura 10.12). Si esta cavidad, conocida por su forma como ojo de cerradura, se cierra, significa que la intensidad de soldeo es demasiado baja y si se hace muy grande indica que la intensidad es excesiva.

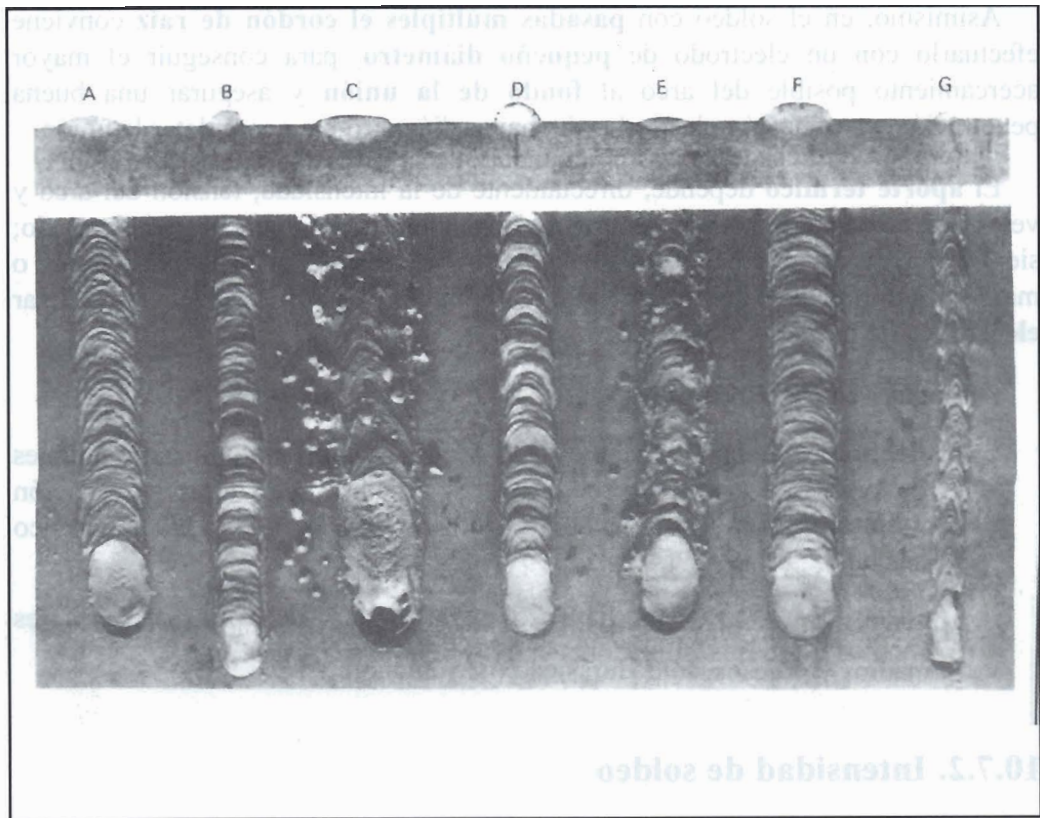


FIGURA 10.10: EFECTO DEL AMPERAJE, LONGITUD DEL ARCO Y VELOCIDAD DE DESPLAZAMIENTO; (A) AMPERAJE, LONGITUD DE ARCO Y VELOCIDAD DE DESPLAZAMIENTO APROPIADAS; (B) AMPERAJE DEMASIADO BAJO; (C) AMPERAJE DEMASIADO ALTO; (D) LONGITUD DE ARCO DEMASIADO CORTA; (E) LONGITUD DE ARCO DEMASIADO LARGA; (F) VELOCIDAD DE DESPLAZAMIENTO DEMASIADO LENTA; (G) VELOCIDAD DE DESPLAZAMIENTO DEMASIADO RÁPIDA

### 10.7.3. Longitud del arco

La longitud del arco a utilizar depende del tipo de electrodo, su diámetro, la posición de soldeo y la intensidad. En general, debe ser igual al diámetro del electrodo, excepto cuando se emplee el electrodo de tipo básico, que deberá ser igual a la mitad de su diámetro. (ver figura 10.13).

# Soldeo por Arco con Electrodo Revestidos

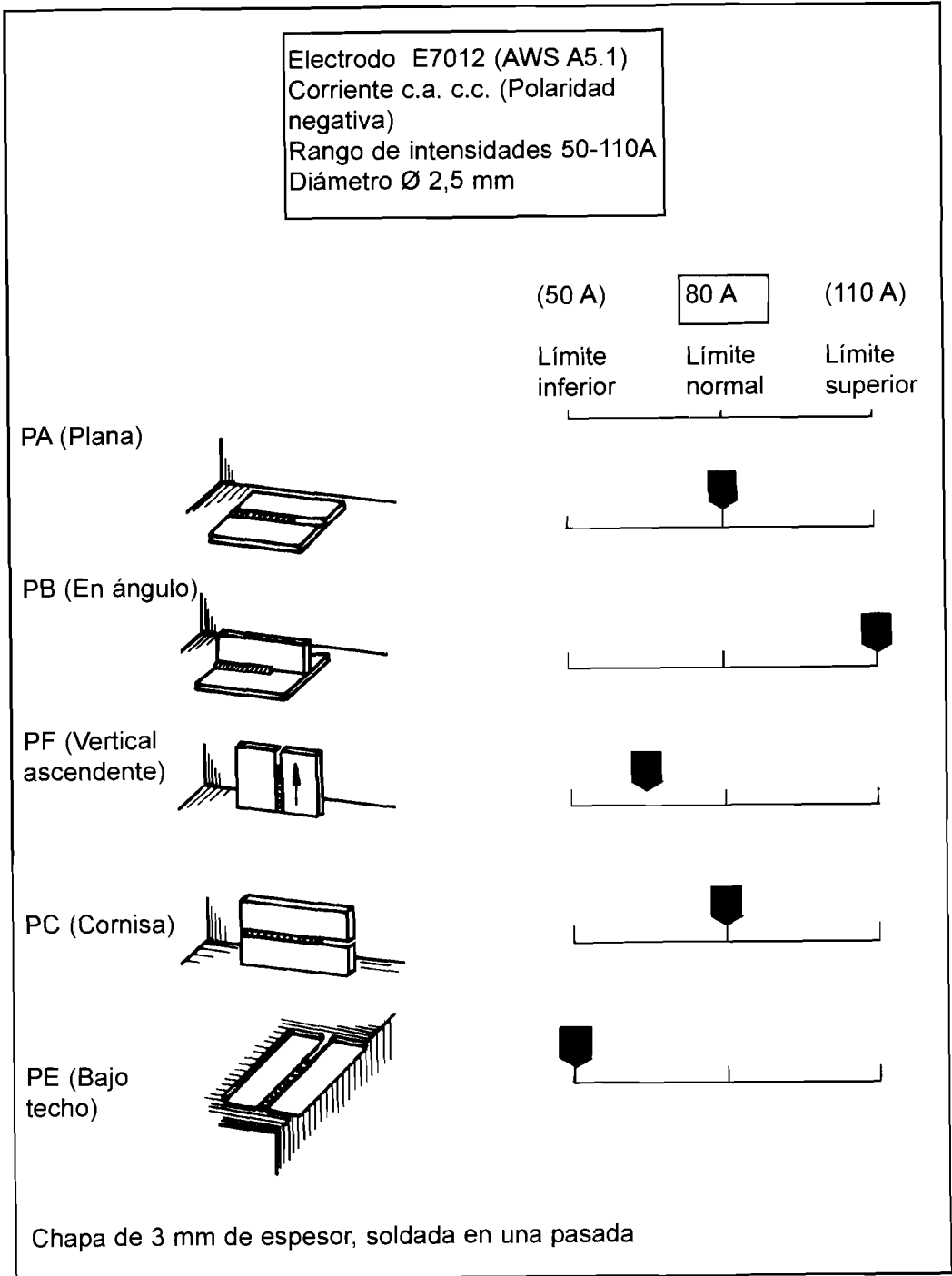


FIGURA 10.11: INTENSIDAD DE SOLDEO EN FUNCIÓN DE LA POSICIÓN



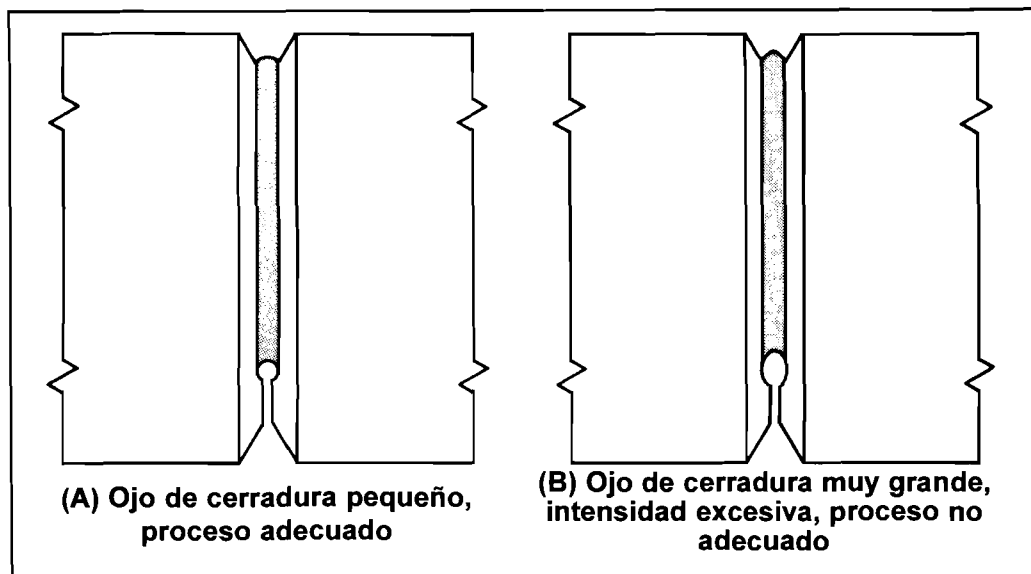


FIGURA 10.12: TAMAÑO DE LA CAVIDAD (OJO DE CERRADURA)

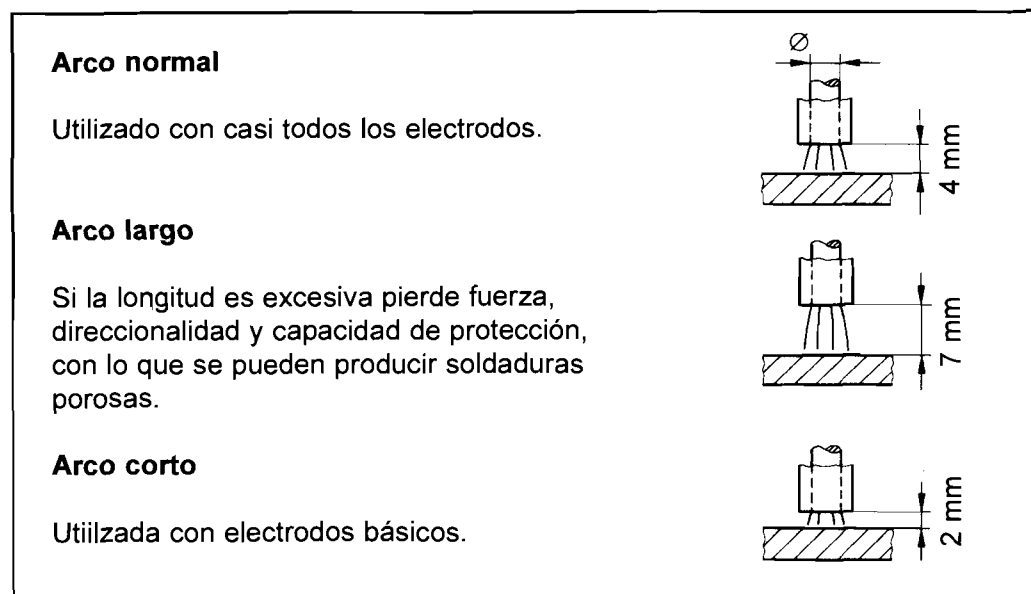


FIGURA 10.13: LONGITUDES DE ARCO NORMALES PARA UN ELECTRODO DE 4 MM Ø

Es conveniente mantener siempre la misma longitud del arco, con objeto de evitar oscilaciones en la tensión e intensidad de la corriente y con ello una penetración desigual. En el soldeo en posición plana, sobre todo cuando se utilizan

electrodos de revestimiento grueso, se puede arrastrar ligeramente el extremo del electrodo, con lo que la longitud del arco vendrá automáticamente determinada por el espesor del revestimiento. En las primeras pasadas de las uniones a tope y en las uniones en ángulo, el arco se empuja hacia la unión para mejorar la penetración. Cuando se produzca soplo magnético, la longitud del arco se debe acortar todo lo posible.

Un arco demasiado corto puede ser errático y producir cortocircuitos durante la transferencia de metal, un arco demasiado largo perderá direccionalidad e intensidad, además el gas y el fundente generados por el revestimiento no son tan eficaces para la protección del arco y del metal de soldadura, por lo que se puede producir porosidad y contaminación del metal de soldadura con oxígeno e hidrógeno. En las figuras 10.10 (D) y (E) se muestra el efecto de la longitud del arco en soldaduras de acero al carbono.

#### **10.7.4. Velocidad de desplazamiento**

La velocidad de desplazamiento durante el soldeo debe ajustarse de tal forma que el arco adelante ligeramente al baño de fusión. Cuanto mayor es la velocidad de desplazamiento menor es la anchura del cordón, menor es el aporte térmico y más rápidamente se enfriará la soldadura. Si la velocidad es excesiva se producen mordeduras, se dificulta la retirada de la escoria y se favorece el atrapamiento de gases (produciéndose poros). En las figuras 10.10 (F) y (G) se muestra el efecto de la velocidad de desplazamiento.

#### **10.7.5. Orientación del electrodo**

En la tabla 10.2 se relacionan las orientaciones típicas de los electrodos y las técnicas de soldeo con electrodos para acero al carbono, que pueden variar para otros materiales.

Tipo de unión	Posición de soldeo	Ángulo de trabajo*	Ángulos de Desplazamiento*	Técnica de Soldeo*
Chaflán	Plana	90°	5° - 10° <sup>(1)</sup>	Hacia atrás
Chaflán	Horizontal	80° - 100°	5° - 10°	Hacia atrás
Chaflán	Ascendente	90°	5° - 10°	Hacia adelante
Chaflán	Bajo Techo	90°	5° - 10°	Hacia atrás
Ángulo	Horizontal	45°	5° - 10° <sup>(1)</sup>	Hacia adelante
Ángulo	Ascendente	35° - 55°	5° - 10°	Hacia adelante
Ángulo	Bajo Techo	30° - 45°	5° - 10°	Hacia atrás

\* Ver figura 5.17.

(1) El ángulo de desplazamiento puede ser de 10 a 40° para electrodos con revestimientos gruesos de polvo de hierro.

TABLA 10.2: ORIENTACIONES DE LOS ELECTRODOS Y TÉCNICAS DE SOLDEO TÍPICAS EN EL SOLDEO POR ARCO CON ELECTRODOS REVESTIDOS PARA ACEROS AL CARBONO

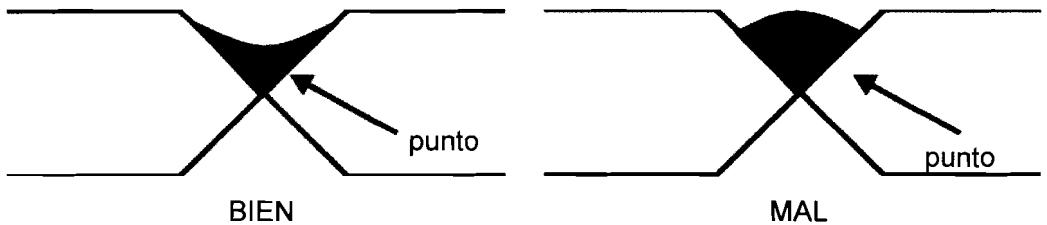
## 10.8. Técnicas Operativas

### 10.8.1. Punteado

A continuación se resume lo indicado en la norma UNE 14055 referente al punteado con electrodos revestidos:

- El punteado se realizará con el mismo precalentamiento que se vaya a utilizar en el soldeo.
- El punteado que vaya a ser incorporado a la soldadura se realizará con el mismo tipo de electrodo que se vaya a utilizar en el soldeo. Una vez realizado el punteado y eliminada la capa de escoria, debe inspeccionarse cuidadosamente cada punto, buscando posibles grietas o cráteres. En caso de que se detectara alguno de los defectos citados, éste se eliminará completamente.
- El punteado que no vaya a ser incorporado a la soldadura será eliminado, repasando posteriormente la zona hasta garantizar la ausencia de defectos.

- El punto de soldadura debe tener siempre una forma cóncava (nunca convexa), en caso de que se produjese abombamiento se reparará el punto hasta dejarlo con forma cóncava, de lo contrario podrían formarse grietas.



- Si la longitud a soldar es larga, el punteado se iniciará en el centro de la pieza (ver capítulo 21). En las cruces y esquinas los últimos puntos deben darse como mínimo a 200 mm.

### **10.8.2. Inspección antes de soldar**

Antes de comenzar a soldar, se debe hacer una inspección ocular comprobando que:

- Las uniones están perfectamente limpias de óxidos, grasas, aceite, agua y proyecciones y se ha efectuado la limpieza especificada en función del material base.
- Las chapas están bien niveladas y alineadas.
- Los puntos previos están bien realizados, sin poros, grietas ni abultamientos. Si existe alguna de estas anomalías se eliminarán, empleando piqueta, cepillo, soplete... Si fuese necesario se resanarán o se eliminarán los puntos.

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

El arco se establece golpeando ligeramente el extremo del electrodo sobre la pieza en las proximidades del lugar donde el soldeo vaya a comenzar, a continuación se retira lo suficiente de forma rápida para producir un arco de la longitud adecuada (ver figura 10.14). Otra técnica de establecer el arco es mediante un movimiento de raspado similar al que se aplica para encender una cerilla. Cuando el electrodo toca la pieza, se manifiesta una tendencia a mantenerse juntos,

# Soldeo por Arco con Electrodo Revestidos

lo cual se evita por medio del golpeteo y del raspado. Cuando el electrodo se pega es necesario apartarlo rápidamente, de otra forma se sobrecalentará y los intentos para retirarlo de la pieza sólo conseguirán doblarle, siendo preciso entonces, para su retirada el empleo de martillo y cortafrío.

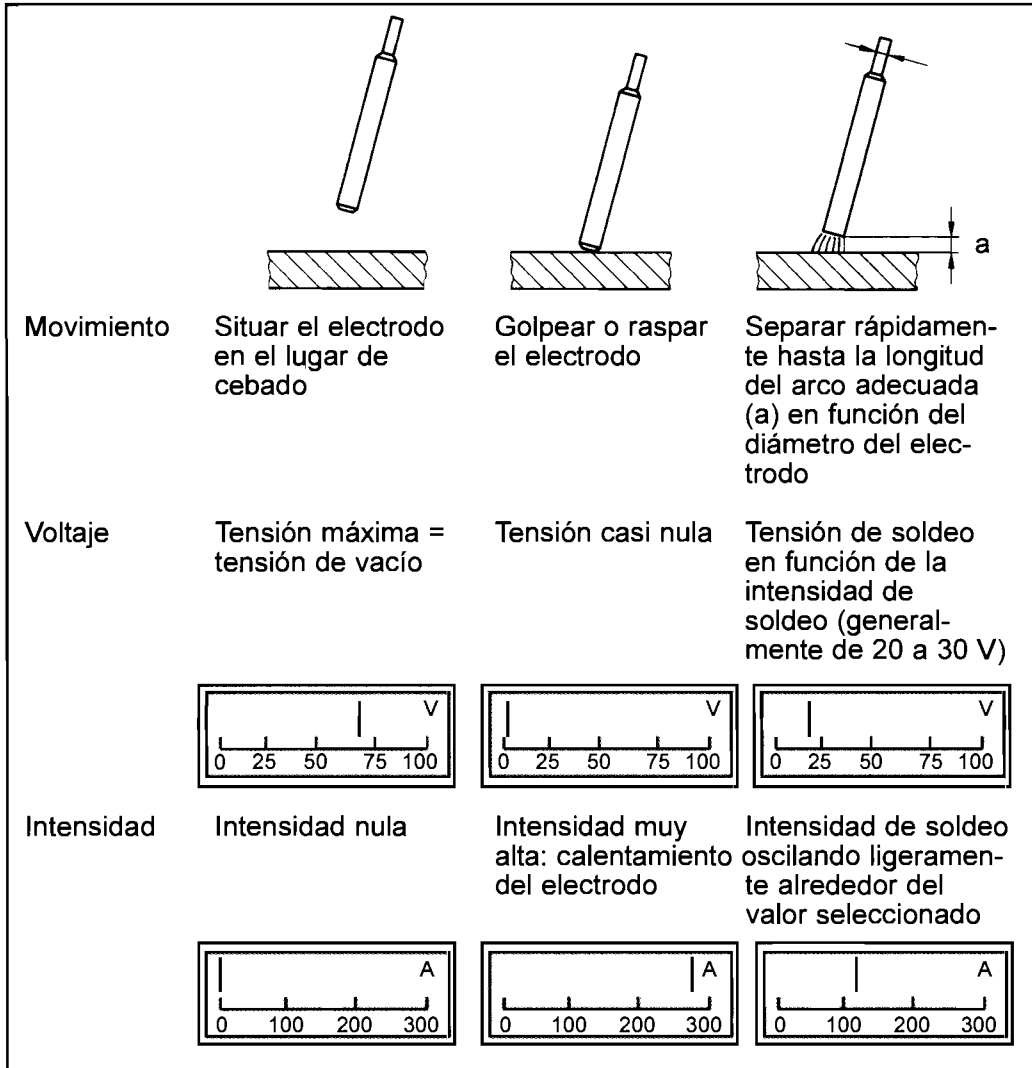


FIGURA 10.14: ESTABLECIMIENTO DEL ARCO

El establecimiento del arco con electrodos de bajo hidrógeno requiere una técnica especial para evitar la porosidad de la soldadura donde el arco se inicia. La técnica consiste en establecer el arco a una distancia de unos pocos diámetros del electrodo por delante del lugar donde vaya a comenzar el soldeo. A continuación el arco se mueve hacia atrás y el soldeo se comienza de forma normal. El soldeo

continúa sobre la zona en la cual el arco fue establecido, refundiendo cualquier pequeño glóbulo de metal de soldadura que pudiese haberse producido cuando se estableció el arco.

En cualquier caso, es imprescindible establecer el arco dentro de la zona de soldeo y por delante de ella, nunca fuera de los bordes de la unión (ver figura 10.15), se evita de esta forma la formación de pequeñas grietas en la zona de cebado.

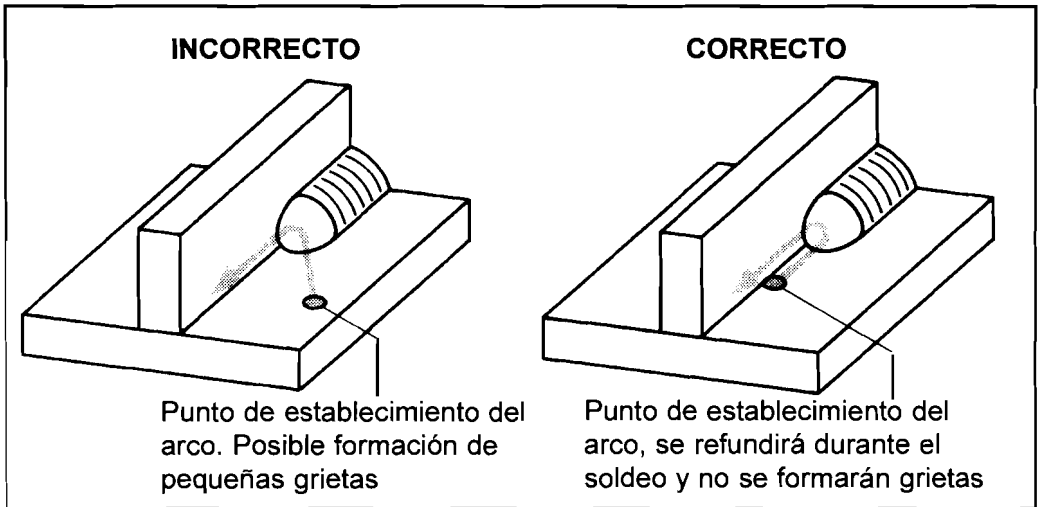


FIGURA 10.15: ESTABLECIMIENTO DEL ARCO EN LA POSICIÓN CORRECTA

La técnica para reestablecer el arco varía, hasta cierto punto, con el tipo de electrodo. Generalmente, el revestimiento en el extremo del electrodo se hace conductor cuando se calienta durante el soldeo. Esto ayuda a reestablecer el arco si ello se efectúa antes de que el electrodo se enfríe. El establecimiento y reestablecimiento del arco es mucho más fácil con los electrodos que contienen cantidades importantes de polvos metálicos en su revestimiento. Cuando se emplean electrodos con revestimientos gruesos no conductores, tal como los de bajo hidrógeno y los de acero inoxidable, puede ser necesario tener que romper algo del revestimiento para que el núcleo quede descubierto en el extremo y el arco se establezca con mayor facilidad.

### **10.8.4. Observación del baño de fusión**

Es muy importante distinguir entre baño de fusión y escoria. Hay que procurar que la escoria no se adelante al baño de fusión y que éste bañe por igual ambos lados de la unión.

Un defecto muy corriente, cuando no se controla bien la escoria, es su inclusión en el cordón de soldadura una vez solidificado éste. Para contener la escoria se podrá hacer un movimiento de vaivén del electrodo.

### **10.8.5. Ejecución del soldeo**

Durante el soldeo, el soldador deberá mantener la longitud del arco lo más constante posible, moviendo uniformemente el electrodo hacia la pieza según éste se va fundiendo. Al mismo tiempo, el electrodo se mueve también uniformemente a lo largo de la unión en la dirección del soldeo.

La elección entre cordones rectos o con balanceo dependerá de las exigencias del procedimiento y del tipo de cordón. En general, las primeras pasadas se hacen con cordones rectos (menos cuando la separación en la raíz es muy grande). Cuando se realicen cordones con balanceo en posiciones PB y PC se deberá llevar más avanzada la parte baja del cordón (ver figura 10.16).

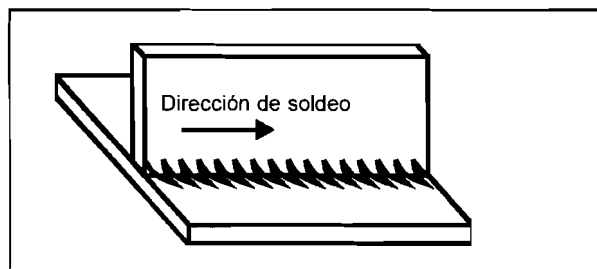


FIGURA 10.16: AL REALIZAR CORDONES CON BALANCEO EN POSICIÓN PB SE DEBE LLEVAR MÁS AVANZADA LA PARTE BAJA DEL CORDÓN

El movimiento debe ser simétrico y el avance uniforme, ya que de ello depende el buen aspecto de la soldadura, así como su calidad y reparto uniforme de calor.

En las posiciones cornisa y bajo techo a tope, cuando la unión tiene excesiva separación en la raíz, las primeras pasadas deben depositarse dando, además del movimiento oscilatorio, un pequeño vaivén de avance y retroceso al electrodo, a fin de dar tiempo a que se solidifique el baño de fusión, evitando así la caída del material fundido.

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

Nunca se debe interrumpir el arco de forma brusca, ya que pueden producirse grietas y poros en el cráter del cordón.

El arco puede interrumpirse por medio de cualquiera de las diferentes técnicas posibles:

- Acortar el arco de forma rápida y, a continuación, mover el electrodo lateralmente fuera del cráter. Esta técnica se emplea cuando se va a reemplazar el electrodo ya consumido, continuando el soldeo a partir del cráter.
- Otra técnica es la de detener el movimiento de avance del electrodo y permitir el llenado del cráter, retirándose a continuación el electrodo.
- Otra forma es dar al electrodo una inclinación contraria a la que llevaba y se retrocede, sobre el mismo cordón, unos 10 ó 12 mm. antes de interrumpir el arco; de esta forma se rellena el cráter. (ver figura 10.17)

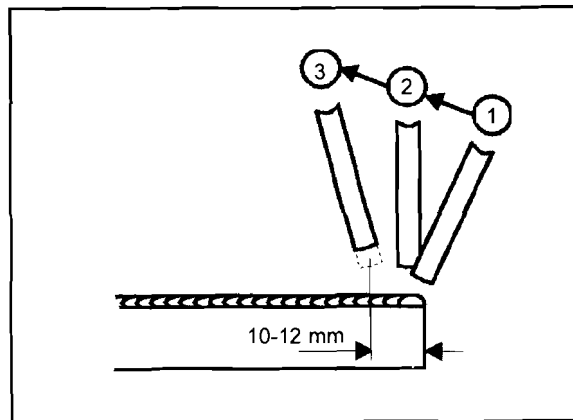


FIGURA 10.17: FORMA DE INTERRUPIR EL ARCO

### **10.8.7. Empalmes de los cordones de soldadura**

Deben realizarse de forma cuidada, para evitar fisuras e inclusiones de escoria. Tal como se indica en la figura 10.18 se rellena el cráter y se evita la porosidad y las inclusiones de escoria.

La limpieza de los cordones de soldadura es esencial para que la unión entre metales se realice correctamente y sin defectos. Se utilizará una piqueta y un cepillo de alambre. El material de los alambres del cepillo y de la piqueta dependerá del material base, por ejemplo, nunca se utilizarán de acero al carbono cuando el material base sea de acero inoxidable sino que será también de este último material.



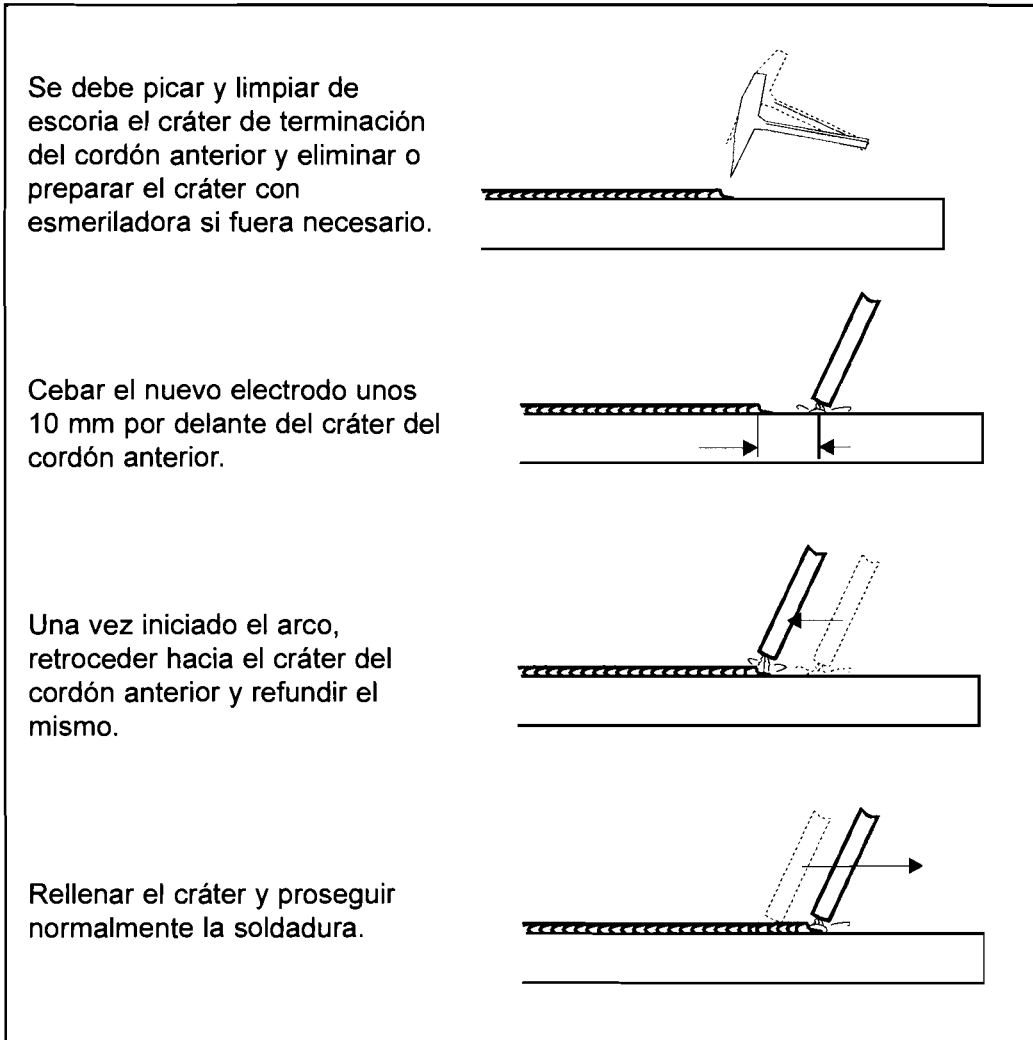


FIGURA 10.18: REALIZACIÓN CORRECTA DE LOS EMPALMES DE LOS CORDONES DE SOLDADURA

## 10.8.8. Retirada de la escoria

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

Se deberá retirar la escoria especialmente en las proximidades de las caras del chaflán que es donde se puede quedar ocluida, utilizando esmeriladora si fuera necesario. (Ver figura 10.19). También se deberá eliminar el sobreespesor del cordón cuando éste sea excesivo antes de depositar el siguiente (ver figura 10.19).

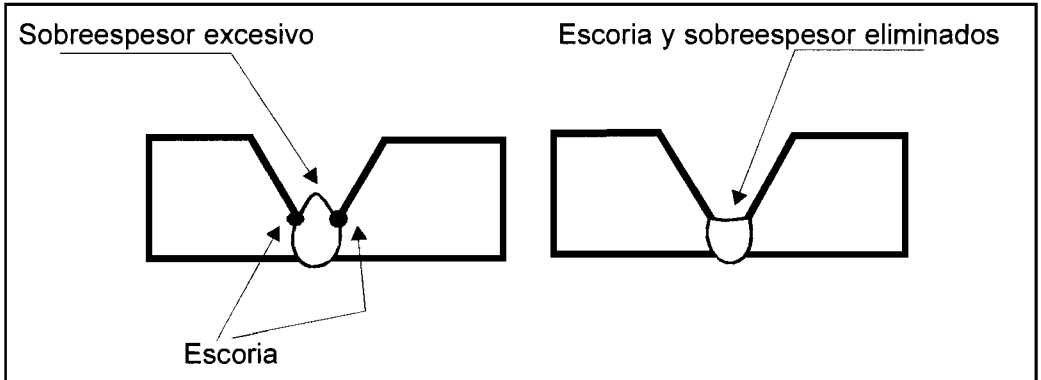


FIGURA 10.19: ELIMINAR EL SOBREESESOR EXCESIVO Y LA ESCORIA ATRAPADA ANTES DE DEPOSITAR EL SIGUIENTE CORDÓN

Al finalizar la unión, deben quitarse, además de la escoria, las proyecciones más pronunciadas y cepillar totalmente la unión soldada.

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

### 10.8.9. Soplo del arco

En el soldeo SMAW puede producirse con frecuencia el soplo magnético, se deberá tener las consideraciones explicadas en el capítulo 3.

En la figura 10.20 se recuerda una forma de aminorar el efecto soplo magnético cuando se produzca.

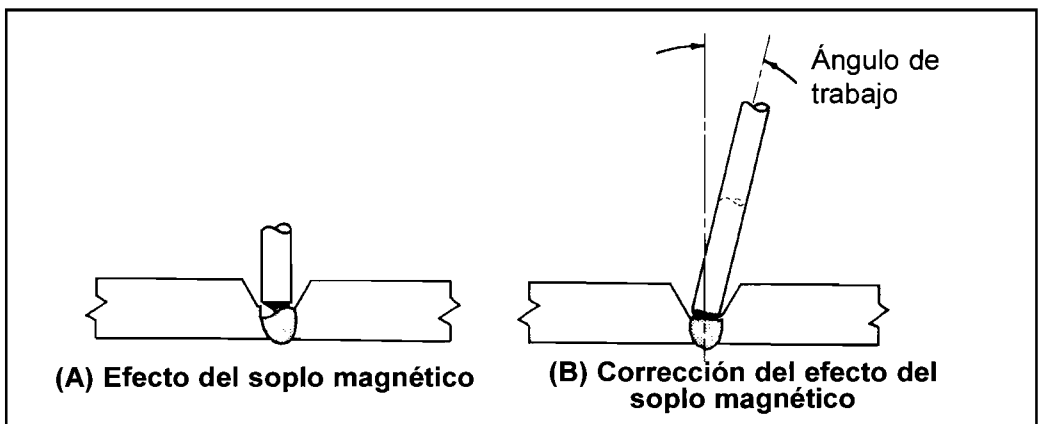
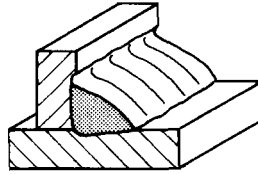


FIGURA 10.20: CORRECCIÓN DEL EFECTO DEL SOPLO MAGNÉTICO

## 10.9. Defectos Típicos en las Soldaduras

### Defecto: Mordeduras



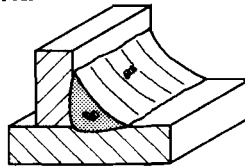
#### *Causa*

- Intensidad de soldeo demasiado elevada.
- Ángulo de desplazamiento excesivamente pequeño. (Electrodo perpendicular a la pieza).
- Arco largo.

#### *Remedio*

- Seleccionar la intensidad adecuada para el diámetro, posición y tipo de electrodo.
- Inclinar el electrodo hasta que el ángulo de desplazamiento sea de 5-10°.
- Utilizar una longitud de arco igual al diámetro del electrodo, o a la mitad de éste si el electrodo es básico.

### Defecto: Inclusiones de escoria



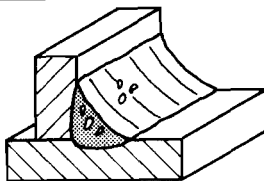
#### *Causa*

- Intensidad muy baja.
- Velocidad de desplazamiento elevada, que provoca el enfriamiento rápido de la soldadura no permitiendo la salida de la escoria.
- Soldeo multipasadas sin retirar la escoria del cordón anterior.

#### *Remedio*

- Utilizar la intensidad suficiente que permita la salida de la escoria antes de que el metal aportado se solidifique.
- Reducir la velocidad de desplazamiento.
- Extremar la limpieza; siempre retirar totalmente la escoria antes de realizar el siguiente cordón.

**Defecto: Porosidad**



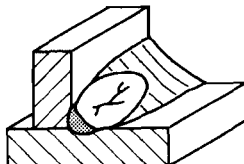
*Causa*

- Suciedad en el metal base (óxidos, grasa, recubrimientos).
- Arco demasiado largo.
- Electrodo húmedos.

*Remedio*

- Eliminar cualquier resto de grasa o suciedad antes del soldeo, eliminar también los recubrimientos que puedan tener las piezas.
- Utilizar una longitud de arco adecuada y mantenerla durante el soldeo.
- Conservar adecuadamente los electrodos evitando su contacto con cualquier fuente de humedad, utilizar estufas de mantenimiento y secar en horno antes del soldeo los electrodos básicos.

**Defecto: Grietas en el cráter**



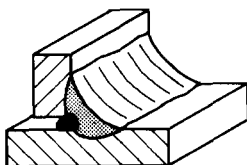
*Causa*

- Interrumpir el arco de forma brusca, especialmente cuando se suelda con altas intensidades.

*Remedio*

- Utilizar una técnica de interrupción del arco adecuada.

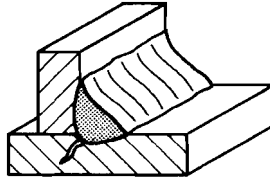
**Defecto: Inclusiones de escoria en la raíz**



*Remedio*

- Posicionar las piezas de forma que entre ellas siempre haya contacto.

**Defecto: Grietas que parten de la intercara (metal de soldadura-metal base) de la unión**



*Causa*

- El material no es soldable.
- Enfriamiento de la soldadura excesivamente rápido.

*Remedio*

- Utilizar las precauciones necesarias para el soldeo de ese material. No soldar.
- Evitar enfriamientos rápidos, naturales o provocados.

**Defecto: Falta de fusión en los bordes**



*Causa*

- Inadecuada limpieza, presencia de algún óxido o material extraño que impide la correcta fusión del material base.
- Orientación inadecuada del electrodo.
- Intensidad de soldeo insuficiente o velocidad excesiva.

*Remedio*

- Limpiar el material base, los chaflanes y por lo menos 25 mm a cada lado de la unión. Extremar la limpieza o decapado en el acero inoxidable y aleaciones de aluminio.
- Orientar el electrodo correctamente.
- Elegir los parámetros de soldeo de forma adecuada.

**Defecto: Falta de penetración**



*Causa*

- Talón de la raíz excesivo o separación en la raíz insuficiente. Desalineamiento entre las piezas excesiva.

*Remedio*

- Preparar y ensamblar las piezas de forma adecuada.

<b>Defecto: Falta de penetración</b>	
<i>Causa</i>	<i>Remedio</i>
<ul style="list-style-type: none"><li>- Intensidad de soldeo insuficiente o velocidad excesiva.</li><li>- Diámetro del electrodo demasiado grande que no permite el acercamiento del electrodo a la raíz de la unión.</li><li>- Diámetro del electrodo demasiado fino que no tolera la intensidad necesaria para conseguir buena penetración.</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>- Elegir los parámetros de soldeo de forma adecuada.</li><li>- Seleccionar el diámetro adecuado.</li><li>- Seleccionar el diámetro adecuado.</li></ul>