

## TEMA 22

# SOLDADURA POR ARCO

### Introducción.

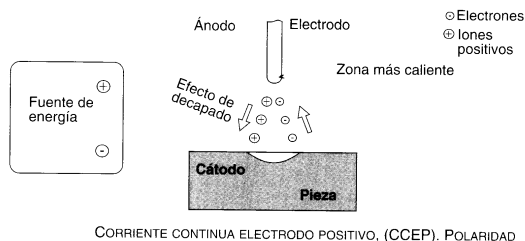
El procedimiento de soldadura eléctrica por arco aprovecha, para fundir el metal, la energía calorífica producida por el arco eléctrico entre un electrodo y el metal base. El electrodo está alimentado de una corriente eléctrica de baja tensión y elevada intensidad. La elevada temperatura del arco funde tanto el metal base como el metal de aportación.

En el desarrollo de la soldadura por arco se presentaron diferentes fases. El primer procedimiento que se desarrolló el de *soldadura por arco de carbono*, donde el electrodo no era consumible y se aportaba el material con una varilla; años después se sustituyó el carbono por un electrodo desnudo de varilla de hierro, eliminando de esta forma el uso de una varilla separada, ya que el electrodo era el mismo material de aportación; en 1907 Kjellberg vio la posibilidad de revestir el electrodo con un fundente, con vistas a controlar el arco y a mejorar el baño depositado; a partir de este punto los desarrollos en este tipo de soldadura han ido encaminados hacia la consecución de sistemas de protección, tanto para estabilizar el arco como para proteger el baño fundido.

### Estudio del arco.

Cuando dos electrodos están a distinto potencial y uno de ellos es, además, una fuente de electrones (cátodo), estos electrones pueden trasladarse al otro electrodo de dos formas: en el vacío o por medio del gas que los envuelve. En el segundo caso, es necesario hacer conductor al gas, es decir, lograr la separación de sus átomos en iones y electrones. La *ionización* del gas puede conseguirse de varias formas, entre ellas, mediante el choque de átomos del gas con

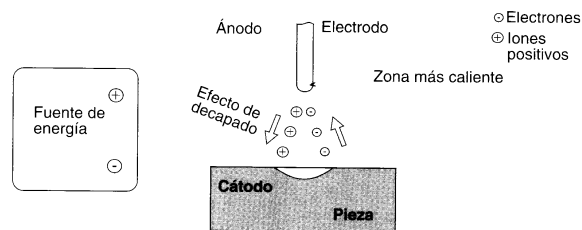
electrones suficientemente acelerados como para provocar en el impacto la pérdida de un electrón de valencia en el átomo del gas. Para arrancar los electrones del electrodo es necesario comunicarles la energía suficiente, característica de cada elemento. En un arco eléctrico interviene la energía calorífica (efecto termoiónico).



la pieza y electrodo. La resistencia de contacto es baja, la corriente que circula muy alta y se

## 22.2

produce un calentamiento muy fuerte en la punta del electrodo negativo (cátodo) que provoca la vaporización del metal y una ionización térmica. Separando ahora el electrodo de la pieza bastan unos pocos voltios para que aparezca el arco. Una vez iniciado éste, los electrones que salen del cátodo ionizan el gas al chocar con sus átomos. Los electrones siguen su camino hacia el ánodo y los iones hacia el cátodo, al que ceden su energía cinética en forma de calor, manteniendo así la temperatura de éste, que sigue emitiendo electrones por efecto termoiónico.



CORRIENTE CONTINUA ELECTRODO POSITIVO, (CCEP). POLARIDAD

Dado que los electrones tienen menor masa que los cationes, su energía cinética es mayor, por tanto los  $\frac{2}{3}$  de la energía del arco van a parar al cátodo, que se calienta más ( $T_a - T_c \cdot 600EC$ ). Por otro lado, el cátodo presenta propiedades autodecapantes debido a la acción mecánica del bombardeo de cationes (importante en el soldeo por aluminio para eliminar la capa de alúmina).

Si la longitud del arco es grande este puede cortarse, ya que se aumenta la resistencia al paso de la corriente y el aire no mantiene su ionización.

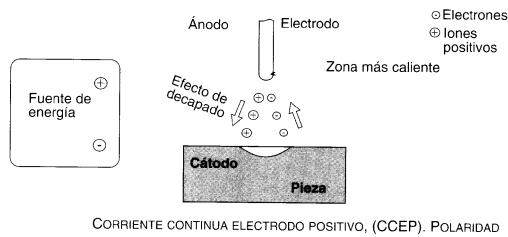
Los elementos que intervienen en la formación y estabilización (control de dirección y proceso de fusión continuo) del arco debe tener las siguientes características:

- Potencial de ionización (PI) bajo: menor energía necesaria para arrancar electrones.
- Potencial termoiónico (PT) alto: mayor energía generada (mayor  $T^a$ ).
- Conductividad térmica (CT) baja: se disipa menos calor.

### Fuentes de Alimentación.

Al principio, para la soldadura se empleaba solamente la corriente continua producida por una dinamo, ya que era imposible mantener el arco con corriente alterna empleando electrodos de carbono o electrodos desnudos. La aparición de los electrodos revestidos permitió el empleo de corriente alterna, y por tanto, de los transformadores. actualmente se emplea de forma indistinta.

**Corriente continua**

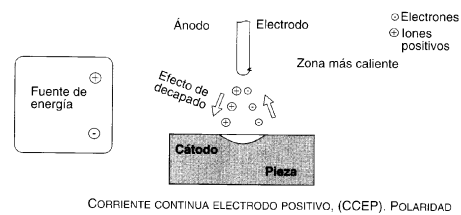


**Polaridad directa:**

$T^a \text{ pieza} > T^a \text{ electrodo}$   
 La pieza evacua más rápidamente calor  
 Mayor penetración  
 Evita que el electrodo se ponga al rojo

**Polaridad inversa:**

$T^a \text{ pieza} < T^a \text{ electrodo}$   
 Soldadura chapas finas



Evita pérdidas de elementos por oxidación

Menores deformaciones  
 Menor penetración. Acción decapante en pieza

El aluminio sólo se puede soldar con polaridad inversa para que los cationes, que tienen más masa, puedan romper la capa de alúmina

**Corriente alterna**

$T^a \text{ pieza} = T^a \text{ electrodo}$   
 Arco menos estable  
 Valores intermedios de penetración y deformación  
 Arco menos estables. Electrodo revestidos  
 Equipos más baratos

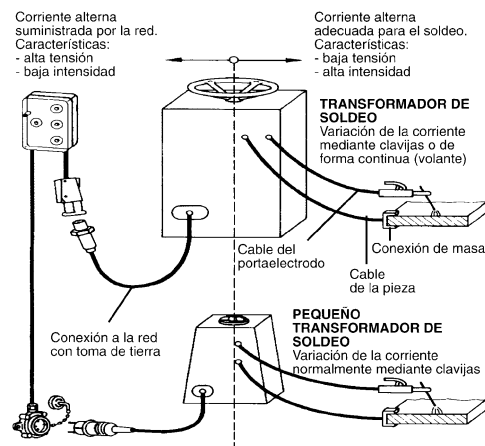
**FUENTES DE ENERGÍA PARA EL SOLDEO POR ARCO**

Los equipos que se emplean se clasifican en tres grupos: Transformadores, Rectificadores y Convertidores.

- Transformador: Es un dispositivo que modifica los valores de la tensión e intensidad de la corriente eléctrica suministra CA.

- Rectificadores: Son aparatos que dejan pasar la corriente en un solo sentido, la CA la convierte en CC, se conectan trifásicos a la red y a las tensiones de 220-380V.

- Convertidores: están formados por un motor y un generador de corriente suministra CC.



TRANSFORMADORES DE SOLDEO

## **Definición, clasificación de los electrodos y fabricación.**

### **Electrodos desnudos**

Por electrodo se entiende una varilla de material metálico usada en la soldadura para producir el arco eléctrico. Los electrodos desnudos, utilizados en casos excepcionales, están formados por una varilla metálica de sección circular y composición química bien definida. Presentan gran cantidad de inconvenientes, tanto desde el punto de vista del funcionamiento del arco, como de las cualidades físicas del metal depositado. Los defectos más importantes son:

- Dificultad de cebado y mala estabilidad del arco. Sólo puede utilizarse con corriente continua.
- Su fusión favorece la absorción de gran cantidad de gas, oxígeno y nitrógeno, que conduce no solo de la formación de porosidades, sino también a la formación de compuestos (óxido de hierro y nitruro de hierro), que disminuyen considerablemente la capacidad de deformación de las soldaduras.
- Su fusión también conduce a una pérdida por oxidación de los elementos del acero, y por tanto a una disminución de las propiedades mecánicas.

### **Electrodos revestidos**

Un electrodo revestido está constituido por un alma metálica, generalmente de forma cilíndrica, y un recubrimiento de composición química variable de acuerdo con las características exigidas.

**Fabricación** Varilla metálica alambroón de 6-8mm  $\phi$ . Fabricante comprueba AQ, T, se reduce hasta  $\phi$  deseado, los mas usuales 1,6-2-2,5-3-3,25-4-5-6 mm, los mas utilizados 1.6-2,5-3,25-4-5 mm.

**Revestimiento** formado por mas de 40 minerales o substancias, arena de circonio, rutilo, celulosa, colín, mármol, polvo de hierro etc. Selección, origen, dosificación secreto fabricante.

La composición de los revestimientos es muy compleja; se trata de mezclas de materias orgánicas y minerales formado por mas de 40 minerales o substancias, arena de circonio, rutilo, celulosa, colín, mármol, polvo de hierro etc. Selección, origen, dosificación secreto fabricante,. de forma que cada sustancia desempeña un papel determinado, bien durante la fusión, bien durante la solidificación, actuando como estabilizadores del arco, constituyentes de las escorias, depuradores del metal, aportadores de elementos útiles al metal fundido, etc. En definitiva, el recubrimiento realiza tres funciones principales:

#### a) Función eléctrica del revestimiento

Facilitan la estabilización del arco. Es particularmente importante cuando se trabaja con corriente alterna, dado que el arco se apaga en cada periodo, y en ese instante resulta necesario facilitar su reencendido empleando sales susceptibles de desprender vapores ionizantes. Los productos más importantes, para el cebado y mantenimiento del arco, que se introducen en el revestimiento, son las sales de sodio, potasio y bario.

#### b) Función física del revestimiento

Es el elemento formador de escoria y del gas protector. El revestimiento debe facilitar el soldeo en las diversas posiciones operatorias: vertical, horizontal y de techo y proporcionar, según sea su naturaleza, un cordón reforzado o aligerado. Dos elementos intervienen en esta función:

- La naturaleza del revestimiento, que determina la viscosidad de la escoria líquida.
- El espesor del revestimiento.

La influencia de la viscosidad en la soldadura se hace patente no sólo para la obtención del material aportado en las distintas posiciones (desprendimientos de gases que arrastran el metal fundido), sino también para la protección total del metal fundido (escorias pocas viscosas que facilitan la fijación de elementos especiales).

Además, el consumo del revestimiento se realiza a velocidad inferior a la del alma metálica, por lo que se forma un cráter en el mismo, con la consiguiente disminución de pérdidas térmicas y la mejor concentración del chorro del arco.

#### c) Función metalúrgica del revestimiento

Los revestimientos no solamente contienen elementos estabilizadores y productos químicos que forman escorias, sino asimismo elementos reductores y ciertos elementos útiles, que se dejan en el metal fundido con objeto de mejorar las características mecánicas del depósito metálico, por ejemplo productos aleantes. También pueden tener cierta cantidad del metal que compone el alma para, de esta forma, aumentar el rendimiento del electrodo, definido como la cantidad de metal depositado en el cordón frente al contenido en el alma, alcanzando así incluso rendimientos superiores al 100% (electodos de alto rendimiento).

### **Características y propiedades de los revestimientos**

#### a) Electrodos ácidos

Clasificación AWS de electrodos para aceros al carbono: AWS-E-6020.

Estos electrodos contienen una adecuada proporción de productos desoxidantes en forma de ferroaleaciones, FeSi, FeMn. Sin embargo, el contenido de Si en el cordón se mantiene bajo por lo que el metal aportado contiene siempre una cierta cantidad de oxígeno y, en consecuencia, la resiliencia de la unión es solamente mediana.

*Escorias:* pertenecen al sistema FeO-SiO<sub>2</sub>-MnO y contienen una gran proporción de

## 22.6

silicatos de Fe (fayalita) y de Mn (rodonita), así como óxidos libres FeO y MnO. La reacción es ácida, o sea, disuelve los óxidos básicos, tales como el MnO. En consecuencia, gran parte del Mn se desplaza a la escoria. Este enriquecimiento en Mn disminuye la viscosidad, proporcionando un cordón de aspecto liso y facilitando el soldeo.

La escoria de los electrodos típicamente ácidos es abundante, de color negro y adquiere al solidificar una estructura esponjosa que tiende a hacerse más compacta y vítrea a medida que disminuye la acidez. Se separa con bastante facilidad.

Por su abundante escoria se requiere soldar con mayor intensidad e inclinación adecuada del electrodo, para evitar que la escoria se anticipe al metal fundido.

*Metal depositado:* estos electrodos confieren al metal depositado un contenido de H e impurezas relativamente alto. A menudo, el cordón contiene escorias.

La soldabilidad del metal de base debe ser buena, pues en caso contrario pueden producirse grietas en caliente. Esta susceptibilidad es función de la acidez de la escoria y disminuye a medida que tiende a la neutralidad.

*Parámetros de uso:*

Tensión de cebado  $U_c = 30/40V$

Tensión de funcionamiento  $U_f = 25V$

*Arco:* muy estable. Son electrodos de fusión rápida, facilitada en parte por el calor que produce la oxidación del Mn. Pueden emplearse con c.c. y c.a. pero a baja tensión de cebado.

*Rendimiento:* El rendimiento gravimétrico estándar es del 95 %.

*Características mecánicas:* Con estos electrodos, unos valores típicos de características mecánicas para aceros al carbono, serán los siguientes:

Carga de rotura:  $CR = 48 \text{ Kg/mm}^2$

Límite elástico :  $LE = 38 \text{ Kg/mm}^2$

Alargamiento :  $\delta = 27 \%$

Resiliencia : Charpy a  $-20 \text{ }^\circ\text{C} = 50 \text{ J}$

*Aplicaciones:* Destinados para soldar aceros normales de construcción, de resistencia inferior a  $48 \text{ Kg/mm}^2$ . Se solían utilizar en juntas a tope o en V en calderería cuando se requería un buen aspecto del cordón. También por su facilidad en proporcionar cordones lisos en juntas en ángulo o solapadas.

Este tipo de electrodos, que hace unas décadas dominaba el mercado, ha ido siendo sustituido progresivamente por los rutilos y básicos. En la actualidad se encuentran prácticamente en desuso, pues su cuota de consumo no alcanza el 2 % del mercado español.

### b) Electrodos celulósicos

Clasificación AWS de electrodos para aceros al carbono: AWS-E-6010 (Na) y AWS-E-6011 (K).

En estos electrodos la celulosa, obtenida a partir de la pulpa de la madera, es el componente principal. Esta sustancia orgánica se descompone por el calor desarrollado en el arco, proporcionando un gas protector que aísla y protege de la oxidación al Mn y al resto de los componentes. Las reacciones de reducción se desarrollan en una atmósfera de hidrógeno.

*Escoria:* es poco voluminosa ya que, recordemos, la protección del baño es esencialmente de tipo gaseoso. Se desprende con facilidad.

*Arco:* Producen una gran penetración gracias al hidrógeno procedente de la celulosa que el calor del arco libera. La velocidad de soldeo es elevada. Se producen, sin embargo, abundantes pérdidas por salpicaduras.

*Metal depositado:* El metal depositado por estos electrodos carece prácticamente de oxígeno ( $O_2$  0,02 %). En cambio, contiene una gran cantidad de hidrógeno (15-25  $cm^3$  por cada 100 gr. de metal depositado). La superficie del cordón es rugosa y éste se enfría rápidamente.

*Rendimiento:* el arco produce un fuerte chisporroteo, con abundantes pérdidas por salpicaduras. El rendimiento estándar suele ser inferior al 90 %.

*Seguridad de uso:* los electrodos celulósicos producen una gran cantidad de humos. Por ello, es recomendable evitar su uso en recintos cerrados, como el interior de calderas, cisternas, recipientes, etc. Por otra parte, lo enérgico del arco aconseja emplear con más rigor los materiales de protección, tales como gorras, guantes, mandiles, polainas, etc. Los electrodos celulósicos no deben researse nunca.

*Características mecánicas:* con estos electrodos, unos valores típicos de características mecánicas para aceros al carbono, serían los siguientes:

Carga de rotura:	CR = 48 Kg/mm <sup>2</sup>
Límite elástico :	LE = 40 Kg/mm <sup>2</sup>
Alargamiento :	$\delta$ = 28 %
Resilencia	Charpy a 0 °C = 75 J

*Aplicaciones:* aunque son adecuados para soldar en todas las posiciones, se suelen emplear en exclusiva para soldar tubería en vertical descendente, porque:

- producen muy poca escoria.
- se manejan con facilidad.
- consiguen una buena penetración en el cordón de raíz en esta posición.

Su uso se está generalizando en oleoductos y gasoductos en donde resulta ventajoso soldar en todas las posiciones, sin cambiar los parámetros de soldeo. También son adecuados en aplicaciones en donde se pretenda conseguir una buena penetración.

En la actualidad su cuota de consumo alcanza el 3 % aproximadamente.

c) Electrodos de rutilo

Clasificación AWS de electrodos para aceros al carbono AWS-E-6012 (Na) y AWS-E-6013 (K).

*Características específicas:* el principal componente de estos electrodos es el rutilo, mineral obtenido a partir de menas que en su estado natural contienen de un 88-94 % de  $TiO_2$ . También puede extraerse de la ilmenita, mineral compuesto por un 45-55 % de  $TiO_2$  y el resto de  $Fe_2O_3$ . La protección en estos electrodos la proporciona la escoria.

*Escorias:* pertenecen al sistema  $TiO_2$ -FeO-MnO que dan como resultado titanatos de hierro o titanatos complejos. La escoria, de aspecto globular o semiglobular, tiene la viscosidad adecuada para permitir la soldadura de elementos con ajuste deficiente o cuando entre los bordes a unir existe una distancia excesiva, resultado los electrodos de rutilo idóneos en la soldadura con defectuosa preparación de juntas. La escoria se elimina con facilidad.

*Metal depositado:* contiene un buen número de inclusiones. El nivel de impurezas es intermedio entre el que presentan los electrodos ácidos y los básicos. El contenido de hidrógeno puede llegar a fragilizar las soldaduras.

El contorno de las costuras en ángulo oscila entre convexo en el AWS-E-6012 a prácticamente plano en el AWS-E-6013. En cualquiera de los casos, el cordón presenta un buen aspecto.

*Arco:* fácil encendido y reencendido, incluso con elevadas tensiones de vacío en la fuente de corriente. La pequeña proporción de celulosa del revestimiento permite una elevada intensidad de corriente. La cantidad de elementos refractarios del recubrimiento origina un arco tranquilo, de mediana penetración.

Se emplean con corriente alterna o con corriente continua, en ambas polaridades.

*Rendimiento:* el rendimiento estándar está comprendido entre el 90 y el 100 %.

*Características mecánicas:* con estos electrodos, unos valores típicos de características mecánicas para aceros al carbono, serían los siguientes:

Carga de rotura:	CR = 48 Kg/mm <sup>2</sup>
Límite elástico :	LE = 42 Kg/mm.
Alargamiento .	δ = 25 %
Resiliencia	Charpy a - 20 °C = 50 J

*Aplicaciones:* estos electrodos, fáciles de encender y reencender, poco sensibles a la humedad, escasas salpicaduras y favorable eliminación de escoria, que permiten una razonable velocidad de soldeo constituyen una gama de consumibles muy apreciada. Resultan por su fácil manejo en cualquier clase de montaje, la escasa influencia de las condiciones ambientales y por



ser adecuados para emplearse en todas las posiciones, idóneos para todo tipo de soldaduras siempre que no se requiera una elevada tenacidad. Los principales campos de aplicación son las estructuras metálicas, calderería y construcción naval.

En la actualidad, su cuota de consumo alcanza aproximadamente el 55 % de la demanda total del mercado.

#### d) Electrodos básicos

Clasificación AWS de electrodos para aceros al carbono: AWS-E-7015 (Na) poco frecuente y AWS-E-7016 (K) muy utilizados.

Los componentes principales son el carbonato cálcico y el cloruro cálcico. El revestimiento, que no contiene celulosa ni arcilla, proporciona un gas protector a base de  $\text{CO}_2$  procedente del mármol y del fluoruro de silicio formado a partir de la fluorita o espato flúor, en reacción con el  $\text{SiO}_2$ .

Funden a temperatura muy elevada 2.000 °C, razón por la cual necesitan un fundente en su composición, como el espato flúor.

La elevada proporción de  $\text{TiO}_2$  y de silicato potásico, permiten su uso en corriente alterna.

Son fuertemente higroscópicos, por lo que precisan de ciertas precauciones para evitar que una retención de humedad origine porosidades en el metal depositado y fisuraciones bajo el cordón en el soldeo de aceros ferríticos de alta resistencia o límite elástico.

*Escorias:* pertenecen a los sistemas  $\text{CaOSiO}_2$ ,  $2\text{CaOSiO}_2$  y  $3\text{CaOSiO}_2$ . La escoria es poco abundante, de color pardo y aspecto brillante. Su fluidez se controla agregando espato flúor al revestimiento. Sube a la superficie con rapidez por lo que son poco probables las inclusiones. Se elimina con menos facilidad que la de los otros tipos de electrodos.

*Arco:* en general, la velocidad de fusión no es elevada ni tampoco soportan grandes intensidades de corriente. Ofrecen una velocidad de soldeo razonable en posición horizontal o cornisa y más rápida en vertical ascendente, porque en esta posición admiten una intensidad de corriente más alta que otros electrodos.

La longitud de arco es más corta que en el caso de los rutilos. La tensión de cebado es elevada,  $U_c > 65 \text{ V}$ . Por esta razón, algunos fabricantes proceden a impregnar de grafito, excelente conductor eléctrico, uno de los extremos del electrodo, para facilitar de esta manera el encendido del arco. Los básicos son más difíciles de manejar que los otros tipos de electrodos.

*Rendimiento:* Oscila en torno al 110 % ( el revestimiento contiene elementos metálicos).

*Metal depositado:* en el momento de la fusión se produce una verdadera micrometalurgia, con fijación de elementos metálicos en el metal fundido. Pueden obtenerse así, por adición de elementos adecuados tales como Mn, Cr, Ni, Mo, etc. soldaduras de elevadas características mecánicas y de alta resistencia contra determinados agentes corrosivos.

## 22.10

El metal depositado se encuentra prácticamente exento de impurezas, libre de hidrógeno ( $H_{20} \# 10 \text{ ppm}$ ) y de porosidad, si el revestimiento está seco. Posee además una elevada capacidad de deformación ( $\delta \cdot 30 \%$ ) y presenta una alta tenacidad.

*Precauciones específicas:* si el electrodo, por su higroscopicidad, ha captado humedad deposita un metal poco dúctil y, en determinadas circunstancias, propenso a fisuración bajo el cordón.

Para evitar ambos fenómenos, los electrodos básicos que hayan estado apuestos a un ambiente húmedo, deben secarse siguiendo estrictamente las recomendaciones de su fabricante.

La temperatura de secado en horno o estufa y el tiempo necesario de permanencia a esa temperatura deben ser los adecuados a la composición del revestimiento, que sólo el fabricante conoce con exactitud. En efecto, la humedad absorbida se encuentra en forma de hidrato lo que requiere temperaturas elevadas para extraer el agua atrapada en los cristales.

Como regla, se puede admitir que entre  $+ 10^{\circ}\text{C}$  y  $+ 40^{\circ}\text{C}$ , el contenido de agua del aire, con una humedad relativa del 100 % asciende a 1 gramo de agua por  $\text{m}^3$  de aire y  $^{\circ}\text{C}$ .

*Características mecánicas:* con estos electrodos, unos valores típicos de características mecánicas para aceros al carbono, serían los siguientes:

Carga de rotura:	CR = 54 Kg/mm <sup>2</sup>
Límite elástico :	LE = 44 Kg/mm <sup>2</sup>
Alargamiento :	$\delta = 28 \%$
Resiliencia :	Charpy a $0^{\circ}\text{C}$ \$ 130 J

*Aplicaciones:* el campo de aplicación es muy amplio. Una de las ventajas de los electrodos básicos es que pueden eliminar el S por su reacción con el Mn, formando compuestos que pasan a la escoria, por lo que la soldadura realizada con este tipo de electrodos muestra una gran resistencia al agrietamiento en caliente.

El metal depositado es poco sensible a la fisuración, incluso en soldaduras sometidas a fuertes tensiones de embridamiento por condiciones de rigidez. Se utilizan ampliamente en la soldadura de estructuras metálicas, recipientes sometidos a presión, construcción naval y maquinaria.

Para paliar el problema de su fuerte higroscopicidad, actualmente se están desarrollando electrodos básicos menos propensos a captar humedad: electrodos LMA (*Low Moisture Absortion*).

### e) Electrodo de gran rendimiento

Clasificación AWS de electrodos para aceros al carbono: AWS-6027 (ácido), AWS-E-7014 (rutilo), AWS-E-7018 (básico), AWS-E-7024 (rutilo) y AWS-E-7028 (básico).

*Características específicas:* se denominan electrodos de gran rendimiento aquellos que,

cualquiera que sea la naturaleza de la composición de su revestimiento, tienen un rendimiento superior al 130 %. Si en los electrodos clásicos, como acabamos de ver, el rendimiento suele oscilar entre el 80 % y el 100 %, con esta clase de electrodos se puede llegar hasta el 240 %.

El rendimiento de un electrodo viene dado por la relación del peso del metal depositado al peso de la varilla fundida. La norma UNE-14.038 versa sobre la determinación del rendimiento de los electrodos. En general, para su evaluación se desprecian 40 mm de su longitud, aproximadamente igual a la parte desnuda del alma que se aloja en la pinza portaelectrodos. Así, solo es válida una longitud de 410 mm en los electrodos de 450 mm y 310 mm para los que poseen una longitud original de 350 mm.

Esta clase de electrodos fue desarrollada por Van Der Willigen en Holanda a partir del año 1947, añadiendo polvo de Fe al revestimiento.

Parece lógico suponer que la posición sobremesa es la más fácil y favorable para la soldadura. En efecto, en esa posición el metal fundido se beneficia de la fuerza de la gravedad y se pueden conseguir las máximas velocidades de deposición. Después de ésta, la más ventajosa es la horizontal en ángulo. Por la economía que supone soldar en ambas posiciones se han desarrollado electrodos específicos que únicamente pueden emplearse en estas posturas de soldeo. Pertenecen a este grupo aquellos electrodos cuya penúltima cifra en su designación AWS es un 2. Se les llama también electrodos de contacto.

#### f) Electrodos de gran penetración

Estos electrodos permiten la realización de soldaduras con un número muy pequeño de pasadas en chapas de hasta 14 a 16 mm de espesor, sin achaflanado de la junta.

Normalmente, las soldaduras de juntas con bordes rectos se realizan en dos pasadas, la primera llega hasta la mitad del espesor, y la segunda pasada, ejecutada por la parte de atrás de la chapa, desborda sobre la primera.

La naturaleza del revestimiento que puede ser ácido o de rutilo con cierto contenido de productos celulósicos desempeña un papel esencial, es además muy rueso (el diámetro del electrodo queda multiplicado por dos) y puede soportar la aplicación de intensidades elevadas.

#### g) Electrodos de autocontacto

El revestimiento tiene hierro en polvo para posibilitar que el arco salte de forma espontánea, aún cuando se reinicie la soldadura con el cráter ya formado.

### **Normalización de electrodos.**

Las normas UNE establecen las reglas para la identificación de los electrodos revestidos, mediante símbolos que indican las características mecánicas del metal depositado; asimismo la UNE 14022 especifica los procedimientos para realizar los ensayos mecánicos que sirven para determinar la calidad de los electrodos.

## 22.12

UNE 14001 Aceros de alta resistencia a la fluencia  
UNE 14002 Aceros para fundiciones  
UNE 14003 Aceros al carbono y de baja aleación  
UNE 14005 Aceros de alta resistencia y criogénicos  
UNE 14006 Aceros inoxidables  
EN 499  
AWS (American Welding Society)