

INSTRUCCIÓN TÉCNICA  
FEBRERO 2020

SOLDADURA DE BARRAS  
CORRUGADAS DE  
ACERO INOXIDABLE  
AUSTENOFERRÍTICO (DÚPLEX),  
CON CORRUGADO DE ACERO  
AL CARBONO O DÚPLEX



cedi  
nox

Autor: Manuel Aracil Cadenas  
Editor: CEDINOX  
Asociación para la investigación y  
desarrollo del acero inoxidable  
Madrid, febrero de 2020  
©Cedinox

# INTRODUCCIÓN

Dependiendo del tipo de intervención de la reparación, puede ser necesario el soldeo de corrugado de acero al carbono a acero austeno-ferrítico (dúplex) o dúplex a dúplex.

La responsabilidad de la unión mediante soldadura y por lo tanto de la calidad exigible:

- Si la responsabilidad de la soldadura es baja, por ser únicamente para sustituir el “atado con alambre” de las barras de corrugado para el montaje de la armadura para un correcto hormigonado, debe seguirse UNE EN ISO 17660 -2:2008 Soldeo de armaduras de acero Parte 2–Uniones soldadas que no soportan carga. Debe haber un coordinador de soldeo y los soldadores deben recibir la formación adecuada para demostrar que tienen la habilidad necesaria según los test del anexo D de la norma. El coordinador confirmará el resultado positivo de cada soldador.
- Si la unión soldada estuviera sometida a esfuerzos y la responsabilidad fuera elevada, debe seguirse UNE EN ISO 17660 -1:2008 Soldeo de armaduras de acero Parte 1 – Uniones soldadas que soportan cargas. Debe haber un coordinador de soldeo y los soldadores deben recibir la formación necesaria y ser cualificados.

Hay que destacar que en ambos casos se requiere un coordinador de soldadura y se recomienda realizar un curso según EWF 544-01 o similar o demostrar la experiencia suficiente (UNE-EN ISO 14731:2008 Coordinador del soldeo. Tareas y responsabilidades. Apartado 6.1). En el caso de producirse defectos, será el coordinador de soldeo el que tome las medidas necesarias para evitarlas.

Para cumplir con la citada norma 1 y 2 se ha procedido como ejemplo, a realizar una cualificación del procedimiento de soldadura según UNE-EN ISO 15614-1:2018 y una cualificación de los soldadores de acuerdo con UNE-EN ISO 9606-1:2017.

Esta cualificación serviría también para confirmar que la instrucción de trabajo para las reparaciones consideradas en el apartado 1, han sido realizadas con los materiales y parámetros adecuados para producir una soldadura de calidad que aseguren la resistencia mecánica adecuada.

La instrucción de trabajo tiene que:

- 1 Definir las soldaduras a realizar.
- 2 Seleccionar el proceso de soldadura en obra.
- 3 Definir el equipo de soldadura necesario.
- 4 Selección del tipo de consumible y diámetro.
- 5 Orientar sobre los parámetros de soldadura.
- 6 Incluir la técnica operativa.
- 7 Los principales defectos de soldadura y las causas que los originan.
- 8 Riesgos y medidas de prevención adicionales a las de obra.
- 9 Incluir la Inspección visual.
- 10 Comprobar formación y/o cualificación.

# 1

## Definir las soldaduras a realizar

La unión que hay que soldar en obra es:

- Barra de acero al carbono corrugado, UNE36065 B 500SD de diámetros más usuales 6, 8, 10, 12, 16, 20 mm (el rango de espesores cualificado en el procedimiento de soldadura es de 5-32 mm diámetro), que ha formado parte del hormigón armado, cuyo extremo sale del hormigón a reparar y cuya composición típica puede verse en la Tabla 1.1. Esta barra se debe limpiar de los restos del hormigón antes de la soldadura.
- Barra de acero inoxidable austeno-ferrítico (dúplex) corrugado, cuyo extremo está limpio de uno de los tipos: REBARINOX 917 (ACX 917) – EN1.4462 -2205; REBARINOX 915 (ACX 915) EN 1.4362 - 2304; REBARINOX 903 (ACX 903)- EN1.4482 – 2001; de diámetros más usuales 6, 8, 10, 12, 16, 20 mm (el rango de espesores cualificado en el procedimiento de soldadura es de 5-32 mm diámetro).
- Las dos barras estarán solapadas una longitud de 10 cm.

La disposición de las barras, la decidirá el arquitecto, dependiendo de la facilidad del montaje y punteo antes de la soldadura, que permita ejecutar la soldadura desde un solo lado y en una sola pasada, dejando un cordón sano y exento de defectos que puedan favorecer la corrosión con el paso del tiempo. (Fig. 1.1)

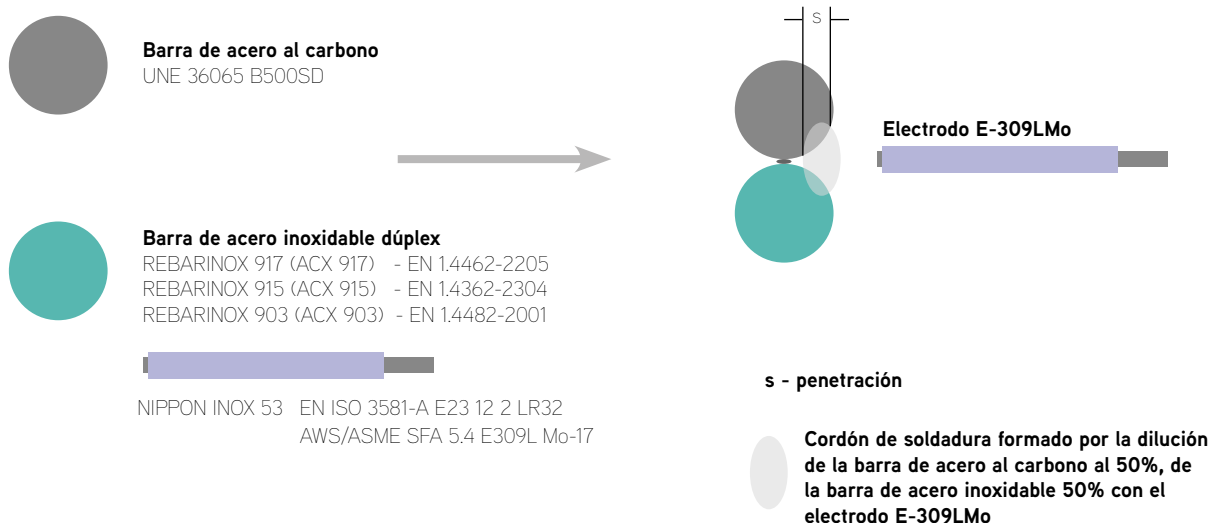


Fig. 1.1 Esquema de la soldadura desde un solo lado, de la barra de acero al carbono corrugado a la barra de acero inoxidable dúplex

Como metal de aporte consumible se ha seleccionado el electrodo tipo EN ISO 3581-A E 23 12 2 LR 32; AWS/ASME SFA 5.4 E-309LMO-17

Tabla 1.1 Composiciones químicas de barras de acero al carbono, inoxidable dúplex y electrodo.

| Barras corrugado /electrodo                     | Diámetros nominales más habituales* (mm) | C      | Si     | Mn      | Cr          | Ni        | Mo        | N         | P      | S      | Cu        |
|---|--|--------|--------|---------|-------------|-----------|-----------|-----------|--------|--------|-----------|
| B500SD  | 6-8-10-12-16-20                          | ≤0,22  | ≤0,050 |         |             |           |           | ≤0,12     | ≤0,05  | ≤0,05  | ≤0,80     |
| DUPLEX REBARINOX 915 (ACX 915) - EN 1.4362-2304 |  | ≤0,030 | ≤1,00  | ≤2,00   | 22,00-23,00 | 3,50-5,50 | 0,10-0,60 | 0,10-0,20 | ≤0,035 | ≤0,015 | 0,10-0,60 |
| DUPLEX REBARINOX 917 (ACX 917) - EN 1.4462-2205 |  | ≤0,030 | ≤1,00  | ≤2,00   | 22,00-24,00 | 4,50-6,50 | 3,00-3,50 | 0,05-0,20 | ≤0,035 | ≤0,015 |           |
| DUPLEX REBARINOX 903 (ACX 903) - EN 1.4482-2001 |  | ≤0,030 | ≤1,00  | 4,0-6,0 | 19,5-21,5   | 1,5-3,0   | 0,10-0,60 | 0,05-0,17 | ≤0,035 | ≤0,030 | ≤1,0      |
| Electrodo NIPPON INOX-53                        | 2,5-3,25-4,0-5,0                         | 0,022  | 0,7    | 0,8     | 22,5        | 12,5      | 2,8       |           |        |        |           |

\* El rango de espesores cualificado en el procedimiento de soldadura es de Ø5-32 mm

# 2

## Seleccionar el proceso de soldadura en obra

Para este manual, se ha descartado:

- Emplear la unión mecánica mediante acopladores de acero inoxidable que están disponibles y permiten conectar barras de acero al carbono a acero al carbono, de acero al carbono a inoxidable y de inoxidable a inoxidable.
- Emplear el procedimiento MIG/MAG, con más productividad con alambre macizo o tubular con gas y tubular sin gas de protección porque en la soldadura en obra, el gas de protección es arrastrado por el aire y también porque la instalación MIG/MAG necesita un alimentador de alambre y un soplete que es complicado de situar y mover en obra.

El proceso de soldadura más adecuado para trabajar en obra es el de electrodo revestido SMAW, Shielded Metal Arc Welding, (Fig. 2.1). El calor necesario para la fusión de los metales a unir, se produce mediante un arco eléctrico entre el extremo de un electrodo revestido y el metal de la unión a soldar.

La unión que habría que hacer sería la misma en la mayoría de las ocasiones, con la única variación de los diámetros de las barras de corrugado.

### Designación del proceso:

Soldadura con electrodo revestido  
(Shielded Metal Arc Welding - SMAW)  
UNE - EN ISO 4063: 2011

### Proceso 111:

Soldeo por arco con electrodo revestido

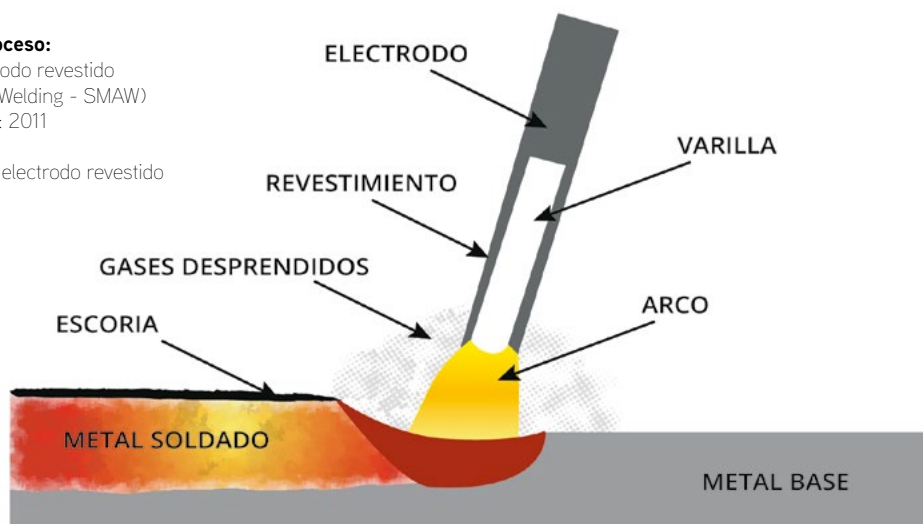


Fig. 2.1 Procedimiento de soldadura con electrodo revestido

El circuito eléctrico está formado por una fuente de alimentación que genera la corriente adecuada y dos terminales, uno conectado a la pinza porta electrodo donde se coloca el electrodo revestido y otro a la pinza de masa que se fija al metal o metales a unir. El circuito eléctrico se cierra mediante el arco que salta entre el extremo del electrodo revestido y el metal. (Fig. 2.2)

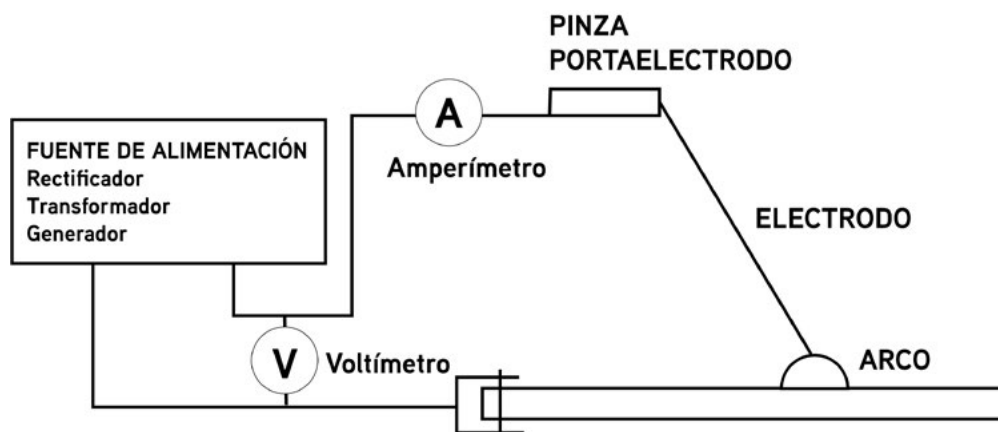


Fig. 2.2 Esquema de procedimiento de soldadura con electrodo revestido

Tocando con el extremo del electrodo al metal se produce el cebado del arco. Con el paso de la corriente se produce por efecto Joule, el calentamiento del extremo del electrodo y del punto de contacto del metal. Separando a continuación ligeramente el electrodo y manteniendo una separación apropiada, se producirá una atmósfera ionizada que permitirá el paso de la corriente y el mantenimiento del arco eléctrico.

Con el arco eléctrico se genera el calor necesario para elevar la temperatura por encima de la temperatura de fusión del metal y del electrodo, formándose el baño de fusión. Con el avance del baño de fusión tendremos el metal soldado y una escoria que habrá que eliminar.

El electrodo revestido (Fig. 2.3 y Fig. 2.4) está formado por una varilla metálica (alma), con composición similar al metal a unir y del revestimiento concéntrico a la varilla. Las principales características del electrodo revestido están en su revestimiento. Las funciones de este son:

- Dar estabilidad al arco, asegurando una buena ionización entre el extremo del electrodo y el metal.
- Proteger del contacto con el aire, las gotas fundidas a su paso a través del arco, el baño de fusión y el metal fundido.
- Formar una escoria que ayudará a reducir o eliminar las impurezas del baño de fusión, principalmente fósforo y azufre.
- Permitir un enfriamiento lento bajo la escoria del metal soldado.

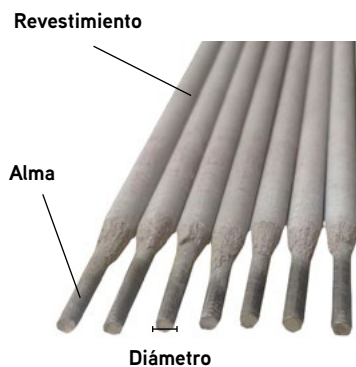


Fig. 2.3 Electrodo revestido. Varilla metálica y revestimiento



Fig. 2.4 Escoria separándose del cordón de soldadura

En el baño de fusión se producen reacciones entre los elementos del metal a unir, de la varilla metálica del electrodo y del revestimiento. Las características anteriormente mencionadas, ayudan a obtener las propiedades mecánicas requeridas.

## Aplicaciones

- Soldaduras de producción cortas, donde la velocidad de deposición no es importante.
- Trabajos de mantenimiento y reparación y en recargues.
- Construcciones en campo, donde otros procesos como el MIG/MAG (GMAW) que necesitan gas de protección y un alimentador de alambre que hace que sea complicada su utilización.
- Lugares de difícil acceso, donde haya que dejar la fuente de alimentación lejos de la soldadura y en posiciones complicadas.
- Los espesores/diámetros de la mayoría de las aplicaciones están entre 3 y 40 mm.
- Se utiliza frecuentemente en muchas industrias para la soldadura de tubería en combinación con el proceso TIG.
- El proceso se puede utilizar para la soldadura de aceros al carbono, aceros de baja aleación, aceros de alto límite elástico, aceros inoxidables, las fundiciones, aluminio, cobre, níquel y sus aleaciones.
- Los sectores de mayor aplicación son la construcción naval, estructuras, puentes, grandes tanques de construcción *in situ*, recipientes a presión y calderas, refinerías de petróleo, oleoductos y gasoductos.



## Ventajas

- El equipo es simple, económico y portátil.
- No se requiere gas de protección, ni agua para refrigeración, ni flux.
- El electrodo revestido, proporciona el metal de aporte y produce una escoria que protege el baño de fusión durante su enfriamiento.
- El proceso es menos sensible al viento que los procesos de soldadura protegidos con gas.
- Se pueden utilizar en áreas de acceso limitado y en cualquier posición.
- Más apropiado que otros procesos, por la ayuda del revestimiento, cuando hay falta de limpieza en el metal o en reparaciones.
- Es adecuado para la soldadura de la mayor parte de los metales y aleaciones de uso común.

## Limitaciones

- Es un proceso lento, discontinuo, con bajo tiempo de arco, con baja velocidad de soldadura y eficiencia de deposición, con la necesidad de retirar la escoria y no es posible emplearlo en automatismo o robot.
- Requiere habilidad por parte del soldador.
- No es aplicable a metales con bajo punto de fusión, como plomo, estaño, zinc y sus aleaciones, debido a que el intenso calor del arco es excesivo para ellos.
- No se pueden soldar metales de alta sensibilidad a la oxidación como el Ti, Zr, Ta y Nb, ya que la protección que proporciona la escoria y los gases que se forman, es insuficiente para evitar la contaminación por oxígeno de la soldadura.
- No es aplicable a espesores/diámetros inferiores a 1,5 mm (no es el caso presente).
- El proceso no resulta productivo para diámetros mayores de 40 mm, donde son más adecuados los procesos GMAW, FCAW y SAW.

## Tipos de revestimiento

Los electrodos revestidos se clasifican por el tipo de las reacciones químicas de las escorias. Para los electrodos de acero inoxidable, una de las clasificaciones más conocidas, es la AWS/ASME SFA 5.4.

Ejemplo:

Electrodo E-308L-16 indica que tiene un revestimiento de rutilo.

Electrodo E-308L-15 indica que tiene un revestimiento básico.

Los números 15, 16, 17 y 26 que siguen a la clasificación de acuerdo con su composición química indican:

(electrodo)-15. Indica un revestimiento básico

(electrodo)-16. Indica un revestimiento rutilo

(electrodo)-17. Indica un revestimiento rutilo

(electrodo)-26. Indica un revestimiento grueso

En la Tabla 2.1, se pueden observar el tipo de corriente y aplicaciones de los diferentes tipos de revestimientos en los electrodos revestidos de aceros inoxidables.

| Revestimiento |        | Tipo de corriente* | Aplicaciones  |
|---------------|--------|--------------------|---|
| 15            | Básico | CCEP               | Todas las posiciones con electrodo hasta 4,0 mm de diámetro.<br>Vertical, techo y aplicaciones en todas las posiciones como en la soldadura de tubos.   |
| 16            | Rutilo | CCEP y CA          | Todas las posiciones con electrodo hasta 4,0 mm de diámetro.<br>Estos electrodos además de titanio, llevan en el revestimiento elementos ionizantes como potasio para favorecer la soldadura con corriente alterna.<br>Soldadura en posición horizontal.<br>Vertical y techo cuando no hay disponible el revestimiento básico.  |
| 17            | Rutilo | CCEP y CA          | Todas las posiciones con electrodo hasta 4,0 mm de diámetro.<br>Estos electrodos son una variante al tipo 16, sustituyen en el revestimiento una parte del titanio por sílice.<br>Se diferencian del tipo 16 en que en la soldadura en horizontal y cornisa en ángulo, el cordón que se obtiene es plano o cóncavo, mientras que el tipo 16 tiende a plano o ligeramente convexo. Existen también diferencias en la soldadura en ángulo en vertical ascendente. |
| 26            | Grueso | CCEP y CA          | Horizontal o plana y cornisa en ángulo.<br>Tienen velocidades de deposición más elevadas que los electrodos para la soldadura en todas las posiciones, debido a que su revestimiento más grueso lleva polvos metálicos. Por su revestimiento grueso proporciona soldaduras en ángulo de mayor dimensión planas o cóncavas.<br>Normalmente necesita intensidades más elevadas que la de los electrodos para la soldadura en todas las posiciones.                |

\*CCEP: corriente continua con electrodo conectado al polo positivo.  
CA: corriente alterna.

Tabla 2.1

## Selección del tipo de corriente

El consumo de un equipo de corriente alterna CA (transformador) es mayor que el de un equipo de corriente continua CC (rectificador), pero con el coste del equipo es a la inversa, el coste de un equipo de corriente alterna es inferior. Pero como la mayor parte de los equipos son portátiles inverter, de poco consumo, la mayor parte de las aplicaciones se sueldan con corriente continua.

Para seleccionar la fuente de alimentación de energía adecuada se debe tener en cuenta el electrodo que se va a utilizar, de forma que pueda suministrar el tipo de corriente, CC o CA, rango de intensidades y tensión de vacío (OCV) que se requiera. Los electrodos básicos necesitan mayores tensiones de vacío que los otros tipos de revestimientos.

En el caso de necesitar soldar a una elevada distancia de la fuente de alimentación, será necesario considerar la soldadura con corriente alterna y seleccionar un electrodo que pueda soldar con este tipo de corriente en la posición de soldadura de la unión.

La comparación de las ventajas y limitaciones que tiene la utilización de corriente continua y alterna se resumen en la Tabla 2.2 siguiente.

| Características  | Corriente Continua CC   | Corriente Alterna CA  |
|--|---|---|
| Tipo de revestimiento.   | Todos los tipos son válidos.  | El revestimiento debe tener componentes que ayuden a restablecer el arco cuando cambia la polaridad. Hay que leer las indicaciones del fabricante en la etiqueta. |
| Cebado del arco.   | Fácil.  | Más difícil   |
| Posiciones de soldadura.   | Más fácil de soldar "en posición" (diferente de la horizontal como vertical o techo) donde deben utilizarse intensidades bajas.                                   | Fácil soldadura en todas las posiciones si se disponen de los electrodos apropiados.  |
| Soldadura a grandes distancias de la fuente de alimentación de corriente.                    | No apropiada, con esta corriente los cables deben ser lo más cortos posibles.   | Más adecuada.   |
| Polaridad, normalmente recomendado por fabricantes para algunos tipos de electrodos básicos. | Soldadura con menos dificultad.   | No hay polaridad.   |
| Salpicaduras.  | Pocas.  | Más abundantes.   |
| Mantenimiento del arco.  | Más fácil.  | Mayor dificultad excepto cuando se emplean electrodos de gran rendimiento.  |
| Espesores delgados.  | Preferible.   | Mayor dificultad.   |
| Espesores gruesos.   | Bajo rendimiento.   | Mejor para espesores gruesos, se logra un mayor rendimiento.  |
| Soplo magnético.   | Sensible cuando se suelden metales ferromagnéticos y en mayor medida si la soldadura esta en los extremos de la pieza. El efecto se incrementa con la intensidad. | Con este tipo de corriente no es frecuente que haya problemas.  |

## Selección de la la polaridad en la soldadura con corriente continua

Polaridad directa: CC electrodo al polo negativo

Polaridad inversa: CC electrodo al polo positivo

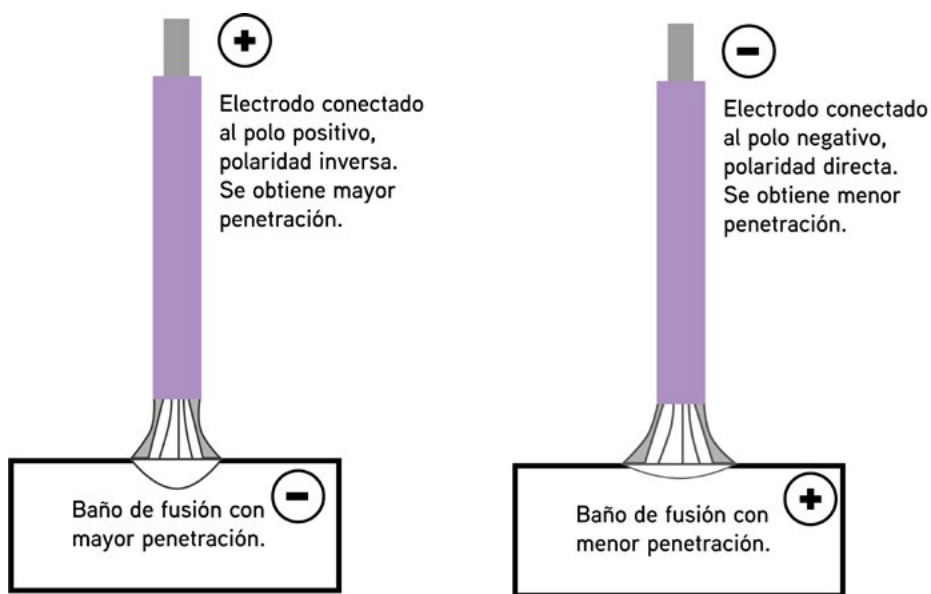


Fig. 2.5 Penetración en función de la polaridad con corriente continua

## Fuente de alimentación de energía

Para la soldadura con electrodo revestido 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 con corriente continua se utilizan rectificadores, mientras que para el soldeo con corriente alterna se utilizan transformadores.

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

Los electrodos básicos necesitan mayores tensiones de vacío que los otros tipos de revestimientos.

Hay que tener en cuenta para seleccionar el tipo de corriente en función de:

- Calidad necesaria.
- La distancia a que estará habitualmente la fuente de alimentación de la soldadura.
- La posición de soldadura.
- El tipo de electrodo. En la información del fabricante se indica el tipo de corriente recomendado y la tensión de vacío mínima necesaria.
- Diámetro de electrodo. Para estimar la intensidad máxima de soldadura, P.e. para el electrodo NIPPON INOX-53:
  - 3,25 mm diámetro x 350 mm longitud: la intensidad es 90-100A
  - 4,0 mm diámetro x 350 mm longitud: la intensidad es 130-140A
- Destreza del soldador.
- Tiempo de arco. Es el porcentaje de tiempo que el soldador está soldando. Se elige un periodo de 10 minutos. Por ejemplo un tiempo de arco de 25% indica que el soldador puede soldar de modo continuo durante 2,5 minutos y el equipo debe estar sin arco 7,5 minutos.

## Resumen

La **corriente continua** facilitará un mejor cebado del arco, soldadura más fácil en todas las posiciones, normalmente mejor con el electrodo conectado al polo positivo (polaridad inversa) y una mayor facilidad para soldar espesores delgados.

La **polaridad inversa** proporciona mayor penetración que la directa, y una mayor velocidad de deposición.

La **corriente alterna** tendrá mayor aplicación cuando la soldadura esté a distancia elevada de la fuente de alimentación, en la soldadura de espesores gruesos y cuando haya sople magnético.

# 3

## Definir el equipo de soldadura necesario

Algunos ejemplos de equipos, rectificadores, transformadores e inverter, indicando las características fundamentales para su selección, intensidad máxima a la que puede utilizarse en función de su factor de utilización, tensión de vacío, facilidad de inicio del arco, peso, etc.

### Fuente de alimentación



#### INVERTER 202 BASIC

200A al 25% 40°C, 230V (-40%,+15%) de 138V a 265V Fusible 16A. Tensión Vacío 98V. Hot-Start, Arcforce y Antistick regulables. Protección para fluctuaciones de tensión, generador (9,7kVA) y alargaderas de 50 m ligero y portátil 8,9 Kg. Con bandolera. Electrodo básicos, rutilos y celulósicos hasta 4 mm y Tig Liftarc con rampa de inicio y final regulables.

Fig. 3.1 Ejemplo de rectificador de soldadura de 200A y 25% de factor de utilización



Fig. 3.2 Ejemplos de transformadores de soldadura

#### RECTIFICADOR D-352

230/400V. 50/60 Hz. F.(3 x 25A)

Regulación por volante. F.U. 320A al 45%. Con ruedas, asa e indicador de intensidad. Salida auxiliar 220 V. Electrodo hasta 5 mm y TIG.



#### RECTIFICADOR D-452 T

3x400V. 400A al 60% y 310A al 100%

Rectificador móvil de corriente continua con regulación electrónica. Electrodo hasta 6 mm. Soldadura TIG. Amperímetro y Voltímetro digitales.



Fig. 3.3 Ejemplo de transformador de soldadura de 260A y 35% de factor de utilización

### **TRANSFORMADOR A-262.1**

230/400V. Regulación por manivela: 260 al 35%. Con indicador de intensidad, ruedas y asa. 60 kgs

Incluye kit accesorios: conjuntos pinza masa y porta electrodos, cepillo-piqueta y pantalla de mano



Fig. 3.4 Pinza porta electrodo

### **PINZA PORTA ELECTRODO**

Debe seleccionarse de acuerdo con la intensidad máxima de la fuente de alimentación. Si se selecciona para una intensidad inferior puede quemarse si se sobrepasa esta.

Su misión es la de sujetar el electrodo, conducir la corriente y facilitar la manipulación. Las mordazas de la pinza porta electrodo deben mantenerse en perfecto estado para evitar que un mal contacto provoque un sobrecalentamiento que se traduciría en una disminución de la calidad y dificultaría la ejecución de la soldadura. Si el porta electrodo que está incluido en la compra de la fuente de alimentación no es adecuado, se debe cambiar, también porque es importante que se adapte al soldador para que realice la soldadura lo mejor posible.

EJEMPLO:

Clásica-300 (300A) hasta 4,00 mm (1x35)

Clásica-400 (400A) hasta 5,00 mm (1x50)

## Selección correcta de los cables de soldadura

Una vez seleccionado el tipo de electrodo, su diámetro y la posición de soldadura, se estimará la intensidad de soldadura. A continuación se debe comprobar que la fuente de alimentación, la pinza porta electrodo y los cables de masa y pinza porta electrodo son adecuados para la intensidad de soldadura y el tiempo de arco.

En cualquier proceso de soldadura por arco eléctrico, las prestaciones dependen en gran parte, de la selección correcta de los cables y del estado en que se encuentran sus conexiones.

Se aconseja usar cables de soldadura lo más cortos posible y de sección adecuada a la corriente que se utiliza. (Véase Tabla 3.1)

| Cable | Longitud | Sección            | Amperaje (máx.) |
|-------|----------|--------------------|-----------------|
|       | <10 m    | 25 mm <sup>2</sup> | 200A            |
|       | <10 m    | 35 mm <sup>2</sup> | 250A            |
|       | <10 m    | 50 mm <sup>2</sup> | 300A            |

Tabla 3.1 Sección cable/intensidad para longitud <10 m de cables

Una excesiva resistencia de los cables de soldadura puede reducir la corriente suministrada durante el trabajo.

Si la longitud necesaria de los cables es superior a 10 m entonces la siguiente tabla puede servir de ayuda: sección de cables de soldadura adecuada, expresados en mm<sup>2</sup>, en función de la distancia e intensidad máxima requerida.

| Intensidad de corriente de soldadura (A) | Distancia desde la fuente de alimentación hasta la soldadura (m) |    |    |     |     |     |     |
|--|--|----|----|-----|-----|-----|-----|
|  | 15   | 20 | 30 | 40  | 45  | 50  | 60  |
| 100                                      | 35   | 35 | 35 | 35  | 50  | 50  | 50  |
| 150                                      | 35   | 35 | 50 | 50  | 70  | 70  | 90  |
| 200                                      | 35   | 50 | 50 | 70  | 70  | 95  | 100 |
| 250                                      | 35   | 50 | 70 | 70  | 95  | 100 | 150 |
| 300                                      | 50   | 70 | 70 | 95  | 100 | 150 | 150 |
| 350                                      | 50   | 70 | 95 | 100 | 150 | 150 | 200 |
| 400                                      | 50   | 95 | 95 | 150 | 150 | 200 | 210 |

Tabla 3.2 Selección de la sección de cable en función de la distancia y la intensidad



## Conexión de masa

También es importante que la conexión del cable de masa sea correcta. La situación del cable es de especial relevancia en el soldeo con cc.

Una situación incorrecta puede provocar el soplo 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 interrupción del arco. Hay de diferentes tipos (pinzas de tornillo, de palanca e imantadas) y si lo que está incluido con la compra de la fuente de energía no es la adecuada para la aplicación debe cambiarse.

Ejemplos:

- Conjunto masa 200A (1x25) cable 4 m 35-50 MP-200
- Conjunto masa 300A (1x35) cable 4 m 35-50 MP-400



Fig. 3.5 Conjunto de pinza de masa

# 4

## Selección del tipo de consumible y diámetro

Para la soldadura de la barra corrugada UNE 36065 B 500SD con uno de los tres tipos de barra de acero inoxidable dúplex:

REBARINOX 917 (ACX 917) - EN 1.4462 - 2205;

REBARINOX 915 (ACX 915) - EN 1.4362 - 2304;

REBARINOX 903 (ACX 903) - EN 1.4482 - 2001

se ha seleccionado el electrodo tipo EN ISO 3581-A E 23 12 2 LR 32; AWS/ASME SFA 5.4 E-309LMo-17

Ejemplo: NIPPON INOX-53

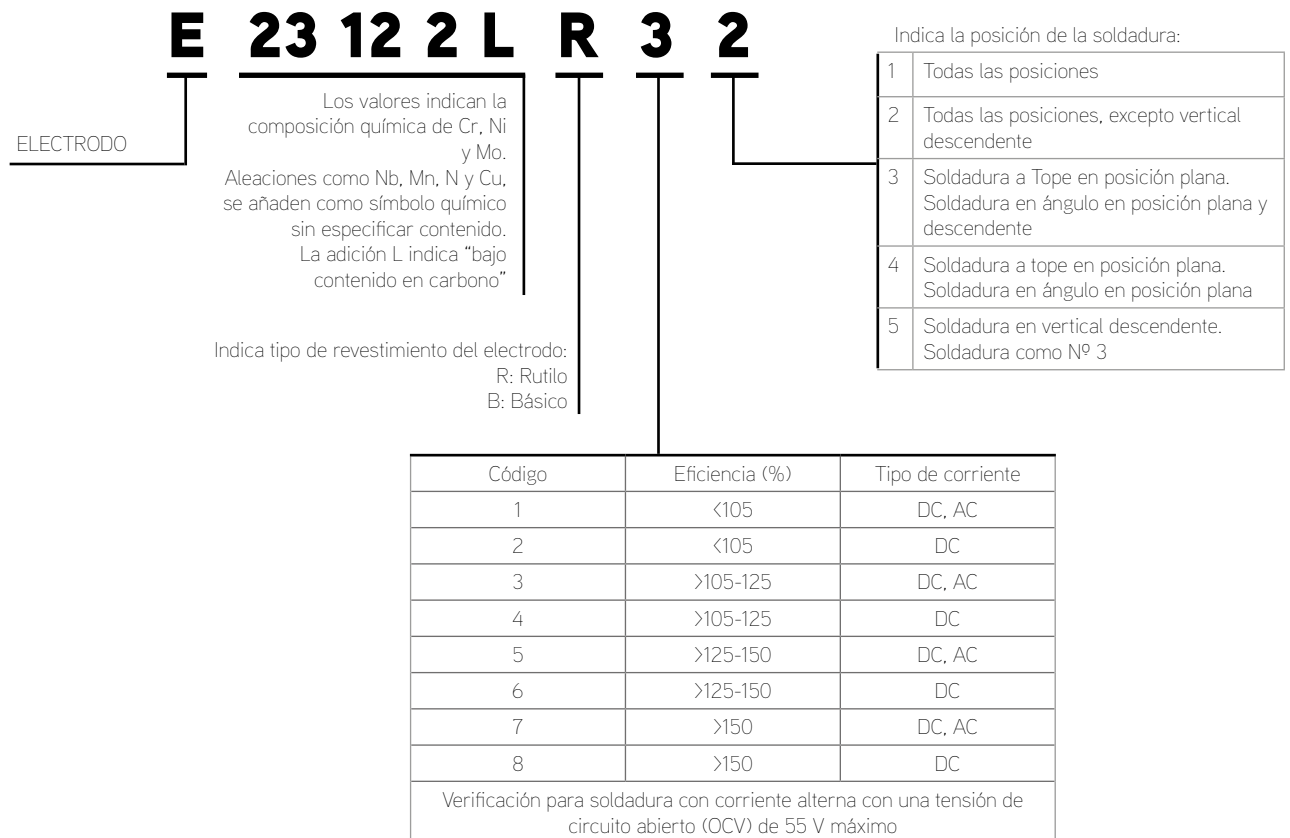


Tabla 4.1 Clasificación de acuerdo con EN ISO 3581-A utilizando como ejemplo el electrodo NIPPON Inox 53

# NIPPON INOX-53

## Normas de clasificación

AWS/ASME SFA 5.4 \_\_\_\_\_ E309LMo-17  
 EN ISO 3581-A \_\_\_\_\_ E 23 12 2 L R 3 2  
 Material N° \_\_\_\_\_ 1.4459

**Corriente de soldadura:** C.C. polo positivo y C.A.  
**Posiciones de soldadura:** Todas, excepto vertical descendente.  
**Resecado:** 1h a 250 °C.  
**Homologaciones:** CE

## Características

Electrodo con revestimiento de rutilo para la soldadura de aceros disimilares y plaqueados de inoxidable. El material de soldadura es acero al cromo-níquel-molibdeno austenítico con un bajo contenido en carbono. Para temperaturas de servicio hasta 400 °C. Por los elevados contenidos de aleación en el material soldado, los plaqueados y las soldaduras a tope resultan resistentes a la corrosión en la primera capa. Alta resistencia debido al incremento de ferrita delta. Destaca por su capacidad de trabajar a altas intensidades formando pocas proyecciones. Fácil desprendimiento. La temperatura máxima de servicio en uniones blanco-negro es de 300 °C.

## Aplicaciones

Aceros disimilares (uniones blanco-negro), plaqueados de inoxidable y aceros difícilmente soldables.

| ASTM      | Nº W   | EN 10088-1/2          | UNS    | ASTM     | Nº W   | EN 10088-1/2        | UNS    |
|-----------|--------|-----------------------|--------|----------|--------|---------------------|--------|
| (TP)316   | 1.4401 | X 5 CrNiMo 17-12-2    | S31600 | (TP)316L | 1.4404 | X 2CrNiMo 17-12-2   | S31603 |
| (TP)316LN | 1.4406 | X 2 CrNiMoN 17-11-2   | S31653 |          | 1.4429 | X 2 CrNiMoN 17-13-3 |        |
| (TP)316L  | 1.4435 | X 2 CrNiMo 18-14-3    | S31603 |          | 1.4436 | X 3 CrNiMo 17-13-3  |        |
| 316 Ti    | 1.4571 | X 6 CrNiMoTi 17-12-2  | S31635 | ASTM     | Nº W   | EN 10213            | UNS    |
| 316 Ti    | 1.4573 | GX 3 CrNiMoCuN 24-6-5 | S31635 |          | 1.4408 | GX 5 CrNiMo 19-11-2 |        |
| 316Cb     | 1.4580 | X 6 CrNiMoNb 17-12-2  | S31640 | CF-3M    |        |                     | J92800 |

## Propiedades mecánicas del material depositado

| Tratamiento térmico<br>Temperatura de ensayo | (°C)                 | Sin tratamiento |     |
|--|----------------------|-----------------|-----|
|  |                      | +20             | -40 |
| Limite elástico 0,2%                         | (N/mm <sup>2</sup> ) | 460             |     |
| Resistencia a tracción                       | (N/mm <sup>2</sup> ) | 650             |     |
| Alargamiento (5xD)                           | (%)                  | 32              |     |
| Resiliencia (ISO-V)                          | (J)                  | 60              | 45  |

## Análisis químico del material depositado

| C     | Si  | Mn  | Cr   | Ni   | Mo  |
|-------|-----|-----|------|------|-----|
| 0,022 | 0,7 | 0,8 | 22,5 | 12,5 | 2,5 |

**Ferrita:** 20FN (WRC)

## Datos de suministro y parámetros de soldadura

| Ø (mm) | Longitud (mm) | Intensidad (A) | Peso por paquete (kg) | Peso aproximado (kg/1000 uds) | Nº Electrodo por paquete |
|--------|---------------|----------------|-----------------------|-------------------------------|--------------------------|
| 2,0    | 300           | 40 - 50        | 4,0                   | 12,5                          | 320                      |
| 2,5    | 350           | 60 - 70        | 5,0                   | 22,7                          | 220                      |
| 3,2    | 350           | 90 - 100       | 5,0                   | 36,0                          | 139                      |
| 4,0    | 350           | 130 - 140      | 5,0                   | 53,8                          | 93                       |
| 5,0    | 450           | 170 - 180      | 6,5                   | 106,6                         | 61                       |

## CONSERVACIÓN Y MANIPULACIÓN DE LOS ELECTRODOS

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 y 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.

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.

Los revestimientos de los electrodos son higroscópicos (absorben y retienen humedad). Un electrodo húmedo puede provocar poros y fisuras en frío. Para disminuir estos problemas, los electrodos deben ser empaquetados, almacenados y manejados en las condiciones adecuadas, en locales limpios dotados de una regulación de temperatura y humedad adecuadas.

Los electrodos básicos (de bajo contenido en hidrógeno), que hayan permanecido expuestos a la humedad ambiente durante algún tiempo, deben 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, donde se mantengan los electrodos a temperaturas uniformes de 65 a 150°C de la que se vayan sacando en número reducido para su utilización más inmediata.

## ALMACENAMIENTO

Todos los electrodos revestidos son sensibles a la absorción de humedad, si no se almacenan bajo unas condiciones ambientales correctas, que deben ser dadas a conocer por el fabricante.

Dependiendo del tipo de revestimiento, un contenido de humedad puede ocasionar la formación de poros o fisuras producidas por el hidrógeno.

Los electrodos básicos, se utilizan principalmente cuando se necesitan en la unión buenas propiedades mecánicas y como por su revestimiento son especialmente sensibles a la humedad si su almacenamiento no se ha efectuado en las condiciones de humedad apropiadas, pueden producir poros y fisuras por hidrógeno en el metal de soldadura.

Como ejemplo, para electrodos de acero inoxidable, el almacenamiento manteniendo los electrodos con el embalaje original, los valores recomendados por algunos fabricantes son control de humedad y temperatura dentro de los límites:

| Temperatura °C | Humedad relativa máx. (%) |
|----------------|---------------------------|
| 5 - 15         | 60                        |
| 15 - 25        | 50                        |
| >25            | 40                        |

Tabla 4.2 Intervalos de temperatura y humedad para almacenamiento de los electrodos

Una recomendación es considerar el tiempo máximo de almacenamiento de 3 años. Después de este tiempo los electrodos deben ser revisados antes de su utilización.

## RESECADO

Los electrodos que hayan sido sometidos a una fuerte contaminación por humedad por haber estado expuestos durante largos periodos de tiempo en el exterior, es dudoso que puedan recuperar su estado inicial y deben ser desechados. Igualmente los electrodos que tengan falta de revestimiento en algunos lugares.

Los electrodos después de que hayan estado en condiciones dudosas o no conocidas, deben secarse a la temperatura y tiempo que se indica en el paquete. Debe seguirse la información del fabricante, como condiciones generales, el tiempo de resecado debe ser de 1-6 horas a temperatura entre 200-350°C.

| ELECTRODO SFA 5.4 | TEMPERATURA SECADO DURANTE 2H (°C) |
|-------------------|------------------------------------|
| E 308L-16         | 350                                |
| E 308L-17         | 350                                |
| E 308L-15         | 200                                |
| E 347-17          | 350                                |
| E 347-15          | 200                                |
| E 316L-26         | 350                                |

Tabla 4.3

Una vez resecados los electrodos, hay que mantenerlos en horno entre 75-125°C o en estufa.

Dependiendo del fabricante, no se recomienda resecar los electrodos más de 2-3 veces.

Los electrodos con revestimiento básico deben ser resecados antes de su empleo cuando el paquete de embalaje haya estado abierto y se requiera calidad radiográfica en el metal soldado.

## SELECCIÓN DE 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.

Los electrodos de mayor diámetro se seleccionan para la soldadura de materiales de gran espesor y para la soldadura en posición plana (PA). En la soldadura en posición cornisa (PC), vertical (PF) y bajo techo (PE), 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.

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. El aporte térmico depende directamente de la intensidad, voltaje del arco y velocidad de soldadura, siendo mayor cuanto mayor es el diámetro del electrodo. Por tanto, cuando se requiera aporte térmico bajo, se recurrirá a electrodos de pequeño diámetro.

Se deberá emplear:

- Electrodos de bajo diámetro (2,0; 2,5; 3,25 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 con diámetros elevados para uniones de piezas de espesores medios y gruesos, soldaduras en posición plana y recargues (3,25; 4,0; 5,0 mm)

# 5

## Parámetros de soldadura

### Intensidad de soldadura

Cada electrodo tiene un rango de intensidades en función de su diámetro y que debe constar en la información del fabricante. Si se utilizaran intensidades por encima de este rango, se producirían defectos como mordeduras, proyecciones, intensificación de los efectos del soplo magnético, fisuras y mala separación de la escoria.

Dentro del rango de intensidad para cada diámetro, la intensidad a utilizar depende de la posición de soldeo y del tipo de unión. En la Tabla 5.1 se indica el nivel de intensidad dentro del rango recomendado en función de las diferentes posiciones de soldeo, tomando como ejemplo el electrodo NIPPON INOX 53 de 3,25 mm de diámetro, con un rango de intensidades entre 90-100 A.

Se puede estimar que la intensidad es la correcta cuando al soldar, a tope, la cavidad visible que deja el baño de fusión (*keyhole* – ojo de cerradura) se mantiene con un tamaño similar a la de la separación de bordes, si esta cavidad se cierra, la intensidad es baja y si se hace más grande, es excesiva.

En la [Figura 5.1](#) se puede observar el efecto sobre el cordón de soldadura de la intensidad.

| Posición de soldadura          | Rango de intensidad electrodo EN ISO 3581-A E 23 12 2 LR 32: AWS/ASME SFA 5.4 E-309LMo-17 de 3,25 mm diámetro: 90-100 A |               |                 |
|--------------------------------|---|---------------|-----------------|
|                                | Límite inferior   | Límite normal | Límite superior |
| PA-Plana                       |   | 95            |                 |
| PB-Ángulo horizontal o cornisa |   |               | 100             |
| PF-Vertical ascendente         | 92  |               |                 |
| PC-Cornisa                     |   | 95            |                 |
| PE-Bajo techo                  | 90  |               |                 |

Tabla 5.1 Ejemplo de intensidades a emplear con electrodo de 3,25 mm diámetro en función del tipo de unión y posición de soldadura

## Longitud del arco

La longitud del arco depende del tipo de electrodo, su diámetro, la posición de soldadura y la intensidad de corriente. Como regla general debe ser igual al diámetro del alma del electrodo, excepto cuando se empleen electrodos con revestimiento grueso o electrodos básicos, que deberá ser más corto.

Variaciones en la longitud de arco producen:

- Una variación en el voltaje y en la intensidad y por lo tanto en la penetración.
- Un arco excesivamente largo, hará que la función del revestimiento pierda capacidad de protección del baño de fusión y se puede producir porosidad y contaminación por oxígeno y nitrógeno del aire.
- Un arco excesivamente corto producirá cortocircuitos durante la transferencia de metal.

En la [Figura 5.1](#) se puede observar el efecto sobre el cordón de soldadura de la longitud de arco.

## Velocidad de soldadura

La velocidad de soldadura durante el soldeo debe ajustarse de tal forma que el arco adelante ligeramente el baño de fusión. La velocidad dependerá de:

- Posición de soldadura
- Tipo de corriente, polaridad e intensidad
- Velocidad de fusión del electrodo
- Espesor del metal a soldar
- Tipo de unión y separación de bordes
- Condición de la superficie. Limpieza
- Manipulación y destreza del soldador.

Cuanto mayor es la velocidad de soldadura, 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.



La velocidad de soldadura también afecta al aporte de calor, y este afecta a la estructura metalúrgica de la soldadura y a la zona afectada por el calor.

En la Figura 5.1 se puede observar el efecto sobre el cordón de soldadura de la velocidad de soldadura.

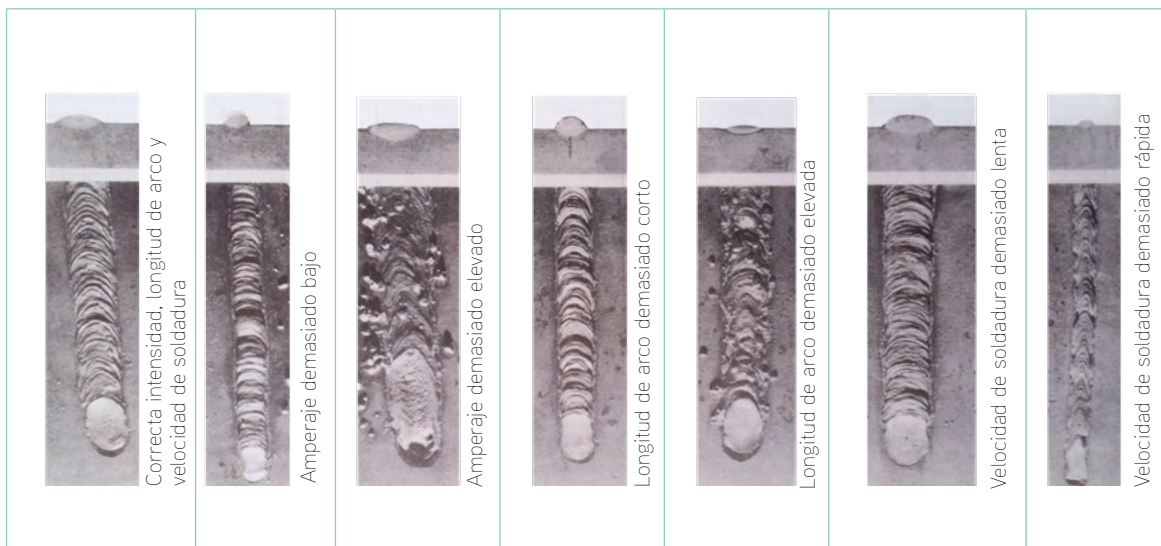


Fig. 5.1 Efecto sobre el cordón de soldadura, de la intensidad, longitud de arco y velocidad de soldadura

# 6

## Técnica operativa

### Ajuste de la fuente de alimentación (Equipo de soldadura)

Comprobar que los cables masa y pinza porta electrodo están bien conectados, en el caso de soldar con corriente continua, comprobar que el cable de la pinza porta electrodo está conectado al polo positivo (polaridad inversa).

Seleccionar la intensidad adecuada para el diámetro del electrodo y probar a cebar el electrodo en pieza de prueba.

### Punteado

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 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, de lo contrario podrían formarse fisuras (Fig. 6.1).

Si la longitud a soldar es larga, el punteado se iniciará en el centro de la pieza.



Fig. 6.1 Punteado correcto con forma cóncava, e incorrecto con forma convexa.

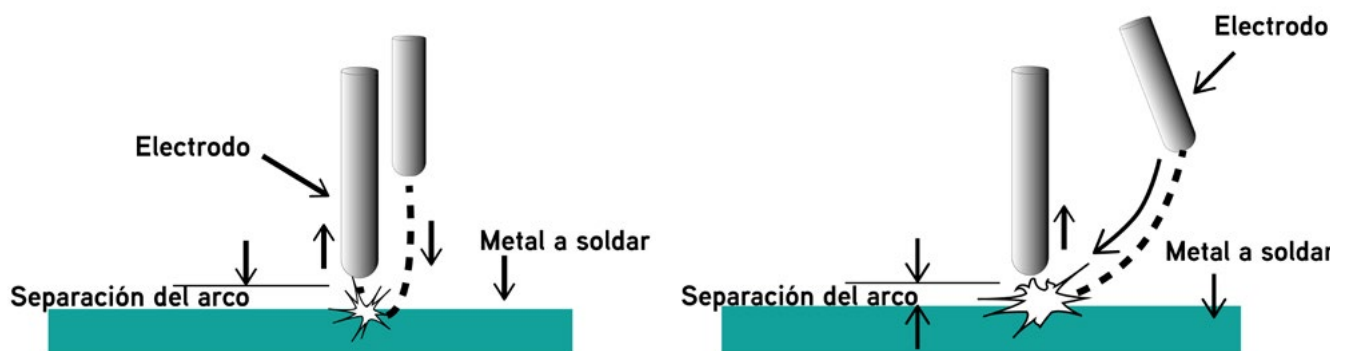
## Inspección antes de soldar

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

- La barra de acero al carbono debe estar perfectamente limpia de restos de hormigón, óxidos, grasas, aceite, agua, proyecciones y se ha efectuado la limpieza adecuada
- Las barras están bien niveladas y alineadas.
- Comprobar que los punteos de soldadura previos están bien realizados, sin poros, fisuras ni abultamientos. Si existe alguna de estas anomalías se eliminarán.

## Cebado del arco

El arco se establece “golpeando” o “raspando” ligeramente el extremo del electrodo sobre la pieza en las proximidades del lugar donde el soldeo vaya a comenzar y a continuación se retira lo suficiente de forma rápida para producir un arco de la longitud adecuada (Fig. 6.2)



Cebado del arco: manteniendo el electrodo vertical a la pieza a soldar, golpeando en el metal y separando el electrodo rápidamente para producir la separación del arco e impedir que el electrodo se suelde al metal.

Cebado del arco: manteniendo el electrodo con un ángulo con la pieza a soldar, raspar la superficie con la punta del electrodo y levantarlo rápidamente para producir la separación del arco.

Fig. 6.2 Formas de cebado del arco.

Cuando hay falta de destreza y el electrodo se “pega” es necesario apartarlo rápidamente, de otra forma se sobre calentará y los intentos de retirarlo de la pieza sólo conseguirán doblarlo, necesitando un martillo y cortafrío para su retirada.

Los nuevos equipos *inverter* incorporan ventajas como que favorecen el cebado (*Hot start*), estabilidad del arco (*Arc force*) y la soldabilidad para evitar que se “pegue” el electrodo.

Para evitar que en el lugar donde se cebe el arco se produzca porosidad, la técnica que se suele emplear es cebar el arco una pequeña distancia por delante de donde se inicie la soldadura. Una vez cebado el arco se mueve hacia atrás, hacia el lugar donde debe iniciarse la soldadura, pasando a continuación por donde se cebó el arco y refundiendo cualquier pequeño defecto que pudiera haberse producido.

## Observación del baño de fusión

Es muy importante distinguir entre el 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.

## Ejecución del soldeo

La soldadura de las barras, solo se puede realizar desde un lado, el soldador deberá mantener la longitud del arco lo más constante posible, moviendo uniformemente el electrodo hacia la pieza según se vaya 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.

Para la soldadura de las dos barras en la posición cornisa, con un cordón recto para mayor facilidad y manteniendo el electrodo con los ángulos indicados en la [Fig. 6.3](#), de 90° con el plano vertical y 5-10° inclinado hacia la dirección de avance.

Cuando la separación en la raíz es muy grande se debe dar balanceo de avance y retroceso del electrodo, a fin de dar tiempo a que se solidifique el baño de fusión, evitando así la caída del material fundido. Se deberá llevar más avanzada la parte baja del cordón. [Fig. 6.4](#).

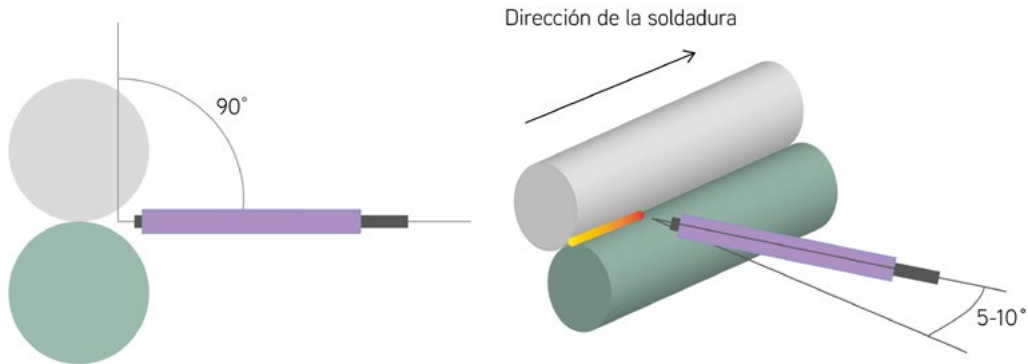
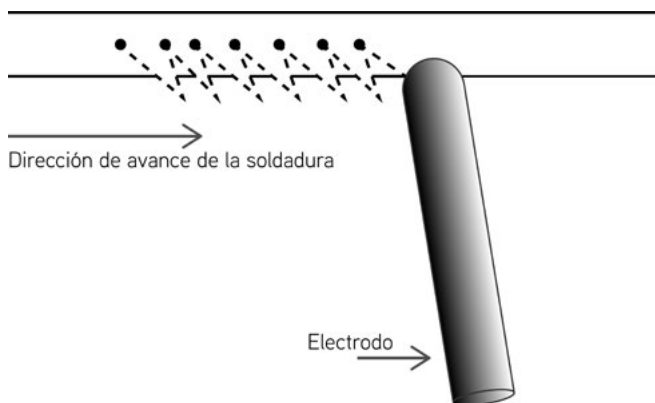
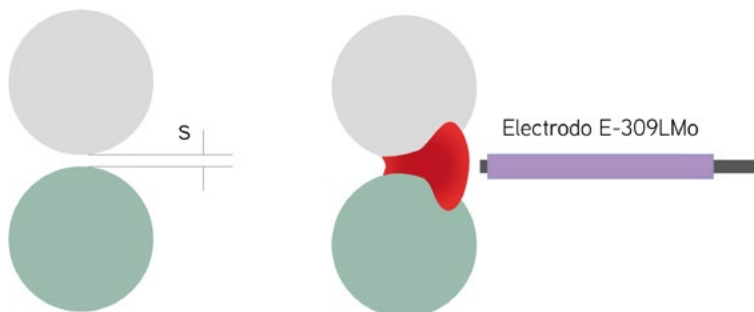


Fig. 6.3 Ángulos que debe llevar el electrodo en la soldadura en cornisa



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. (Fig. 6.4)

Fig. 6.4 Tipo de movimiento para cordones con balanceo en posición



Las corrugas de las barras deben proporcionar la separación necesaria para facilitar la penetración. (Fig. 6.5)

S: separación necesaria que deben proporcionar las corrugas para ayudar a conseguir la penetración adecuada

Fig. 6.5 Separación de barras proporcionada por las corrugas para mejorar la penetración

## Interrupción del arco

En la soldadura de las dos barras, se debe tratar que no haya que hacer empalmes, se puede aprovechar cada electrodo para realizar dos uniones, no se debe interrumpir el arco de forma brusca, ya que pueden producirse fisuras y poros en el cráter del cordón.

Para minimizar el riesgo de provocar un defecto en la soldadura, se puede realizar lo siguiente:

- Acortar el arco de forma rápida, y a continuación mover el electrodo lateralmente fuera del cráter. Esta técnica se emplea cuando el electrodo se ha consumido y hay que reemplazarlo, continuando el soldeo a partir del cráter.
- Detener el movimiento de avance del electrodo y permitir el llenado del cráter, a continuación se retira el electrodo.
- Para evitar el cráter, antes de interrumpir el arco, se retrocede sobre el mismo el cordón unos 10 mm, dando al electrodo una inclinación contraria a la que llevaba, de este modo se rellena el cráter.

## Empalmes de los cordones de soldadura

Como se ha mencionado anteriormente, como estamos tratando de una soldadura repetitiva, se puede planificar de modo que no haya que realizar empalmes. En el caso de que haya que realizarlos, se debe realizar del modo apropiado para evitar, fisuras e inclusiones de escoria.

Se debe utilizar la piqueta para eliminar la escoria (utilizar gafas de protección transparentes) y utilizar la esmeriladora para sanear el cráter, si se hubiera producido (gafas).

Se ceba el arco unos 10 mm por delante del cráter del cordón anterior.

Con el arco ya iniciado, se retrocede hacia el cráter saneado del cordón anterior y se refunde.

Una vez que se ha rellenado el cráter, se prosigue la soldadura.

## **Limpieza de la escoria (Utilizar gafas de protección)**

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

Se deberá retirar la escoria especialmente en los bordes del cordón que es donde puede quedar ocluida, utilizando la esmeriladora si fuera necesario.

Comprobar con espejo que no hay escoria en la raíz de la soldadura.

Comprobar que la penetración en la raíz ha sido correcta.

Cepillar la unión soldada.

Como en la soldadura que estamos tratando, solo hay un cordón de soldadura, se revisaría la unión visualmente y estaría terminada.

## **Reparación de defecto**

Si por algún motivo hay que hacer alguna reparación, como quitar algún descuelgue o salpicadura, sanear alguna fisura, cráter, mordedura o falta de fusión en los bordes, debe hacerse con las medidas de seguridad necesarias y utilizando las herramientas (esmeriladora, cepillo, piqueta) de modo correcto para evitar contaminar la barra de acero inoxidable.

## Diferentes zonas de la unión afectadas por el calor de la soldadura.

Por tratarse de una unión entre dos metales diferentes y en una unión de dos barras solapadas, puede haber zonas con diferente resistencia a la corrosión y zonas que se han visto afectadas por el calor.

Como medida de prevención en la reparación hay que considerar que las zonas afectadas por el calor de la soldadura tienen una resistencia a la corrosión inferior a la de la barra de acero inoxidable

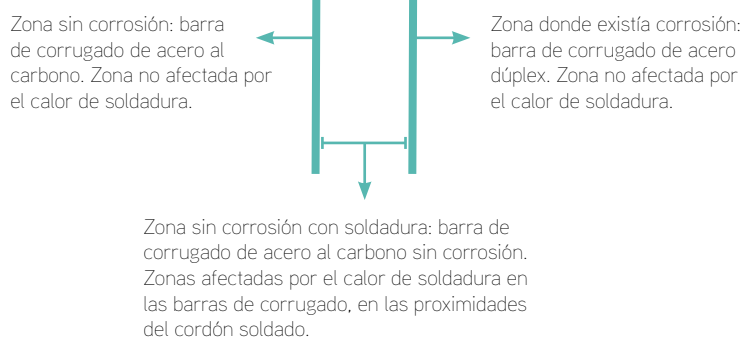
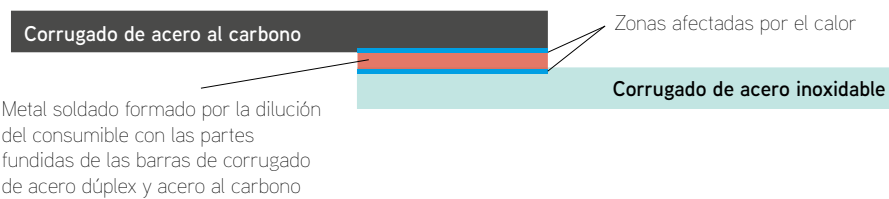


Fig. 6.6



## Soplo magnético del arco

En la soldadura con electrodos revestidos, se puede producir un soplo magnético (Fig. 6.7) del arco al soldar metales ferromagnéticos. Se produce por la distorsión del campo magnético sobre el arco. Este fenómeno se suele presentar en los extremos de las piezas y al soldar cerca de la conexión de la masa. Se presenta más frecuentemente cuando se suelda con corriente continua, con corriente alterna es menos frecuente.

Para eliminar o disminuir el soplo magnético, se puede alejar la masa todo lo posible y soldar con un arco lo más corto posible.

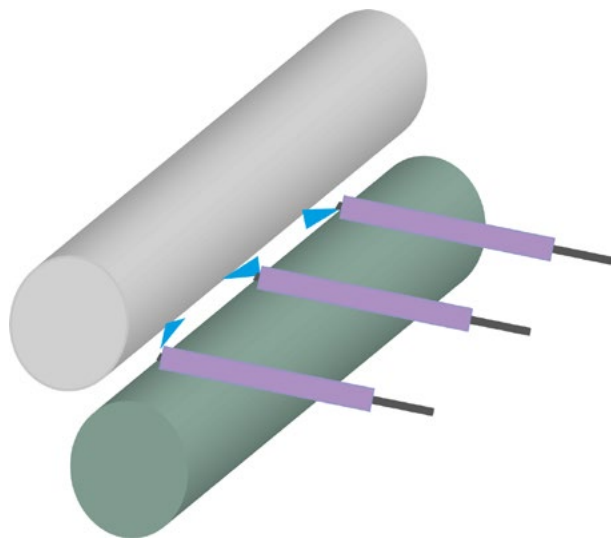


Fig. 6.7 Efecto del soplo magnético sobre el arco

# 7

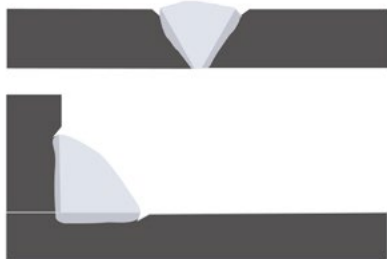
## Principales defectos de soldadura y las causas que los originan

No se refieren a las escorias, coloraciones o termo coloraciones y salpicaduras, que son inherentes con el tipo de soldadura, se refieren a los originados por una mala práctica, como falta de penetración, mordeduras, fisuras, sobre cordón o exceso de metal aportado, poros, inclusiones de escoria, etc. Estos defectos tienen un impacto negativo en las propiedades mecánicas y en la resistencia a la corrosión, por ser difícil mantener una superficie limpia. Deben ser eliminados o saneados, normalmente por esmerilado, y reparados por soldadura.

En la [Fig. 5.1](#) se puede observar el efecto sobre el cordón de soldadura de la intensidad, longitud de arco y velocidad de soldadura. Un mal ajuste de estos parámetros puede ayudar a provocar defectos.

En esta información se resumen los principales defectos de soldadura y las causas que pueden originarlos. Cada proceso de soldadura tiene características propias que facilitarán la posibilidad de producir determinados defectos.

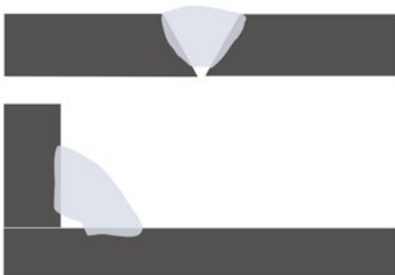
### MORDEDURAS



#### Causa:

- Intensidad excesiva.
- Voltaje demasiado elevado.
- Arco demasiado largo.
- Inclinación del electrodo incorrecta. Inclinarse el electrodo hasta que el ángulo de desplazamiento sea de 5-10°.
- Movimiento defectuoso del electrodo.
- Diámetro consumible demasiado grueso.
- Velocidad de desplazamiento.

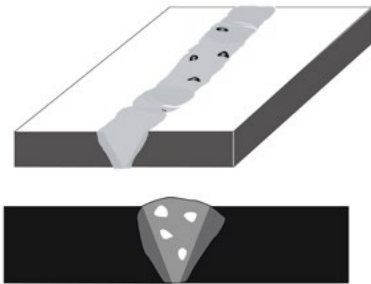
### FALTA DE PENETRACIÓN



#### Causa:

- Intensidad de soldadura baja.
- Velocidad de soldadura excesiva.
- Separación en la raíz muy pequeña, ángulo de bisel demasiado pequeño.
- Talón de la raíz demasiado elevado.
- Desalineamiento entre piezas.

## POROSIDAD



### Causas:

Falta de limpieza en los bordes de la unión, pintura o grasa.  
Intensidad excesiva.  
Mala técnica operatoria, soldar con el arco demasiado largo  
Electrodos con humedad en el revestimiento o con mal secado.  
Velocidad de soldadura excesiva, enfriándose el baño de fusión demasiado rápido, no permitiendo la salida de gases formados.  
Condiciones atmosféricas desfavorables.

## INCLUSIONES DE ESCORIA



### Causas:

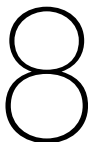
Baja intensidad  
Velocidad soldadura elevada y enfriamiento demasiado rápido que no permite la soldadura de la escoria.  
Falta de limpieza de la escoria, en la soldaduras de varias pasadas.  
Mala preparación de la unión con poca separación de bordes y bisel con ángulo reducido.  
Protección deficiente del baño de soldadura, que favorece la aparición de óxidos.

## FISURAS EN EL CRÁTER



### Causa:

Por interrumpir el arco de forma rápida.



## Riesgos y medidas de prevención adicionales a los de obra

En este apartado sólo se mencionaran los riesgos y las medidas de seguridad que son específicas del proceso de soldadura con electrodo revestido, que deben tener en cuenta los trabajadores que realicen la soldadura. Deben utilizar el EPI (equipo de protección individual) de acuerdo con las tareas a realizar.

También se debe considerar cómo puede afectar la soldadura al resto de trabajadores y si hay que tomar medidas de protección adicionales a las existentes en obra. Es aconsejable que el responsable de seguridad de la obra haga una evaluación de los riesgos potenciales que pueden aparecer por la inclusión del proceso de soldadura.

### Riesgos

#### Por el tipo de trabajo y lugar.

- Caídas.
- Atrapamientos.
- Sujetos punzantes.

#### Por la maquinaria utilizada

Contacto eléctrico

Porta electrodos, cables, fuentes de alimentación

#### Agentes producidos por la soldadura

- Humos. Como la soldadura se realizará en el exterior, no debe ser un riesgo importante, pero sí se debe conocer que si en algún momento por las circunstancias de obra hay que soldar en un lugar cerrado, los humos que se desprenden de la soldadura son perjudiciales y deben ser tenidos en cuenta para en este caso, poner el equipo necesario de protección individual EPI.
- Radiación. La persona que realiza la soldadura, debe protegerse de acuerdo con el tipo de soldadura a realizar, pero es conocido que la radiación UV (ultravioleta) también afecta a las personas próximas, sobre todo si se suelda en taller o calderería donde el reflejo de las paredes es importante. Como la soldadura de las barras se hará en obra, el efecto de la radiación será inferior por no existir dicho reflejo de paredes, pero debe tenerse en cuenta.

- Proyección de partículas. Si se suelda en altura, pueden caer salpicaduras a los trabajadores y también a depósitos con productos inflamables. Por lo tanto se deben tomar las precauciones necesarias.
- También durante la preparación de la soldadura se pueden producir partículas.
- Ruido. El proceso de soldadura con electrodo revestido no produce ruido, lo que sí produce ruido es la preparación de la soldadura, cuando haya que cortar las barras de acero al carbono y de acero inoxidable con la radial. También puede producir ruido al sanear con la esmeriladora los defectos de la soldadura.

### Medidas de prevención

#### Protección del equipo

Debe estar conectada la línea de tierra.

#### Protección Personal

Pantallas o cascos provistos de filtros y cubre filtros que se deben elegir de acuerdo con el proceso y la intensidad de soldadura.

Guantes, manguitos, mandiles de cuero y calzado de seguridad apropiados para protección de radiación, calor y aislantes de la electricidad.

### Protección de ojos

Se prohíbe el uso de lentes de contacto en soldadores. Los soldadores, ayudantes y gente próxima deben llevar gafas de seguridad con los filtros necesarios que eviten las radiaciones perjudiciales para el ojo humano. NTP 6 (INSHT) Radiación en soldadura. Guía para la selección de oculares filtrantes.

Para el soldeo manual con electrodo revestido (GMAW) deben utilizarse los siguientes filtros dependiendo del nivel de intensidad necesario para realizar la soldadura con el electrodo revestido.

| INTENSIDAD (A) | Nº FILTRO INFERIOR | Nº FILTRO ADECUADO* |
|----------------|--------------------|---------------------|
| Menor de 60    | 7                  | --                  |
| 60 - 160       | 8                  | 10                  |
| 160 - 250      | 10                 | 12                  |
| 250 -550       | 11                 | 14                  |

(\*) Para seleccionar el filtro más apropiado, comenzar primero con más oscuro y seleccionar filtros más claros hasta conseguir una visión adecuada. Puede ser perjudicial emplear un filtro más oscuro, con mayor nº, porque puede ser entonces necesario acercarse más y estar más expuesto a la radiación del arco y también a una mayor inhalación de humos.

### Protecciones para trabajadores próximos a la zona de soldadura

- Deben señalizarse donde se están realizando trabajos de soldadura e indicarse las medidas de protección individual de uso obligatorio.

### Protección contra incendios

- La zona de soldadura debe estar limpia de materiales combustibles. También hay que tener en cuenta que si se suelda en altura hay que prever que puedan caer partículas calientes y ser necesario utilizar redes de material ignífugo y disponer de extintores.

### Riesgos y prevenciones asociadas a los trabajos accesorios al soldeo.

#### Esmerilado

- Descargas eléctricas: revisar la conexión a tierra y los cables.
- Accidentes en los ojos: trabajar siempre con gafas o con pantalla con cristales transparentes. Aislar la zona con pantallas protectoras.
- Rotura de disco: utilizar los discos apropiados y no apretar con exceso las tuercas.
- Quemaduras en las manos: trabajar con guantes.
- Evaluar riesgos para trabajadores próximos.

#### Picado de la escoria

- Quemaduras: utilizar guantes y ropa adecuada.
- Heridas en los ojos: utilizar siempre gafas o pantallas con cristal transparente.
- Evaluar riesgos para trabajadores próximos.

# 9

## Inspección visual

La inspección visual, es un método no destructivo, que tiene como objetivo comprobar que se han seguido las actividades previstas en la instrucción de trabajo, antes, durante y después de la soldadura de acuerdo con la responsabilidad de la unión y normas aplicables mencionadas en la página 2 y códigos o condiciones de diseño del arquitecto. El grado de cumplimiento y la evaluación de los defectos encontrados permitirá determinar el grado de fiabilidad del conjunto soldado.

En la soldadura de reparación de las barras corrugadas si la responsabilidad es baja por sustituir el atado con alambre inoxidable, puede que durante la inspección visual se detecten defectos o desviaciones sobre los requisitos establecidos, que no influyan esencialmente en el futuro comportamiento en servicio y que, a pesar de su existencia se considere apto para la instalación y funcionamiento.

Los principales defectos que podemos encontrar se han incluido en el apartado 7 y las actividades que se deben evaluar antes, durante y después de la soldadura son:

### **Extremo de barra de corrugado de acero al carbono a soldar.**

- Comprobar que esté libre de óxido y restos de hormigón, su diámetro y soldabilidad.

### **Barras de corrugado de acero dúplex a soldar.**

- Comprobar que la barra de acero inoxidable dúplex recibida en obra coincide en la calidad, diámetro y longitud del proyecto.

### **Electrodo consumibles para la soldadura.**

- Comprobar la norma, la clasificación, el diámetro y la longitud.
- En el caso de que haya trozos del revestimiento del electrodo en el paquete, este debe desecharse.
- Si el paquete de electrodos está empezado, asegurarse que se ha almacenado de acuerdo con las instrucciones que se indica en el paquete y hoja técnica. En caso de duda, hacer una prueba en barras corrugadas que no formen parte de la reparación.

# 10

## Comprobar formación y/o cualificación

Comprobar que los trabajadores que realizarán la soldadura, tienen la formación y/o cualificación necesaria de acuerdo con UNE EN ISO 17660 parte 1 o 2.

El coordinador de soldeo confirmará la formación recibida y evaluará los test necesarios.





cedi  
nox