

# Aceros de Baja Aleación

## INDICE

---

23.1. Aceros al cromo-molibdeno para empleo a altas temperaturas .....	462
23.1.1. Procesos de soldeo y de preparación de bordes.....	462
23.1.2. Precalentamiento .....	464
23.1.3. Metales de aportación para el soldeo por arco y soldero fuerte .....	464
23.1.4. Tratamiento térmico postsoldero .....	466
23.2. Aceros al níquel para servicio criogénico .....	466
23.2.1. Procesos de soldeo .....	467
23.2.2. Aporte térmico.....	467
23.2.3. Limpieza y preparación de bordes .....	468
23.2.4. Soplo magnético .....	468
23.2.5. Precalentamiento .....	468
23.2.6. Temperatura entre pasadas .....	468
23.2.7. Elección de los metales de aportación .....	469
23.2.8. Tratamiento térmico posterior al soldeo.....	469
23.3. Aceros templados y revenidos .....	469

## **23.1. Aceros al Cromo-Molibdeno para Empleo a Altas Temperaturas**

Las piezas de acero al carbono, a temperatura normal, solamente rompen cuando se les aplica una tensión superior a la tensión de rotura (ver capítulo 19). Sin embargo, cuando se someten a elevadas temperaturas (por encima de 400°C) pierden su resistencia mecánica, por lo que si se calienta una pieza a esta temperatura, aunque se les aplique un esfuerzo de tracción inferior a su carga de rotura, empezará a alargar hasta romperse. Este fenómeno se denomina “creep” o fluencia en caliente.

Por tanto, los aceros al carbono no se pueden utilizar a temperaturas por encima de los 400°C, a estas temperaturas se utilizan los aceros de baja aleación al cromo - molibdeno, que también se denominan aceros resistentes a la fluencia o “creep”. Estos aceros contienen cromo en cantidades del 0,5% al 9% y molibdeno del 0,5% al 1%, con porcentajes de carbono del orden de 0,15% al 0,2% y pueden utilizarse a temperaturas de hasta 500-550°C.

Los aceros al cromo-molibdeno son muy utilizados en la industria del petróleo y en las centrales térmicas o nucleares. A partir de estos materiales se construyen carcasas de intercambiadores de calor y de turbinas, haces de tubos de calderas, piezas para hornos, vasijas nucleares....

Los más utilizados son los que se indican en la tabla 23.1.

En la tabla 23.2 se indican las designaciones según la norma europea UNE-EN 10027, partes 1 y 2, de algunos de los aceros resistentes a la fluencia.

### **23.1.1. Procesos de soldeo y de preparación de bordes**

En el soldeo de los aceros al cromo-molibdeno son aplicables los procesos por arco como: SMAW, TIG, MAG, FCAW y SAW; así como los procesos de soldeo fuerte y el soldeo por resistencia.

En general, la preparación de la unión y los parámetros de soldeo (intensidad, tensión, velocidad de alimentación del alambre y gases de protección) son similares a los de los aceros al carbono (ver capítulo 22). En cualquier caso se deben minimizar los cambios bruscos de sección y las aristas vivas, ya que se produce una concentración de tensiones que disminuirá la resistencia de la unión. Se prefieren las uniones a tope frente a las uniones en ángulo.

Tipo de acero	Designación común	Designación ASTM	
		Chapa	Tubería
Acero con un 0,5% de molibdeno	Acero al carbono – ½ molibdeno (C – ½ Mo)	A204B	A325-P1
Acero con 0,5% de cromo y 0,5% de molibdeno	Acero ½ cromo – ½ molibdeno (½ Cr – ½ Mo)	A387-Gr2	A335-02 A369-PF2 A426-CP2
Acero con 1% de cromo y 0,5% de molibdeno	Acero 1 cromo – ½ molibdeno (1 Cr – ½ Mo)	A387-Gr12	A335-P12 A369-FP12 A426-CP12
Acero con 1,25% de cromo y 0,5% de molibdeno	Acero 1 ¼ cromo – ½ molibdeno (1 ¼ Cr – ½ Mo)	A387-Gr11	A335-P11 A369-FP11 A426-CP11
Acero con 2,25% de cromo y 1% de molibdeno	Acero 2 ¼ cromo – 1 molibdeno (2 ¼ Cr – 1 Mo)	A387-Gr22	A335-P22 A369-FP22 A426-CP22
Acero con 5% de cromo y 0,5% de molibdeno	Acero 5 cromo – ½ molibdeno (5 Cr – ½ Mo)	A387-Gr5	A335-P5 A369-FP5 A426-CP5
Acero con 9% de cromo y 1% de molibdeno	Acero 9 cromo – 1 molibdeno (9 Cr – 1 Mo)	A387-Gr9	A335-P9 A369-FP9 A426-CP9

TABLA 23.1: ACEROS RESISTENTES A LA FLUENCIA CON SU DESIGNACIÓN ASTM

	Designación simbólica UNE-EN 10027-1	Designación numérica UNE-EN 10027-2
C – ½% Mo	16 Mo 3	1,5415
1% Cr – ½% Mo	13 Cr Mo-4-5	1,7335
2 ¼% Cr – 1% Mo	10 Cr Mo-9-10	1,7380
5% Cr – ½% Mo	11 Cr Mo-9-10	1,7383

TABLA 23.2: ACEROS RESISTENTES A LA FLUENCIA DE ACUERDO CON UNE-EN 10027

### 23.1.2. Prealentamiento

En el soldeo de estos aceros es indispensable realizar un prealentamiento, a temperaturas tanto mayores cuanto mayor sea el contenido de elementos de aleación, mayor sea el espesor de la pieza y mayor sea la cantidad de hidrógeno que se pueda introducir en la soldadura; de esta forma la temperatura de prealentamiento será mayor cuando se realice el soldeo con electrodos revestidos que con TIG. El prealentamiento deber mantenerse a lo largo del tiempo que dura la operación de soldeo por lo que **la temperatura entre pasadas no debe ser nunca inferior a la de prealentamiento.**

En la tabla 23.3 se indican temperaturas de prealentamiento recomendadas.

Tipo de acero	Temperatura de prealentamiento (° C)
C - ½ Mo ½ Cr - ½ Mo 1 Cr - ½ Mo 1 ¼ Cr - ½ Mo	100 - 150
2 ¼ Cr - 1 Mo	200 - 300
5 Cr - 1 Mo 9 Cr - 1 Mo	250 - 350

TABLA 23.3: TEMPERATURAS DE PREALENTAMIENTO RECOMENDADAS PARA ACEROS RESISTENTES A LA FLUENCIA

### 23.1.3. Metales de aportación para el soldeo por arco y soldeo fuerte

#### *Soldeo por arco*

Se utilizarán varillas, electrodos y alambres de composición química similar a la del material base y características mecánicas similares, con tensiones de rotura generalmente iguales a la del material base (ver tabla 23.4).

Los electrodos revestidos suelen ser de tipo básico, por lo que es necesario extremar las precauciones en el secado y conservación de los electrodos. El almacén deberá tener unas condiciones de humedad y temperaturas determinadas, la humedad deberá ser inferior al 40% y la temperatura superior a 15°C. Si los requisitos de humedad no se pueden obtener se deberán almacenar a una temperatura superior en 10°C a la ambiente y una humedad inferior al 60%. El

secado se realizará a las temperaturas indicadas por el fabricante que suelen ser de 400 a 450°C durante una hora (no se deberá sobrepasar el tiempo), después se llevarán a hornos de mantenimiento a 100-150°C y luego se conservarán, en estufas portátiles próximas al puesto de trabajo, generalmente a unos 60°C. Las normas europeas donde se clasifican estos consumibles son UNE-EN 1599 para electrodos revestidos, EN 12070 para alambres y varillas y EN 12071 para alambres tubulares.

Metal base	Composición del metal de aportación	Ejemplos. Designación AWS			
		SMAW AWS A5.5	TIG MIG/MAG <sup>1</sup> AWS A5.28	FCAW <sup>2</sup> AWS A5.29	SAW AWS A5.23
C-½ Mo	C-½ Mo	E70XX-A1	ER70X-2	A70X-A1	F7XX-EXX-A1
½ Cr- ½ Mo 1 Cr-½ Mo 1 ¼-Cr-½ Mo	1 ¼% Cr- ½% Mo	E80XX-B2 E80XX-B2L	ER70X-3	E8TX-B2 38TX-B2X	F8XX-EXXX-B2 F8XX-EXXX- B2H
2 ¼ Cr-1Mo	2 ¼% Cr-1% Mo	E90XX-B3 E90XX-B3L	ER80X-B2 ER90X-B2L	E9TX-B3 E9TX-B3X	F9XX-EXXX-B3 F9XX-EXXX-B4
5 Cr-1Mo	5% Cr-1% Mo	E502-XX <sup>3</sup>	ER90X-B3 ER90X-B3L	E502T-1 <sup>5</sup> E502T-2	F9XX-EXXX-B6 F9XX-EXXX- B6H
9 Cr-1Mo	9% Cr-1% Mo	E505-XX <sup>3</sup>	ER502 <sup>4</sup>	E505T-1 <sup>5</sup> E505T-2	
Acero al Cr-Mo soldado a acero inoxidable	Ni-Cr-Fe (base níquel)	ENiCrFe-2 ENiCrFe-3 (AWS A5.11)	ERNiCr-3 (AWS A5.14)		

(1) Como gas de protección para MAG se utiliza argón + 1-5% oxígeno

(2) Como gas de protección CO<sub>2</sub> ó argón + 2% oxígeno

(3) Especificación AWS A5.4

(4) Especificación AWS A5.9

(5) Especificación AWS A5.22

**TABLA 23.4: METALES DE APORTACIÓN PARA LAS ALEACIONES CR-MO**

Cuando se utilice el proceso TIG, se deberá emplear siempre material de aportación.

Cuando se sueldan aceros inoxidables austeníticos se utilizan metales de aportación de acero inoxidable, en este caso no será necesario (ni tampoco recomendable) el empleo de tratamiento térmico posterior al soldeo. No se recomienda el empleo de este tipo de aportaciones cuando el conjunto soldado vaya

a sufrir cambios bruscos y continuos de temperatura durante su utilización, ya que los aceros inoxidable se dilatan más que los aceros al carbono y se producen tensiones internas en el material. También se pueden utilizar aleaciones de níquel, en este caso sí se pueden realizar tratamientos térmicos.

### ***Soldeo fuerte***

En el soldeo fuerte se utilizan los mismos metales de aportación que con los aceros al carbono (ver capítulo 22).

#### **23.1.4. Tratamiento térmico postsoldeo**

Aunque a veces se utilizan las piezas de este tipo de aceros sin realizar ningún tratamiento después del soldeo, lo normal es realizar un tratamiento para aliviar tensiones y conseguir las características mecánicas deseadas. Los tratamientos pueden consistir en calentamientos del orden de 600-700°C, mantenimientos a esa temperatura y enfriamientos lentos. Las piezas se mantendrán a la temperatura de precalentamiento hasta que se realice el tratamiento térmico postsoldeo.

## **23.2. Aceros al Níquel para Servicio Criogénico**

Se entiende por servicio criogénico, o a bajas temperaturas, aquél que tiene lugar a temperaturas comprendidas entre 0°C y -273°C. Estas temperaturas suelen ser necesarias para los procesos de fabricación, transporte y almacenamiento de gases licuados. Cuando se licúa un gas (oxígeno, gases combustibles, nitrógeno, gases inertes...) se reduce considerablemente su volumen por lo que el espacio para el almacenamiento y transporte será mucho menor, consiguiéndose considerables ventajas económicas

En el capítulo 19 se comentó que la resiliencia, o resistencia al impacto, y la tenacidad de los aceros al carbono era muy reducida a bajas temperaturas, por lo que será necesario emplear otro tipo de aceros para evitar catástrofes por rotura frágil cuando se empleen temperaturas bajas. Estos aceros son los aceros al níquel (con contenidos del 3,5 al 9% de níquel) para servicio criogénico, también se emplean aceros inoxidable austeníticos (se explicarán en el capítulo 25). En los aceros criogénicos, al aumentar el contenido en níquel aumenta la tenacidad y se pueden emplear a menor temperatura.

Las temperaturas mínimas aproximadas de utilización en aplicaciones a baja temperatura son las que se indican en la tabla 23.5:

Tipo de acero	Temperatura mínima de utilización
Aceros al carbono	De 20° C a 0° C
Aceros al C-Mn microaleados <sup>1</sup>	-45° C
Aceros al 3,5% de níquel	-100° C
Aceros al 5% de níquel	-140° C
Aceros al 9% de níquel	-200° C
Aceros inoxidables austeníticos	-250° C

(1) Los aceros al carbono microaleados, o de grano fino, son un tipo de aceros que contienen elementos de aleación en muy pequeñas proporciones, pero que tienen mejores propiedades mecánicas que los aceros al carbono normales.

TABLA 23.5: TEMPERATURAS MÍNIMAS DE UTILIZACIÓN DE ALGUNOS ACEROS

Los aceros al níquel, por su excepcional comportamiento a bajas temperaturas, se emplean, por tanto, en la construcción de instalaciones industriales, tanques, cisternas y buques para la obtención, almacenamiento y transporte de gases licuados.

### 23.2.1. Procesos de soldeo

Los procesos habituales que se utilizan para el soldeo de los aceros al níquel son:

- Electrodo revestido (SMAW).
- TIG.
- MIG utilizando como gas de protección argón o mezclas de helio-argón.
- Alambre tubular.
- Arco sumergido.

### 23.2.2. Aporte térmico

Para conseguir soldaduras sanas y con buena tenacidad, es imprescindible reducir el aporte térmico por lo que se preferirán grandes velocidades de soldeo, cordones rectos frente a cordones con oscilación y bajas intensidades y tensiones de soldeo. Además, se evitará el empleo de electrodos de gran diámetro y se limitará la temperatura entre pasadas.

### **23.2.3. Limpieza y preparación de bordes**

Es **fundamental la limpieza** de este tipo de aceros para conseguir buenas propiedades en el metal de aportación y en la ZAT, por lo que los materiales base se limpiarán adecuadamente por lo menos 25 mm a ambos lados de la unión.

Cuando se hayan utilizado procesos de corte térmico se amolarán las superficies de corte para eliminar los óxidos que quedan en las superficies.

Los diseños de las uniones serán similares a los utilizados para el soldeo de aceros al carbono (capítulo 22).

### **23.2.4. Soplo magnético**

Estos aceros son especialmente propensos al soplo magnético (ver capítulo 3), por lo que cuando se presente se realizará el soldeo en corriente alterna y se utilizarán las técnicas explicadas en el capítulo 3 para aminorar la desviación del arco.

### **23.2.5. Pre calentamiento**

Al hablar del pre calentamiento hay que distinguir claramente entre los aceros al 3,5% de níquel y los aceros al 5 y 9% de níquel, pues aunque debido al níquel todos deberían presentar problemas de endurecimiento de la zona afectada térmicamente (ZAT), los últimos, al tener menos carbono, se puede afirmar que presentan una aceptable soldabilidad y no requieren pre calentamiento, salvo que se suelden espesores gruesos.

Aunque la temperatura de pre calentamiento seleccionada depende de la composición química y proceso de soldeo, se puede indicar como regla general que debe estar comprendida entre 80° C y 250° C. En los aceros al 5% Ni y 9% Ni, aunque no es necesario el pre calentamiento, se considera como buena práctica calentar de 90 a 120° C para tener la seguridad de eliminar la posible humedad ambiental depositada.

### **23.2.6. Temperatura entre pasadas**

Se recomienda que la temperatura entre pasadas se mantenga inferior a 250° C para los aceros al 3,5% Ni, e inferior a 200° C para los aceros al 9% Ni.



### **23.2.7. Elección de los metales de aportación**

A la hora de elegir el material de aportación para la soldadura de los aceros al níquel existen tres alternativas:

- Aceros de composición similar al metal base.
- Aceros inoxidable austeníticos.
- Aleaciones altas en níquel (aleaciones base níquel)

### **23.2.8. Tratamiento térmico posterior al soldeo**

Normalmente no es necesario realizar tratamientos térmicos de relajación de tensiones, sin embargo en muchas ocasiones se realizan.

## **23.3. Aceros Templados y Revenidos**

Los aceros templados y revenidos suelen ser aceros de baja aleación a los que se les aplica un tratamiento de temple, para aumentar su resistencia mecánica, y un revenido posterior, para disminuir los efectos negativos del temple. Estos aceros también se denominan aceros “bonificados”. Su resistencia mecánica es elevada, normalmente con un límite elástico de 35 a 150 Kg/mm<sup>2</sup>, es decir aproximadamente de 350 a 1500 N/mm<sup>2</sup>. El contenido en carbono suele estar limitado a 0,25%C, para que tengan buena soldabilidad, aunque también pueden tener mayores cantidades.

El soldeo se debe realizar con mayor cuidado que en los aceros al carbono normales y, en todo momento, se seguirá lo indicado en las órdenes de trabajo o en los procedimientos de soldeo, ya que sólo de esta forma se evitará la formación de grietas. En general, se deberá tener presente lo siguiente:

- Diseño de la unión: Se utilizan más a menudo los diseños en V o en V doble y los diseños en U simple, puesto que de esta forma las tensiones internas no serán muy elevadas.
- Si se utiliza el oxicorte para preparar las piezas deberán ser precalentadas, a unos 100° C los 50 mm más próximos a la zona de corte, mientras se lleva a cabo esta operación, posteriormente se eliminará una capa de 1 a 3 mm mediante amolado.
- Procesos de soldeo: Normalmente se utilizan el de electrodos revestidos, TIG, MIG/MAG, FCAW y arco sumergido. Sin embargo, se preferirán los

procesos de soldeo que disminuyen el nivel de hidrógeno introducido en la soldadura y el aporte térmico, como son los procesos TIG y MIG/MAG.

- Los electrodos básicos y los fundentes para soldeo por arco sumergido se secarán siguiendo las recomendaciones del fabricante. Como ocurre en el soldeo de cualquier acero, el hidrógeno (procedente de la humedad de los revestimientos, fundentes o del ambiente por una mala protección) es sumamente perjudicial siendo su efecto más acusado en este tipo de aceros.
- El aporte térmico estará limitado, por lo que se suelen utilizar cordones rectos en lugar de con balanceo, se evitará realizar el soldeo a velocidades de desplazamiento muy bajas e intensidades excesivas. Para el soldeo en vertical ascendente se podrán utilizar ligeras oscilaciones que no superarán el doble del diámetro del electrodo.
- A veces se emplean precalentamientos y tratamientos térmicos post-soldo, en cualquier caso siempre se deberá considerar cada acero por separado, analizando el tratamiento que más se ajuste a su composición química. Si es necesario precalentar, también se deberá mantener esa temperatura de precalentamiento entre pasadas. En algunos casos se deberá realizar un martillado de cada cordón de soldadura con objeto de reducir las tensiones internas.
- Los materiales de aportación normalmente serán aceros de baja aleación, similares al metal base en composición y propiedades mecánicas.
- En las figuras 23.1 A y B se indican unas secuencias de soldeo que pueden ser empleadas.
- Los aceros templados y revenidos también se pueden unir mediante soldeo fuerte.

Material base Designación ASTM			Designación AWS de los materiales de aportación			
Nombre	Grado o tipo	Clase	SMAW AWS A5.5	TIG MIG/MAG <sup>1</sup> AWS A5.28	FCAW <sup>2</sup> AWS A5.29	SAW AWS A5.23
A533	B	1,2 3	E901X-D1 E1101X-M	ER90S-1 ER110S-1	E9XTX-NiX E110TX-XX	F9XX-EXXX-FX F11XX-EXXX-M2
A537		2	E801X-CX E901X-D1	ER80X-NiX	E8XTX-NiX E9XTX-NiX	F8XX-EXXX-NiX F9XX-EXXX-NiX
A543	B	1,2	E1101X-M	ER110S-1 ER120S-1	E11XTX-XX	F11XX-EXXXX-FX
A678	C		E901X-D1 E1001X-D2	ER100S-1	E9XTX-NiX	F9XX-EXXX-FX F10XX-EXXX-MX

(1) Gas de protección: argón + 2% oxígeno.

(2) Cuando sea necesario el gas de protección será CO<sub>2</sub> o argón + CO<sub>2</sub>

TABLA 23.6: DESIGNACIÓN DE METALES DE APORTACIÓN PARA EL SOLDEO DE ALGUNOS ACEROS TEMPLADOS Y REVENIDOS

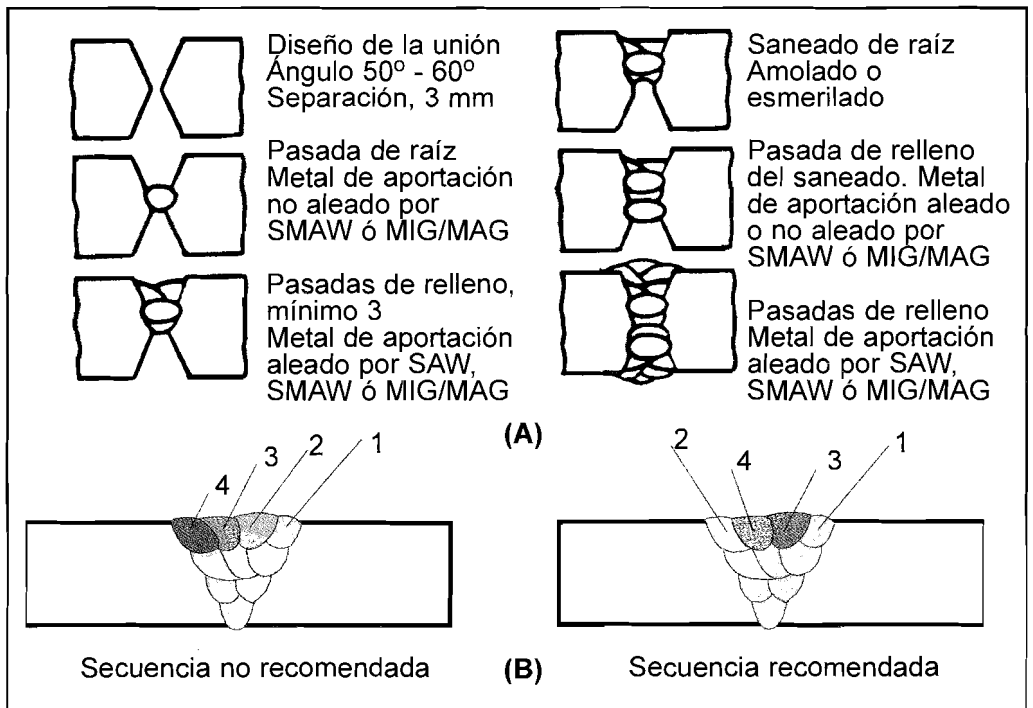


FIGURA 23.1: SECUENCIAS DE SOLDEO RECOMENDADAS PARA EL SOLDEO DE ACEROS BONIFICADOS