

Metalurgia de la soldadura de aleaciones ferrosas:

Soldabilidad



La soldabilidad de los aceros al carbono es función de:

- Composición química
- Estado de su estructura



Según composición química:

CARBONO (C)	ALUMINIO (Al)
MANGANESO (Mn)	COBRE (Cu)
SILICIO (Si)	TITANIO (Ti), NIOBIO (Nb),
NÍQUEL (Ni)	VANADIO (V), TANTALIO (Ta)
CROMO (Cr)	FÓSFORO (P) y AZUFRE (S)
MOLIBDENO (Mo)	

Según el estado estructural:

ACEROS CON SOLO CARBONO	ACEROS TEMPLADOS y REVENIDOS
ACEROS HSLA (Alta resistencia, baja aleación)	ACEROS DE BAJA ALEACIÓN TRATABLES TÉRMICAMENTE
*ACEROS AL CROMO-MOLIBDENO	*ACEROS RECUBIERTOS

* No se van a exponer estos tipos de aceros debido a que son muy especiales.

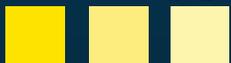
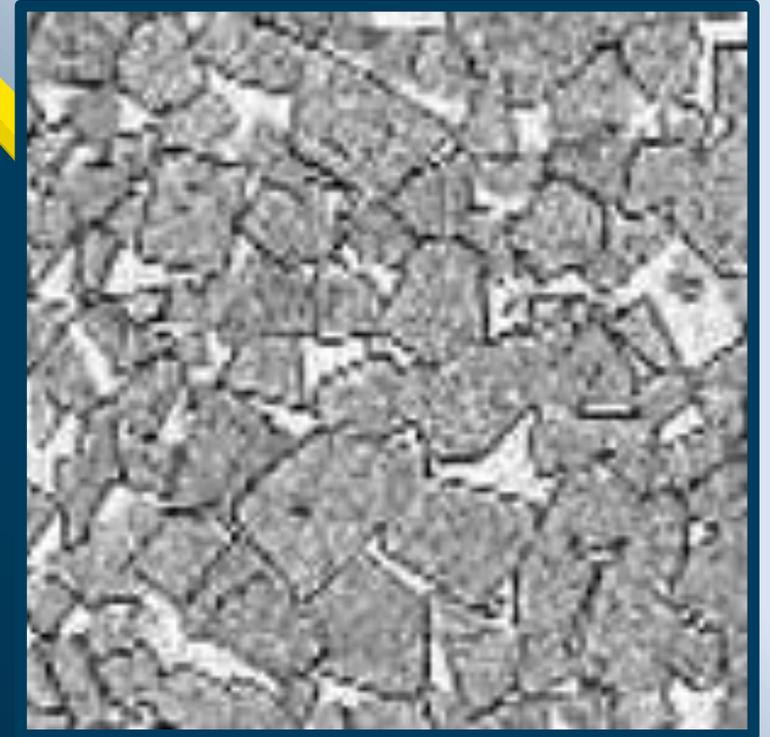
INFLUENCIA DE ALGUNOS ELEMENTOS EN LOS ACEROS

- **Carbono:**
 - Aumenta la templabilidad
 - Fija la templabilidad
 - Forma carburos
- **Manganeso:**
 - Favorece el temple
 - Fuerte desoxidante
- **Silicio:**
 - Gran reductor (desoxidante)
 - Porcentajes altos causa fragilidad



INFLUENCIA DE ALGUNOS ELEMENTOS EN LOS ACEROS

- **Níquel:**
 - Favorece el temple
 - Provee tenacidad sin disminuir la resistencia mecánica (3-5%)
- **Cromo:**
 - Aumenta mucho la templabilidad
 - Porcentajes mayores del 12% produce óxidos difíciles de eliminar
 - Depósitos con alto contenido de carbono puede formar carburos (aumenta la fragilidad y corrosión)



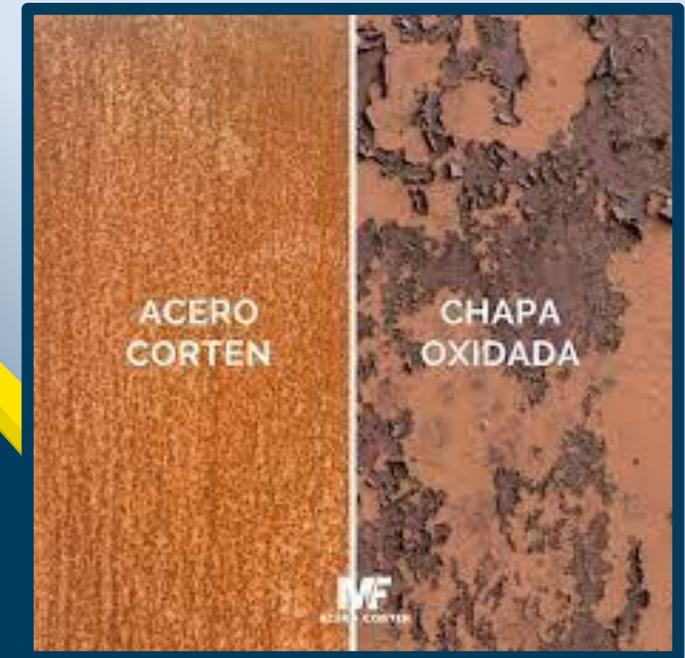
INFLUENCIA DE ALGUNOS ELEMENTOS EN LOS ACEROS

- **Molibdeno:**
 - Favorece la templabilidad
 - Contiene entre 0,25 y 0,35%
(limita el crecimiento de los granos)
- **Aluminio:**
 - Fuerte desoxidante
 - Puede formar alúmina
(origina inclusiones dentro del baño fundido)



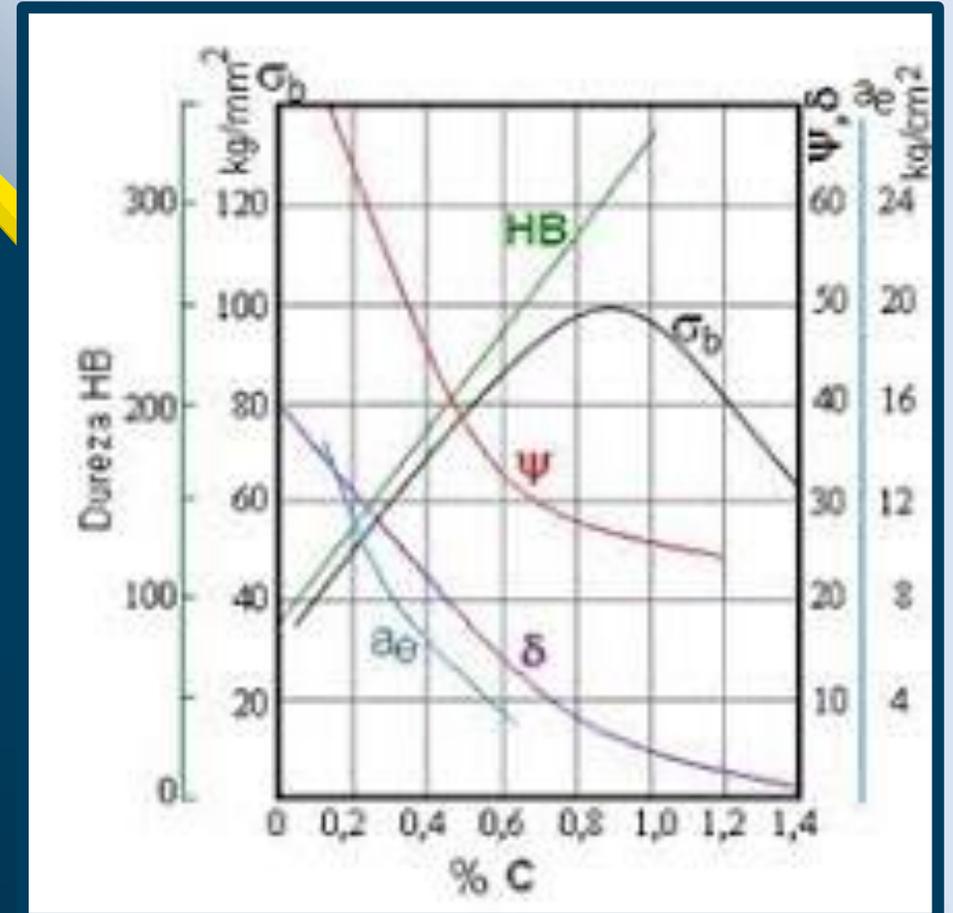
INFLUENCIA DE ALGUNOS ELEMENTOS EN LOS ACEROS

- **Cobre:**
 - Solubilidad limitada en el acero
 - Aumenta la resistencia a la corrosión en medios acuosos
- **Vanadio, Tantalio, Titanio y Niobio**
 - Gran afinidad por el carbono (formadores de carburos)
 - El contenido no sobrepasa el 0,25% en los aceros para soldar



INFLUENCIA DE ALGUNOS ELEMENTOS EN LOS ACEROS

- **Fósforo y Azufre:**
 - Elementos indeseables (causan segregaciones, formación de fisuras en caliente)
 - Disminuyen las propiedades mecánicas en los aceros



Soldabilidad según ASTM

- **Los aceros al carbono:** se usan en el estado laminado, normalizado y recocido.
- **Aceros estructurales:**
A36, A529, A570, A573.
- **Aceros al carbono para recipientes a presión:**
A285, A299, A442, A515, A516, A537.
- **Aceros al carbono para tuberías:**
A56, A106, A501.
- **Aceros al carbono fundidos:**
A27, A216, A352.



Aceros de bajo carbono:

Contenido de carbono	0,15% máx.
Dureza	60 HRB
Uso típico	Planchas y tapas, aceros laminados, electrodos para soldar.
Soldabilidad	Excelente

Aceros blandos:

Contenido de carbono	0,15 - 0,3%
Dureza	90 HRB
Uso típico	Chapas, planchas, barras.
Soldabilidad	Buena

Aceros de medio contenido de carbono:

Contenido de carbono	0,3 a 0,5%
Dureza	25 HRC
Uso típico	Elementos de máquinas, herramientas.
Soldabilidad	Con pre y post calentamiento, algunas veces requiere método de bajo hidrógeno.

Aceros de alto contenido de carbono:

Contenido de carbono	0,5 - 1,0%
Dureza	40 HRC
Uso típico	Muelles, rieles de ferrocarril.
Soldabilidad	Pobre, con método de bajo hidrógeno.

Aceros de baja aleación y alta resistencia (HSLA)

Según ASTM:

A242, A241, A572, A588, A563, A710.

Recipientes a presión:

A202, A203, A204, A225, A302, A353, A735,
A736, A737.

Recomendaciones:

- Precalentamiento
- Temperatura entre pasadas
- Control del hidrógeno en el baño



Composición típica de los aceros HSLA

Elemento (%)	Ac. Estructural	Ac. Recipientes a presión
Carbono	0,15 – 0,17	0,07 – 0,28
Silicio	0 - 1	0,4 – 2,2
Cromo	0 - 1	0 – 0,9
Níquel	0 – 0,25	0 - 9,5
Molibdeno	0 – 0,11	0 – 0,6
Vanadio	0 – 0,11	0 – 0,18
Otros	Cu, Zr, Ti, N	Cu, N

Temperatura de precalentamiento para la soldadura de los aceros HSLA, usando procedimientos de bajo hidrógeno.

ASTM	Espesor (pulg.)*		Temperatura mín. (F)
A242	Hasta 0.75		32
A441	0.81 a 1.50		50
A572, Gr 42, 50	1.56 a 2.50		150
A588	mayor de 2.50		225
A633, Gr A, B, C, D			
A572, Gr 60, 65	Hasta 0.75		50
A636, Gr E	0.81 a 1.50		150
	1.56 a 2.50		225
	mayor de 2.50		300

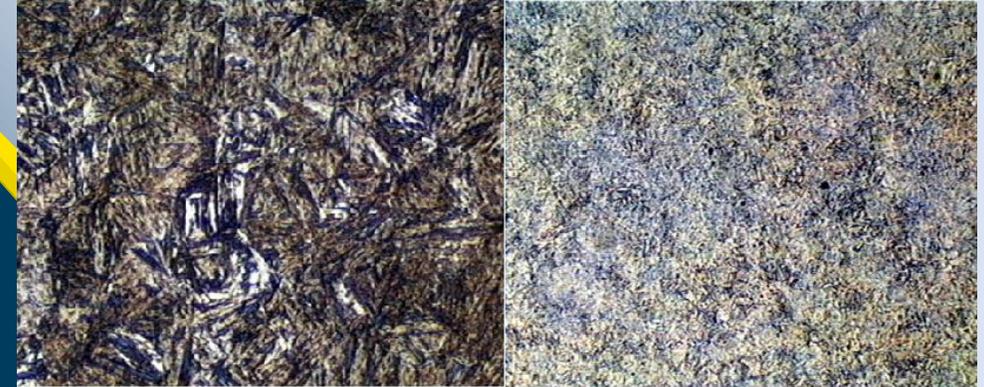
*Espesor de la sección más gruesa de la unión.

Temperatura de post - calentamiento para la soldadura de los aceros HSLA

ASTM	Temperatura mín. (F)
A203, A225, A302, A441, A572, A588, A633, A737.	1100 - 1250
A204	1150 - 1250
A553	1025 - 1085
A710	1100 - 1200
A735 A736	1000 – 1200

Aceros Templados y Revenidos (Q&T)

- Son un grupo de aceros al carbono y de baja aleación que se tratan térmicamente, buscando obtener un límite de fluencia en el rango de 50 a 150 Ksi (344.75 a 1034.25 MPa), además están diseñados para ser soldados en condiciones de tratamiento térmico.



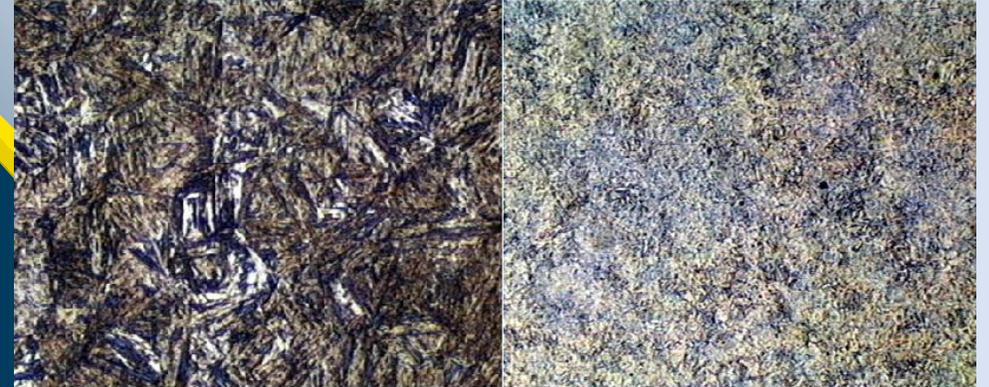
Acero con Temple
(Estructura de la Martencita)

Acero Revenido
(Estructura Revenido)



Aceros Templados y Revenidos (Q&T)

- Son un grupo aceros que se tratan térmicamente. Fluencia entre 344 a 1034 Mpa.
- Condición de ser soldados con tratamiento térmico.
- No son tratados después de ser soldados. (Solo revenido de alivio de tensiones)
- Contenido de carbono no excede el 0,22%
- Cubiertos bajo la norma ASTM A514, A517, A592, A533, A537, A543, A553, A353, A678.
- Se busca la estructura Martensítica revenida o Bainita inferior.
- Uniones soldadas cuidadosamente diseñadas.
- Debe realizarse con precalentamiento.



Acero con Temple
(Estructura de la Martencita)

Acero Revenido
(Estructura Revenido)



Temperatura de precalentamiento recomendada para la soldadura por arco de algunos de los aceros Q&T

Rango de espesor (pulg.)	Mínimo precalentamiento (°F)				
	A514/A517	A533	A537	A543	A678
Hasta 0.50	50	50	50	100	50
0.56-0.75	50	100	50	125	100
0.81-1	125	100	50	150	100
1.1-1.5	125	200	100	200	150
1.6-2	175	200	150	200	150
2.1-2.5	175	300	150	300	150
mayor de 2.5	225	300	225	300	-

Aceros de baja aleación y tratables térmicamente

- No conservan las propiedades después de ser soldados.
- Necesidad de aplicar T. T. post-soldadura para obtener sus mejores propiedades.
- Contenido mayor de carbono. Les ofrece amplias cualidades mecánicas pero poca tenacidad.
- Adquieren grandes durezas en la zona afectada
- Contenido de hidrógeno debe ser bajo
- Pueden producir martensita

Aceros de baja aleación y tratables térmicamente, según la AISI-SAE.

Clasificación AISI-SAE

4027, 4037, 4130, 4135, 4140, 4320, 4340, 5130, 5140, 8630, 8640, 8470, AMS 6434, 300M y D-6a.

Los rangos de composiciones son los siguientes:

0.17-0.48% C; 0.40-1.00% Mn; 0.15-0.35%Si; 0-2% Ni; 0.40-1.20% Cr, 0-0.40% Mo, 0-0.23% V.

Acero (Clasificación AISI)	Rango de espesor (pulg.)	Temp mín. precalentamiento (°F)
4027	Hasta 0.5	50
	0.6-1	150
	1.1-2	250
4037	Hasta 0.5	100
	0.6-1	200
	1.1-2	300
4130, 5140	Hasta 0.5	300
	0.6-1	400
	1.1-2	450
4135, 4140	Hasta 0.5	350
	0.6-1	450
	1.1-2	500
4320, 5130	Hasta 0.5	200
	0.6-1	300
	1.1-2	400
4340	Hasta 2	550
8630	Hasta 0.5	200
	0.6-1	250
	1.1-2	300
8640	Hasta 0.5	200
	0.6-1	300
	1.1-2	350
8740	Hasta 1	300
	1-2	400

AISI-SAE

RANGO ESPESOR (PUG.)

TEMPERATURA MÍN. PRECALENTAMIENTO (F)

4027

Hasta 0,5

50

0,6 - 1

150

1.1 - 2

250

4037

Hasta 0,5

100

0,6 - 1

200

1.1 - 2

300

4130

Hasta 0,5

300

5140

0,6 - 1

400

1.1 - 2

450

AISI-SAE

RANGO ESPESOR (PUG.)

TEMPERATURA MÍN. PRECALENTAMIENTO (F)

4135
4140

Hasta 0,5

350

0,6 - 1

450

1.1 - 2

500

4320
5130

Hasta 0,5

100

0,6 - 1

200

1.1 - 2

300

4340

Hasta 2

550

AISI-SAE

RANGO ESPESOR (PUG.)

TEMPERATURA MÍN. PRECALENTAMIENTO (F)

8630

Hasta 0,5

200

0,6 - 1

250

1.1 - 2

300

8640

Hasta 0,5

200

0,6 - 1

300

1.1 - 2

350

8740

Hasta 1

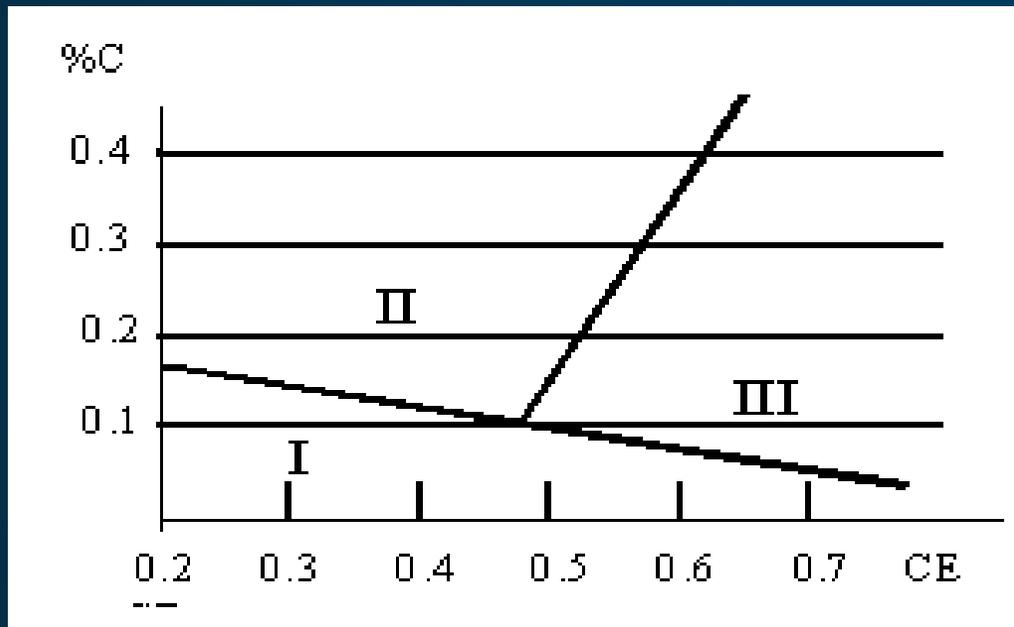
300

1- 2

400

Temperatura de precalentamiento

Código D.1.1-95



Zona I: donde el agrietamiento muy rara vez puede ocurrir, cuando ocurre se debe a altos contenidos de hidrógeno y restricción, por lo cual el precalentamiento puede calcularse por el *Método de Hidrógeno*.

Zona III: es la zona más severa



Método de Hidrógeno

Zona II: donde el agrietamiento puede ocurrir debido a problemas microestructurales y la temperatura de precalentamiento se determina a través de la menor potencia efectiva aplicada a una unión de filete en una pasada; sin embargo, si este método no procede, se puede aplicar el *Método de Hidrógeno*.

Método de Hidrógeno

Temperatura de precalentamiento

Ecuación de Ito y Bessyo

$$P_{cm} = C + Si/30 + Mn/20 + Cu/20 + Ni/60 + Cr/20 + Mo/15 + V/10 + 5B$$

Niveles de hidrógeno

<ul style="list-style-type: none">• Niveles de H2• Pcm %	<ul style="list-style-type: none">• <0.18	<ul style="list-style-type: none">• <0.23	<ul style="list-style-type: none">• <0.28	<ul style="list-style-type: none">• <0.33	<ul style="list-style-type: none">• < 0.38
<ul style="list-style-type: none">• H1	<ul style="list-style-type: none">• A	<ul style="list-style-type: none">• B	<ul style="list-style-type: none">• C	<ul style="list-style-type: none">• D	<ul style="list-style-type: none">• E
<ul style="list-style-type: none">• H2	<ul style="list-style-type: none">• B	<ul style="list-style-type: none">• C	<ul style="list-style-type: none">• D	<ul style="list-style-type: none">• E	<ul style="list-style-type: none">• F
<ul style="list-style-type: none">• H3	<ul style="list-style-type: none">• C	<ul style="list-style-type: none">• D	<ul style="list-style-type: none">• E	<ul style="list-style-type: none">• F	<ul style="list-style-type: none">• G

Método de Hidrógeno

Niveles de hidrógeno

- H1:** Nivel extra bajo de hidrógeno, menos de 5 ml / 100 g de hidrógeno difusible en el metal, lo cual se puede lograr en las siguientes situaciones:
- electrodos básicos estufados a 384 grados C y usados en 2 horas.
 - electrodos básicos estufados a 384 grados C y guardados en termos calientes para ser usados en 2 horas.
 - GMAW con alambre sólido usando CO₂ o Ar como gas protector.
- H2:** Bajo hidrógeno; el hidrógeno difusible <10ml / 100 g de metal .
Electrodos básicos guardados herméticamente o estufados a 384 grados C y que serán usados en 4 horas.
SAW con fundentes secos.
- H3:** Nivel de hidrógeno no controlado, se cumple para electrodos de recubrimiento celulósico. Con todos estos elementos se extrae la temperatura mínima de precalentamiento y de 'entre pasadas' en la tabla 8.

Temperatura de precalentamiento entre pasadas

Niveles de restricción	Espesor mm	Temperatura mínima de precalentamiento y entre pasadas (°C)						
		Índice de susceptibilidad						
		A	B	C	D	E	F	G
Bajo	< 9,5	<25	<25	<25	<25	<50	130	135
	9,5-19	<25	<25	25	50	85	130	135
	19-38	25	25	25	65	100	130	135
	38-76	25	25	25	80	106	130	135
	> 76	25	25	25	80	106	130	135
Medio	<9,5	25	25	25	25	56	123	145
	9,5-19	25	25	25	65	101	130	145
	19-38	25	25	60	95	123	133	145
	38-76	25	65	95	115	135	133	145
	>76	80	106	123	135	145	145	145
Alto	<9,5	25	25	25	25	95	133	145
	9,5-19	25	25	50	90	123	145	145
	19-38	25	70	100	123	134	145	145
	38-76	100	115	134	135	145	145	145
	>76	100	115	134	135	145	145	145



Instituto
Nacional de
Aprendizaje