

## Oferta de acero inoxidable martensítico

# Calidades MA2 - MA3 - MA3M - MA4 - MA5



### Composición química

Calidades	C	Si	Mn	Cr	Mo	N
MA2	0,22	0,35	0,35	13,3	-	0,03
MA3	0,32	0,35	0,35	13,7	-	0,03
MA3M	0,38	0,35	0,35	14,0	0,8	0,09
MA4	0,46	0,35	0,35	13,8	-	0,03
MA5	0,35	0,35	0,35	16,0	-	0,15

Valores indicativos (% en peso)

MA2	MA3	MA3M	MA4	MA5
Designación Europea <sup>(1)</sup>				
1.4021	1.4028	1.4419 *	1.4034	-
Designación americana <sup>(2)</sup>				
AISI 420	AISI 420	-	-	-

<sup>(1)</sup> Según NF EN 10088 - <sup>(2)</sup> Según ASTM A 176 - \* Asimilado

Estas calidades son conformes con:

- > Ficha de seguridad Stainless Europe: aceros inoxidables (directiva europea 2001/58/EC)
- > Directiva de la Comisión Europea 2013/28/UE para los vehículos al final de su vida útil, y el Anexo II
- > Estándares NFA 36 711 "para acero inoxidable en contacto con alimentos, productos y bebidas destinados al consumo humano y animal" (excluye el embalaje)
- > La norma NSF/ANSI 51-2009, estándar para "Materiales para equipos alimentarios" y de la F.D.A. (United States Food and Drug Administration) en lo referente a los materiales que entran en contacto con alimentos
- > El decreto francés No. 92-631 con fecha del 8 de julio de 1992 y el Reglamento (CE) No. 1935/2004 del 27 de octubre de 2004 sobre los materiales y artículos destinados a entrar en contacto con alimentos
- > La orden gubernamental francesa con fecha del 13 de enero de 1976 en relación con los materiales y artículos fabricados con acero inoxidable que entran en contacto con los productos alimentarios
- > El decreto ministerial italiano del 21 de marzo de 1973: una lista de los tipos de acero inoxidable conformes con la Normativa sobre la higiene de los embalajes, de los recipientes y las herramientas destinadas a entrar en contacto con las sustancias de uso alimentario o con las sustancias en contacto con las personas

- > La recomendación de la Dirección Europea para la Calidad del Medicamento y el Cuidado de la Salud (EDQM, por sus siglas en inglés); Obra «Metals and alloys used in food contact materials and articles - A practical guide for manufacturers and regulators - 1<sup>st</sup> edition 2013»

### Características generales

Los martensíticos se caracterizan por su capacidad para endurecerse mediante tratamiento térmico. En condiciones de temple y revenido, alcanzan altos niveles de dureza lo cual aumenta su poder de corte. Esta característica combinada con una buena resistencia a la corrosión, permite a los martensíticos responder a las exigencias de numerosas aplicaciones.

### Aplicaciones

- > Hojas de cuchillos y utensilios diversos para la preparación de los alimentos.
- > Hojas de equipamiento industrial
- > Herramientas de corte
- > Piezas mecánicas y herramientas diversas.

Para las hojas de cuchillos de cocina y utensilios utilizados para la preparación de alimentos, se recomienda la calidad MA3M por su contenido en molibdeno y la calidad MA5 con alto contenido en cromo debido a su resistencia a la corrosión mejorada y a su capacidad de alcanzar elevados niveles de dureza en condiciones de temple y revenido.

### Posibilidades de entrega

#### Recocido

**Formas:** chapas, flejes, bobinas, formatos

**Espesores:** de 0,4 a 6 mm

**Ancho:** según espesores, máximo 1 000 mm

**Acabado:** laminado en frío y laminado en caliente según espesor

#### Trabajo en frío

tipo de endurecimiento C700 - C850

## Características físicas

### Chapa laminada en frío

Densidad	d		4 °C	7,7
Temperatura de fusión	Tf	°C		1400 1420
Calor específico	c	J/kg.K	20 °C	460
Conductividad térmica	k	W/m.K	20 °C 200 °C	30 31
Coefficiente medio de dilatación térmica	$\alpha$	$10^{-6}/K$	20-200 °C 20-400 °C	11 12
Resistividad eléctrica	$\rho$	$\Omega.m$	20 °C	$6,2 \cdot 10^{-7}$
Permeabilidad magnética	$\mu$	H=800 A/m	20 °C	700
Modulo de Young	E	GPa	20 °C	215

## Características mecánicas

### Tras recocido (estado de entrega)

Según la norma ISO 6892-1, parte 1

Probeta perpendicular al sentido de laminado.

Lo = 80 mm (espesor < 3 mm),  $5,65 \sqrt{S_0}$  (espesor  $\geq 3$  mm)

Calidades	Rm <sup>(1)</sup> (MPa)	Rp <sub>0,2</sub> <sup>(2)</sup> (MPa)	A <sup>(3)</sup> %	HRB
MA2	580	340	25	81
MA3	610	330	24	85
MA3M	680	400	21	89
MA4	670	390	21	89
MA5	680	390	21	89

Valores típicos - <sup>(1)</sup>Tensión de rotura (UTS) - <sup>(2)</sup>Límite elástico (Fyk) - <sup>(3)</sup>Elongación (A)

### Tras austenización, temple y revenido

Calidades	Según EN10088 <sup>(4)</sup>		Valores típicos <sup>(5-6)</sup>	
	HRC	HV	HRC	HV
MA2	44 à 50	440 à 530	52	546
MA3	45 à 51	450 à 550	54	585
MA3M	-	-	57	636
MA4	49 à 55	510 à 610	56	609
MA5	-	-	58	653

<sup>(4)</sup> Austenización 950 - 1050 °C para MA2 y MA3, 1000 - 1100 °C para MA4 + revenido 200 - 350 °C.

<sup>(5)</sup> Austenización 10 minutos a 1025 °C - Enfriamiento aire soplado hasta 20 °C - Revenido 1h a 180 °C.

<sup>(6)</sup> Valores no garantizados dado que se han obtenido tras tratamiento térmico en laboratorio considerando la temperatura del metal y no la del horno.

## Tratamiento térmico

Nuestros martensíticos se entregan en estado recocido con una estructura ferrita y carburos.

Los aceros inoxidables martensíticos presentan una gran resistencia mecánica tras tratamiento térmico completo que incluye una austenización, un enfriamiento rápido y un revenido.

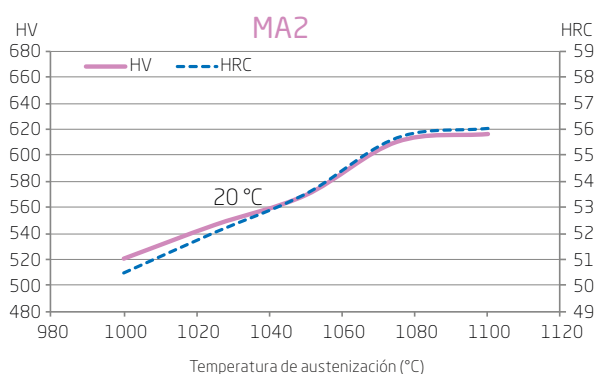
El tratamiento recomendado es una austenización durante 10 min. a 1025°C-1050°C seguido por un enfriamiento en menos de 1 minuto hasta 20 °C bajo atmósfera reductora de nitrógeno e hidrógeno y posteriormente un revenido de 1 hora a 180 °C. Se trata de condiciones térmicas sobre pieza. Se debe evitar una carga con un recubrimiento excesivo de piezas entre ellas dado que dificultará el respeto de estas condiciones y podría degradar como consecuencia la resistencia a la corrosión y el nivel de dureza de las piezas.

Es posible una temperatura de austenización inferior a 1025 °C pero provocará una dureza más débil. A la inversa una temperatura de austenización superior a 1050 °C, sin sobrepasar 1100 °C, permitirá aumentar las durezas de las calidades martensíticas pero necesitará imperativamente para la calidad MA5 realizar un paso por el frío para reducir la tasa de austenita residual.

Se puede aumentar la temperatura de revenido ligeramente hasta 225 °C para mejorar la resiliencia pero en detrimento de la dureza. Sin embargo no se recomienda reducirla por debajo de 180 °C por el riesgo de fragilizar la pieza.

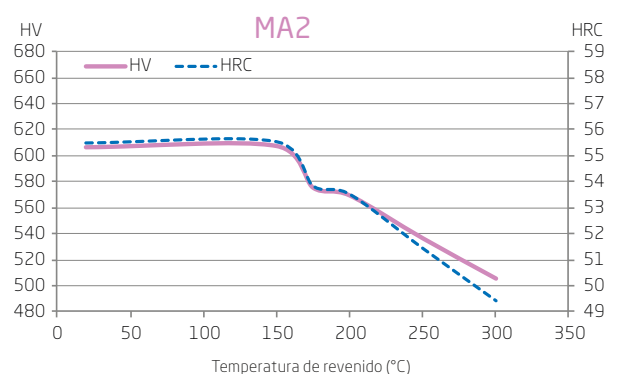
### Influencia de la temperatura de austenización sobre la dureza

Austenización, temple a 20 °C o -80 °C y revenido 1 h a 180 °C



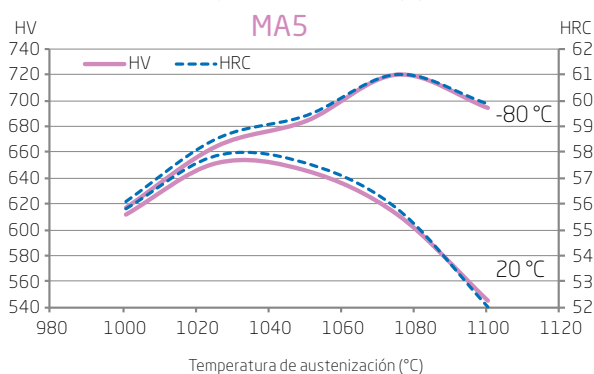
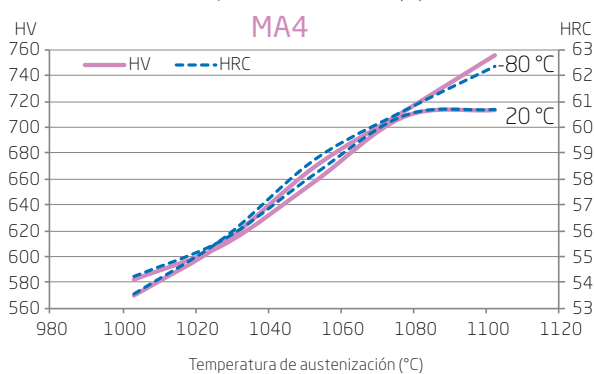
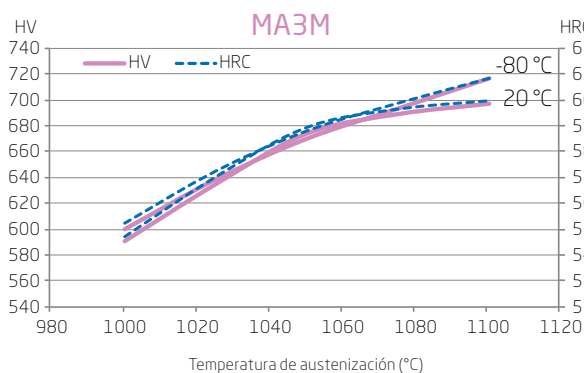
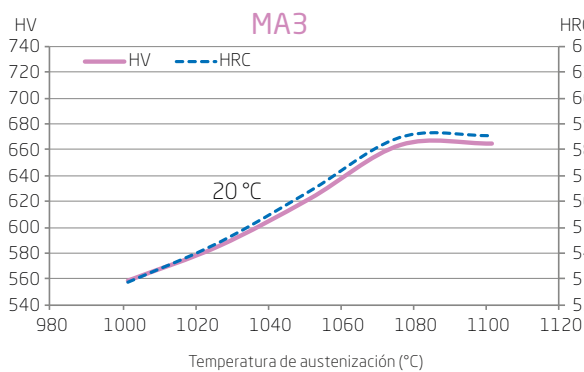
### Influencia de la temperatura de revenido sobre la dureza

Austenización 1050 °C, temple a 20 °C y revenido



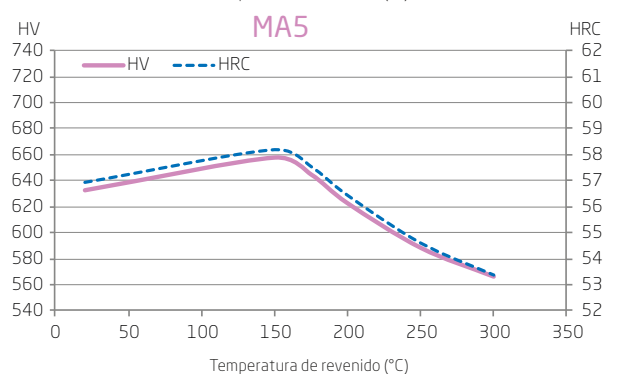
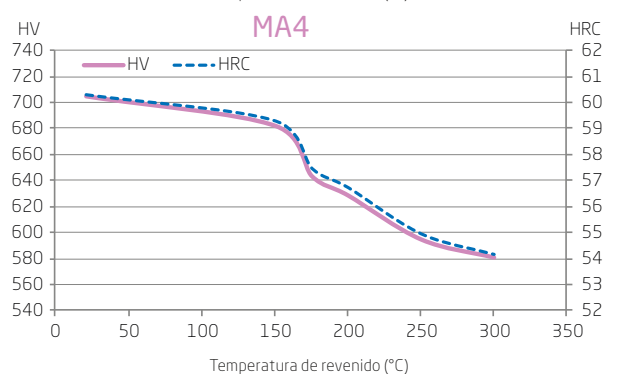
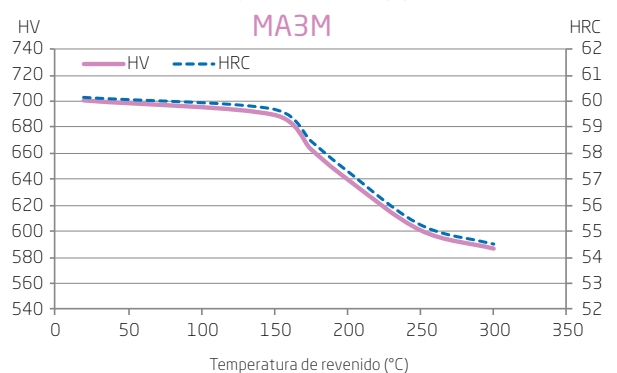
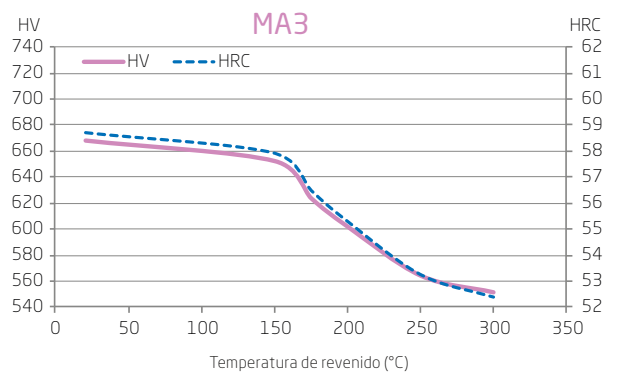
## Influencia de la temperatura de austenización sobre la dureza

Austenización, temple a 20 °C o -80 °C y revenido 1 h a 180 °C



## Influencia de la temperatura de revenido sobre la dureza

Austenización 1050 °C, temple a 20 °C y revenido



## Resistencia a la corrosión

La resistencia a la corrosión depende de las condiciones de temple y revenido empleadas y principalmente de la velocidad de enfriamiento tras austenización.

Por debajo de la velocidad crítica de enfriamiento, del orden de 10 °C/s, se observa una pérdida de resistencia a la corrosión por picaduras debido a la precipitación de carburos y de nitruros de cromo que conllevan un empobrecimiento en cromo alrededor de los precipitados. En la práctica, esto significa que se debe prohibir un simple enfriamiento del aire, y que se debe realizar un enfriamiento mediante gas reductor impulsado o un temple con aceite. También se debe prohibir una temperatura de revenido superior a 300 °C dado que conlleva la precipitación de carburos y de nitruros de cromo.

Además, el calentamiento localizado debido a operaciones de acabado como amoladura, afilado, pulido o corrugado no debe inducir temperaturas más elevadas que la recomendada para el revenido.

## Resistencia a la corrosión (continuación)

Finalmente, el estado de la superficie es otro factor que puede afectar a la resistencia a la corrosión: en caso de pulido, siempre es preferible una superficie con una rugosidad débil.

La resistencia a la corrosión depende de la composición química de las diferentes calidades de acero inoxidable martensítico. Los elementos químicos favorables son el cromo, el molibdeno y el nitrógeno y el elemento químico desfavorable es el carbono por su tendencia a consumir cromo en forma de carburos de cromo no disueltos por completo durante la austenización. La fórmula siguiente muestra correctamente el

efecto de estos elementos químicos sobre la resistencia a la corrosión: % Cr + 3,3 % Mo + 16 % N - 5 % C.

La sensibilidad a la corrosión por picadura se mide mediante una prueba electroquímica de multiplicaduras que permite acceder al potencial de picadura. Cuanto mayor sea el potencial de picadura, más resistirá la calidad a la corrosión por picadura. De esta forma se distinguen los aceros martensíticos con resistencia moderada a la corrosión que son el MA2, el MA3 y el MA4 de los aceros martensíticos con buena resistencia a la corrosión que son el MA3M y el MA5.

Resistencia a la corrosión	MA4	MA3	MA2	MA3M	MA5
% Cr + 3,3 % Mo + 16 % N - 5 % C	12,0	12,6	12,7	16,2	16,7
Potencial de picadura $E_{0,1}$ (mV/ECS) - NaCl 0.02M, 23 °C, pH 6.6	300 - 350	300 - 350	300 - 350	420	470

## Soldadura

Se deben tomar ciertas precauciones a la hora de soldar aceros inoxidables martensíticos puesto que la transformación martensítica puede provocar fisuras (a veces diferidas en el tiempo) a temperaturas inferiores a 400 °C. Recomendamos precalentar las piezas aproximadamente a 200 °C. antes de soldarlas.

Durante un proceso de soldadura que requiere gas de protección (TIG, MIG, plasma), queda estrictamente prohibido el uso de hidrógeno o nitrógeno. Los aceros inoxidables martensíticos pueden ser ensamblados mediante soldadura por puntos, por roldanas, pero también mediante soldadura por arco.

Después de la soldadura, se recomienda realizar un tratamiento térmico para las calidades con contenido de carbono superior al 0,2 %.

**Cuando no se utiliza metal de aportación durante el proceso de soldadura**, recomendamos realizar un tratamiento térmico post-soldadura:

- > Un recocido entre 650 y 800 °C pero en este caso la resistencia a la corrosión se degrada
- > Austenización a 1025 °C, seguida por un revenido a 180 °C

**Cuando se realiza la soldadura con metal de aportación**, se tendrá que elegir entre:

- > Una aleación con la misma composición que la del metal base (soldadura homogénea con electrodo AWS 420 o hilo), con un tratamiento térmico postsoldadura como descrito anteriormente si se desea obtener la misma dureza en la soldadura y en el metal base
- > Una aleación con una composición diferente a la del metal base (soldadura heterogénea con electrodo o hilo austenítico de tipo ER 308 L, 309 L o 316L conforme a la norma EN-ISO 14343), pero siempre se deberá aplicar un tratamiento térmico postsoldadura para evitar una fragilización de la zona afectada térmicamente.

### Decapado

Las soldaduras se deben decapar y repasar para recuperar la resistencia a la corrosión del metal base.

El decapado puede realizarse en baño o localmente con ayuda de pastas específicas adaptadas a los aceros inoxidables.

Para el decapado se puede utilizar una mezcla de ácido nítrico y de ácido fluorhídrico (15 % HNO<sub>3</sub> + 1 % HF).

Para la pasivación se puede utilizar ácido nítrico a 25 % (2h a 20 °C o 10 min a 50 °C) seguido de un aclarado abundante con agua fría (Norme EN-ISO 14343).

Proceso de soldadura	Sin metal de aportación	Con metal de aportación		Gas de protección	
	Espesores típicos	Espesores	Metal de aportación		Hidrógeno y nitrógeno prohibidos Alambón Hilo
			Alambón	Hilo	
Resistencia: punto, roldana	≤ 2 mm				
TIG (GTAW)	≤ 1,5 mm	> 0,5 mm	ER 309 L (Si) ER 420 <sup>(1)</sup>	ER 309 L (Si) ER 420 <sup>(1)</sup>	Ar, Ar + He
PLASMA (PAW)	≤ 1,5 mm	> 0,5 mm		ER 309 L (Si) ER 420 <sup>(1)</sup>	Ar
MIG-MAG (GMAW)		> 0,8 mm		ER 309 L (Si) ER 420 <sup>(1)</sup>	Ar + 2 % CO <sub>2</sub> o Ar + 2 % O <sub>2</sub>
SAW (con polvo)		> 2 mm		ER 309 L (Si) ER 420 <sup>(1)</sup>	
Electrodo (SMAW)		Reparación	ER 309 L (Si) ER 420 <sup>(1)</sup>		
Laser	≤ 5 mm				He

<sup>(1)</sup> El metal de aportación homogéneo ER 420 se debe utilizar en el momento del templado anterior y del revenido con el fin de obtener el mismo nivel de dureza tanto en la soldadura como en el metal base.