

MÉTODOS DE ENDURECIMIENTO DEL ALUMINIO

El aluminio puro presenta muy baja dureza y resistencia, luego es preciso reforzarlo de cara a su utilización estructural. Como sabemos, las posibles vías de endurecimiento son:

- Acritud
- Solución sólida
- Precipitación.

Endurecimiento por acritud del aluminio

Debido a su red, el Al tiene una gran capacidad de deformación. Vimos que la deformación plástica en frío provocaba el movimiento de dislocaciones, causando:

- que las dislocaciones se multipliquen
- que se enreden unas con otras, dificultándose el movimiento.

Por ello, esta deformación aplicada mejora significativamente las propiedades mecánicas:

- incremento sustancial de límite elástico y dureza
- subida de la resistencia a tracción
- notable pérdida de plasticidad

Estos incrementos no se producen proporcionalmente: las variaciones son especialmente importantes para las primeras cantidades de deformación, mientras que grandes acritudes posteriores no mejoran notablemente las propiedades.

El estado más blando del aluminio: aleación en equilibrio \rightarrow situación de mínima resistencia, dureza y límite elástico se denomina estado O (recocido).

El estado H corresponde al tratamiento de acritud, teniendo diferentes subdivisiones.

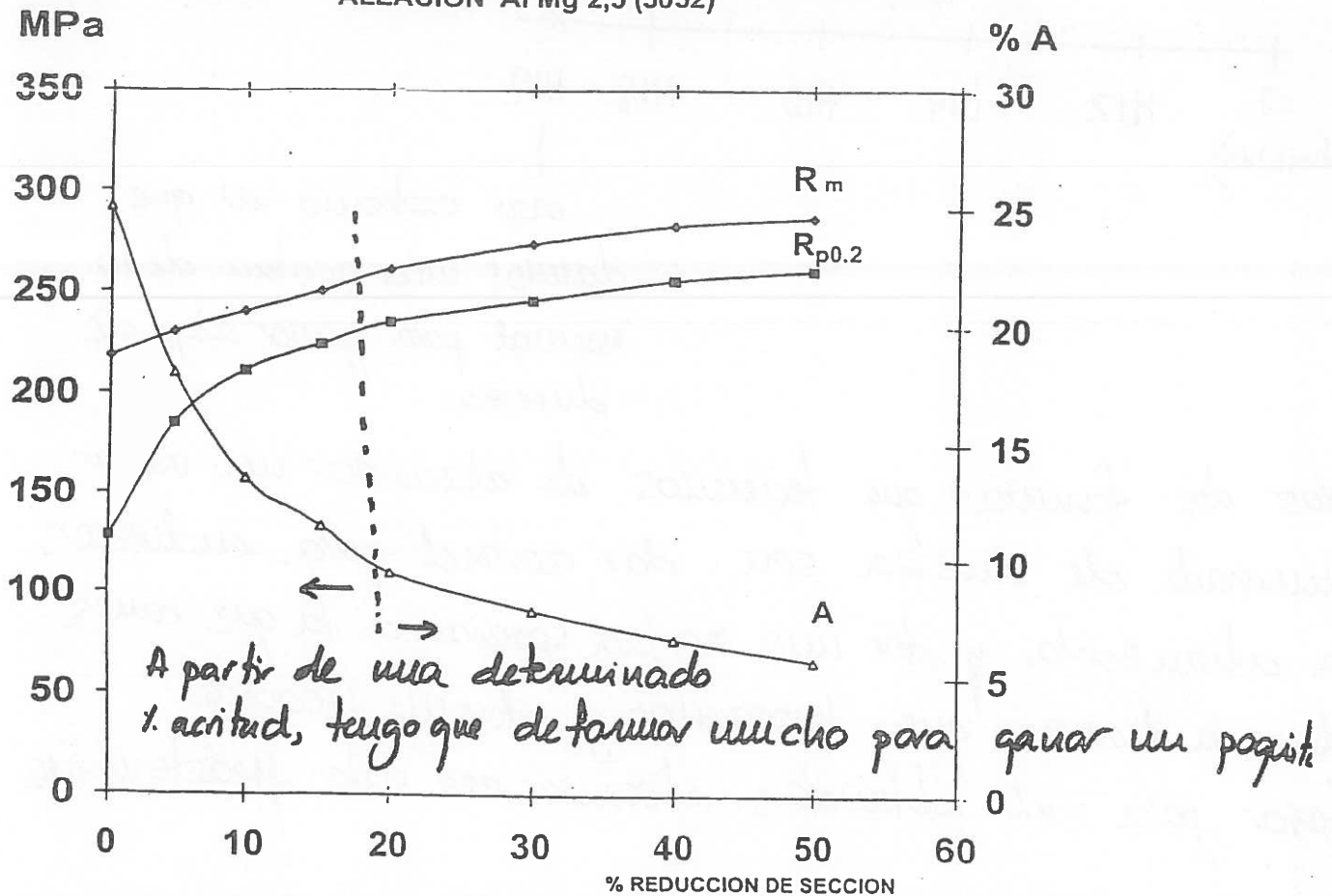
Estado H1x (acritud solamente). Estas designaciones se aplican a los productos que son endurecidos por deformación plástica en frío con objeto de obtener la resistencia mecánica deseada sin tratamiento térmico suplementario. La x indica la cantidad de acritud aplicada; en la práctica, cuando se llega al valor de acritud a partir del cual no se gana prácticamente nada, se dice que corresponde a $x=8$ (H18), de forma que en este estado tenemos casi las máximas propiedades que podemos tener por acritud.

El estado H14 corresponderá a obtener un valor intermedio entre el mínimo (recocido) y H18....

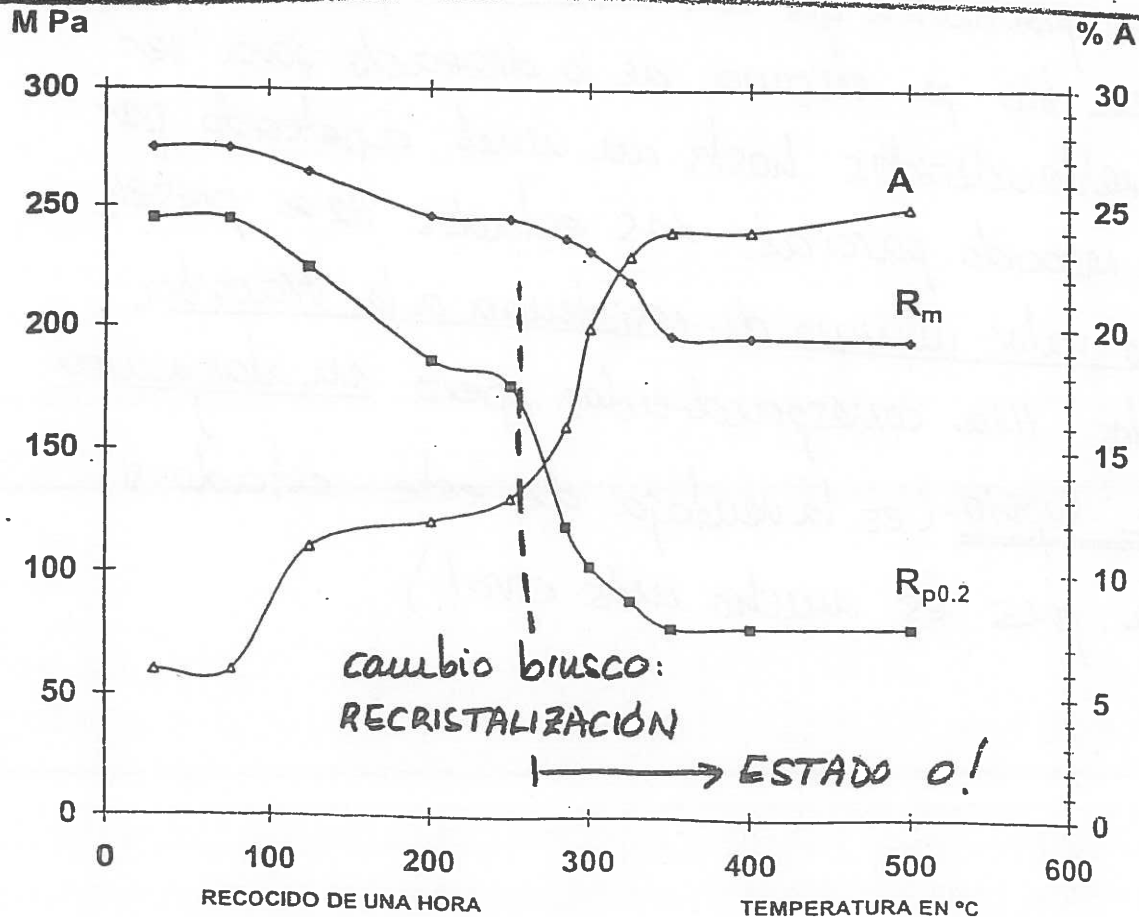
Suelen emplearse los siguientes:

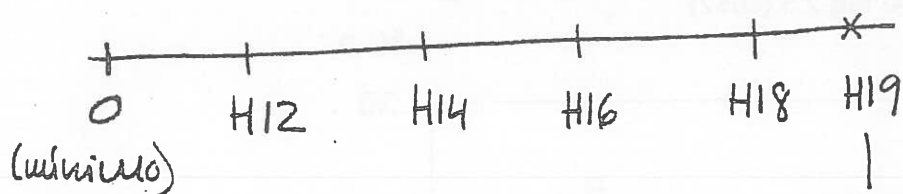
INFLUENCIA DE LA ACRITUD EN LAS PROPIEDADES MECANICAS DE LA ALEACION Al Mg 2,5 (5052)

M/210



INFLUENCIA DE LA TEMPERATURA DE RECOCIDO EN LAS PROPIEDADES MECANICAS DE LA ALEACION Al Mg 2,5 (5052) CON ACRITUD DEL 33% DE REDUCCION DE SECCION





caso extremo en que damos más acritud de lo normal para ganar algo de dureza.

Las dos formas que tenemos de alcanzar un valor determinado de dureza son: dar acritud para endurecer, hasta alcanzarlo, y dar una acritud superior a la que corresponde a la dureza que buscamos y dar un recocido posterior para, al ablandar, alcanzar ese valor predeterminado:

Estado H2x: acritud y recocido parcial Estas designaciones se aplican a los productos que son endurecidos por deformación plástica en frío por encima de lo deseado para ser posteriormente reblandecidos hasta un nivel apetecido por medio de un recocido parcial. Los estados H2x poseen el mismo valor mínimo de resistencia a la tracción que los estados H1x correspondientes, pero un alargamiento ligeramente superior. (es la ventaja de este estado: si no, no lo haría pues es mucho más caro!)

ETAPAS RECOCIDO

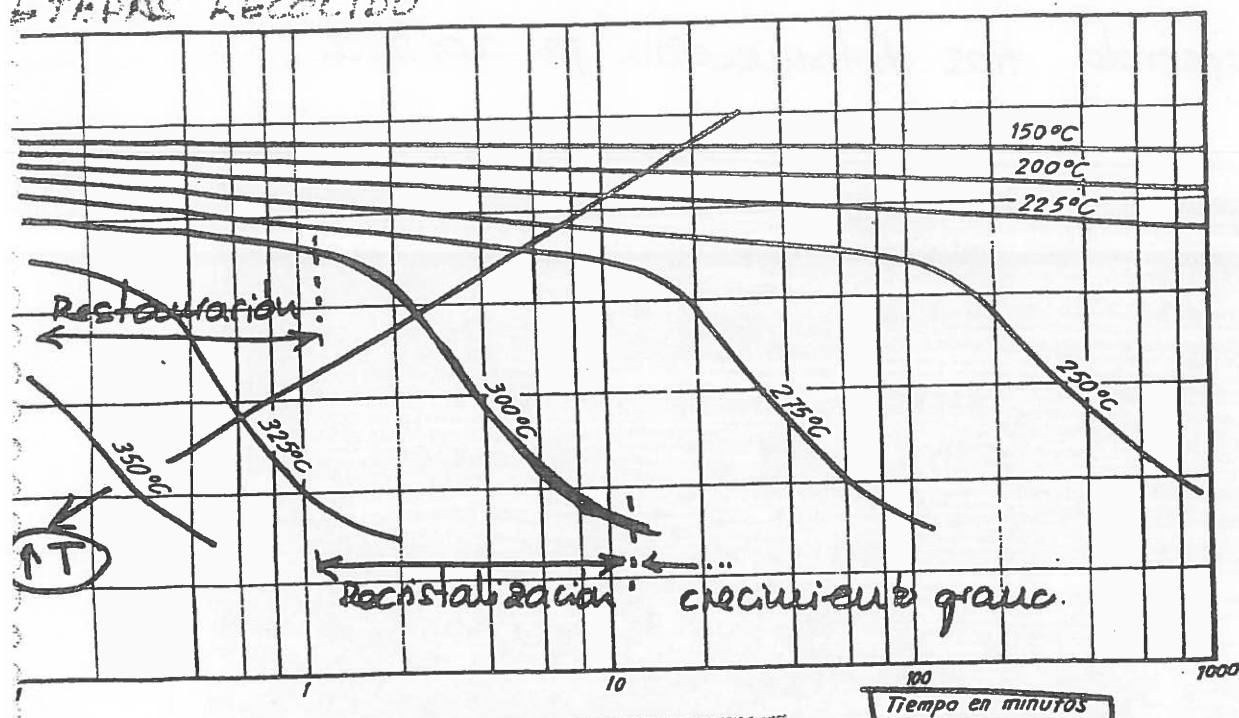
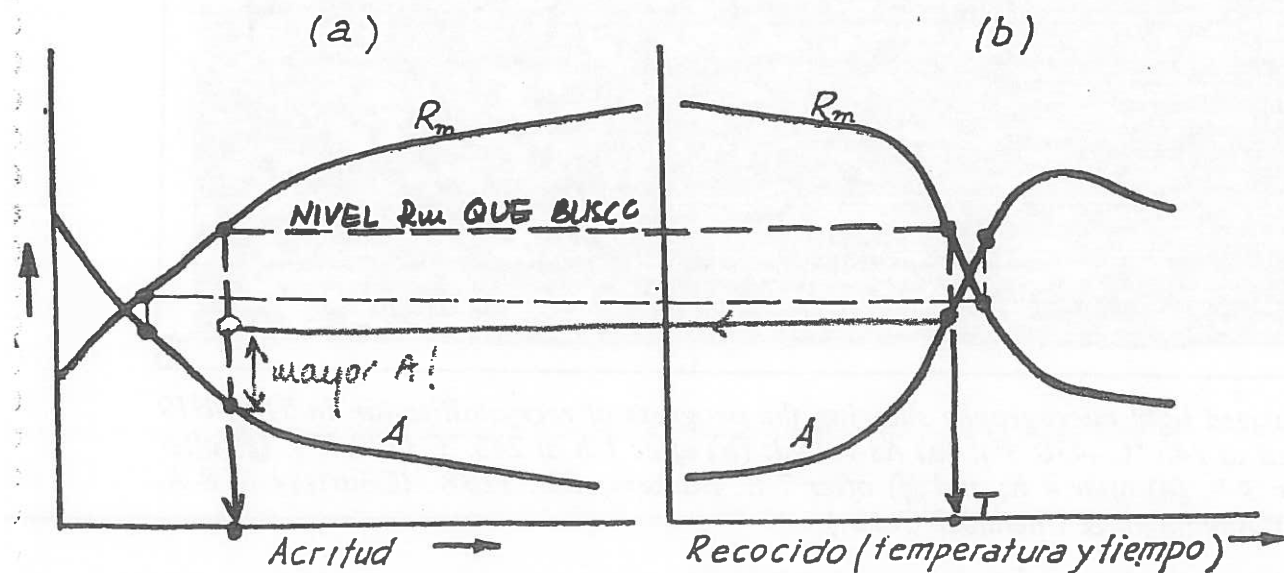


Fig. 21.—Curvas isotérmicas de ablandamiento. Aleación L-339 (Al-3Mg-0.5Mn)



23.—Comparación entre un material solamente con acritud (a) y con acritud más recocido parcial (b)

SECUENCIA DEL PROCESO DE RECRISTALIZACIÓN
(daños en conocido tras deformación por acotud).

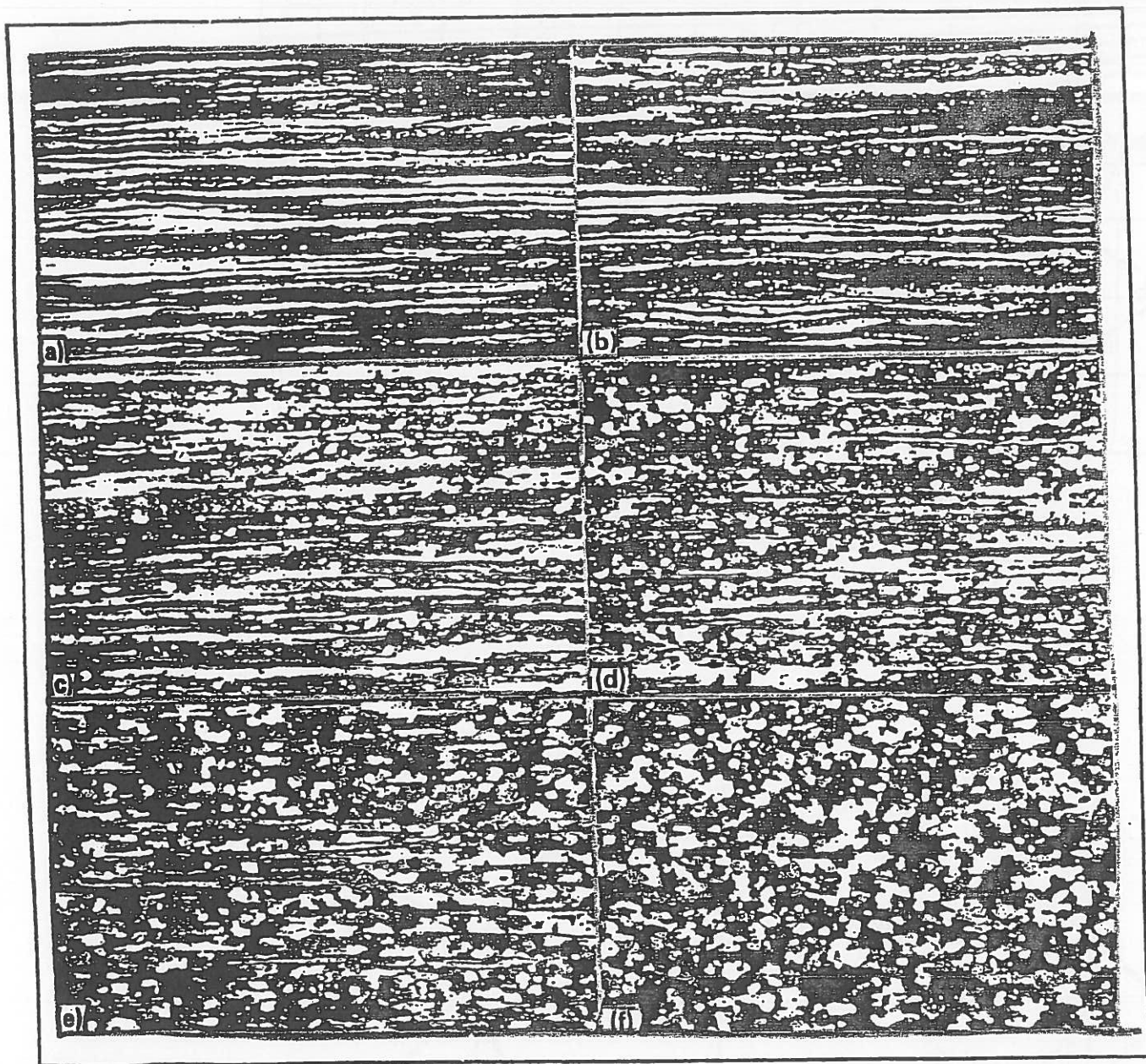


Fig. 13 Polarized light micrographs showing the progress of recrystallization in 5182-H19 sheet annealed at 245 °C (470 °F); (a) As-rolled; (b) after 1 h at 245 °C (470 °F); (c) after 2 h; (d) after 3 h; (e) after 4 h; and (f) after 7 h. Barkers etch, 120×. (Courtesy of B.A. Riggs, Kaiser Aluminum & Chemical Corp.)

las etapas del recocido son, como sabemos:

- Restauración
- Recristalización: cambio brusco de propiedades
- crecimiento de grano

↳ En función de la temperatura de recocido tendremos más resistencia o menos, pero nuevos (fig 23) que para un mismo nivel de resistencia, el estado H2 presenta mayor plasticidad que el H1.

En la fig. 13 vemos cómo va evolucionando una aleación endurecida por acritud según va aumentando la temperatura:

(a) Seguramente se trate de un estado H19, pues los granos se ven muy muy alargados: tienen muchísima deformación plástica.

(b) Como ha pasado no mucho t a una T baja, prácticamente no se aprecia diferencia con la anterior - estamos en la etapa de restauración: con un microscopio óptico no apreciamos diferencia alguna, pues sólo se distinguen la forma y el tamaño de grano que durante esta etapa no cambian!; sólo hay una reordenación interna de dislocaciones que con estos microscopios no se ve.

(c) Se observa una recristalización parcial: la mayoría de los granos son aún alargados pero ya han "nacido" algunos de los nuevos granos equiaxiales.

(d) Estado de recristalización más avanzada, donde aún se aprecian granos antiguos (abigados) y muchos nuevos (equiaxiales)

(e) Recristalización casi total

(f) Recristalización total: todos los granos son equiaxiales

↓: Ahora comenzaría, si damos más tiempo, el crecimiento de grano.

[Estado H3a: Acritud y estabilizado]. Estas designaciones se aplican a los productos que son endurecidos por deformación plástica en frío y cuyas características mecánicas son estabilizadas por tratamiento térmico a baja temperatura. Esta designación se aplica sólo a las aleaciones que, de no ser estabilizadas, se reblandecen progresivamente a temperatura ambiente.

Por ejemplo, las aleaciones Al-Mg en estado H1 presentan variación de propiedades con el tiempo, por lo que necesitan una estabilización. El tratamiento consiste en que, como el material por sí solo va a perder propiedades (límite elástico, resistencia, ...), vamos a acelerar este proceso facilitándolo, esto es, dándole un pequeño calentamiento (1 hora a 150°C). Así, el material va a perder todo lo que tenga que perder durante ese tiempo en que yo cambié las condiciones.

Una vez hecho esto, el material no va a cambiar más sus propiedades (las que le hayan quedado), de forma que podemos emplearlo con seguridad. Así, estas aleaciones no deben emplearse nunca en estado H1 (puede llevar alguna sorpresilla), sino que hay que hacerlo en estado H3.

Estado H4x: aeritud y lacado o pintado

Estas designaciones se aplican a los productos que son endurecidos por deformación plástica en frío y que pueden experimentar un cierto recocido parcial en el curso de tratamiento de curado térmico a que se someten después de las operaciones de lacado o pintado.

- Segundo dígito después de H (x)
- El dígito 8 se atribuye habitualmente al estado más duro normalmente producido.
- El dígito 4 designa los estados para los que la resistencia a tracción está aproximadamente a medio camino entre la de estado 0 y la de los estados Hx8.
- El dígito 2 designa los estados para los que la resistencia a tracción está aproximadamente a medio camino entre la del estado 0 y la de los estados Hx4.
- El dígito 6 designa los estados para los que la resistencia a tracción está aprox. a medio camino entre la de los estados Hx4 y Hx8.

El dígito 9 designa los estados cuyo valor mínimo de resistencia a tracción supera en al menos 10 MPa a la de los estados H₂8.

b 2
Aluminio EN AW-1050 A [Al 99,8(A)]

Estado de tratamiento	Espesor nominal mm		R _m MPa		R _{p0.2} MPa		Alargamiento mín. %		R _d d		HB
	Mayor que	hasta	mín.	máx.	mín.	máx.	A _{50mm}	A	180°	90°	
F ¹⁾	≥ 2,5	25,0	60								
O/H111	0,2	0,5	60	90	15		26		0	r	18
	0,5	1,5	60	90	15		28		0	r	18
	1,5	3,0	60	90	15		31		0	r	18
	3,0	6,0	60	90	15		35		0,5	r	18
	6,0	12,5	60	90	15		35		0,5	r	18
H112	≥ 6,0	12,5	70				20				
	12,5	25,0	70					20			
H12	0,2	0,5	80	120	55		5		0,5	r	26
	0,5	1,5	80	120	55		6		0,5	r	26
	1,5	3,0	80	120	55		7		0,5	r	26
	3,0	6,0	80	120	55		9				26
	6,0	12,5	80	120	55		12				26
H14	0,2	0,5	100	140		⊛	4				32
	0,5	1,5	100	140			4				32
	1,5	3,0	100	140			5				32
	3,0	6,0	100	140			6				32
	6,0	12,5	100	140			7				32
H16	0,2	0,5	110	150	90		2				36
	0,5	1,5	110	150	90		2				36
	1,5	4,0	110	150	90		3				36
H18	0,2	0,5	125				2				40
	0,5	1,5	125				2				40
	1,5	3,0	125				2				40
H22	0,2	0,5	80	120	50		8				26
	0,5	1,5	80	120	50		9				26
	1,5	3,0	80	120	50		11				26
	3,0	6,0	80	120	50		13				26
	6,0	12,5	80	120	50		15				26
H24	0,2	0,5	100	140	60	⊛	5				31
	0,5	1,5	100	140	60		6				31
	1,5	3,0	100	140	60		7				31
	3,0	6,0	100	140	60		9				31
	6,0	12,5	100	140	60		11				31
H26	0,2	0,5	110								35
	0,5	1,5	110								35
	1,5	4,0	110								35

1) Para información solamente.

(Aluminio ± puro)

⊛ H12: ↑ α ⇒ ↑ R_m ↑ R_{p0.2}

⊛ H14 ↔ H24 : R_m = A(H4) < A(H24) ✓

