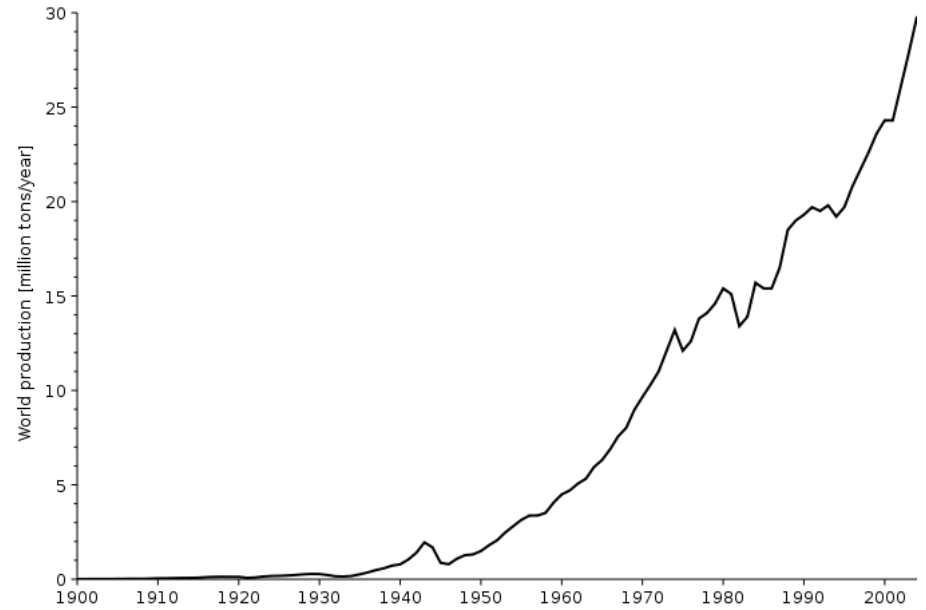
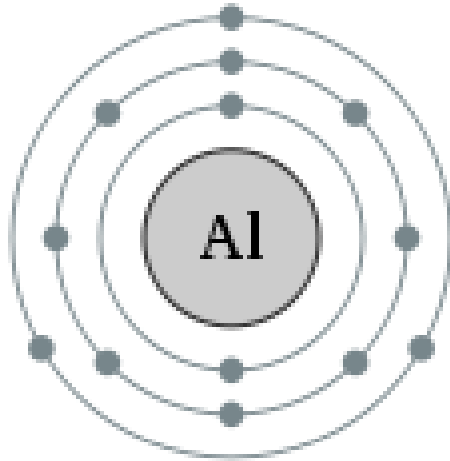


ALUMINIO

Julio Alberto Aguilar Schafer

13: Aluminio

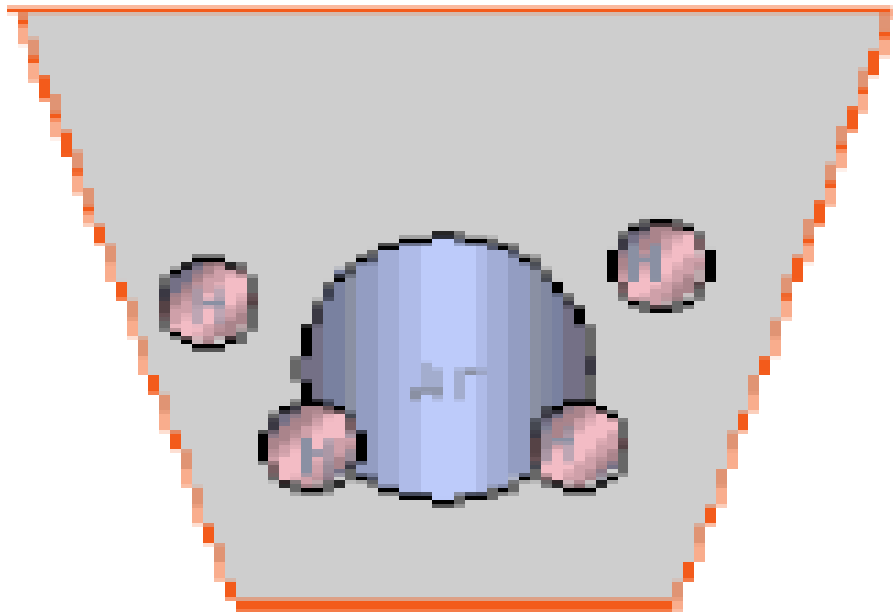
2,8,3



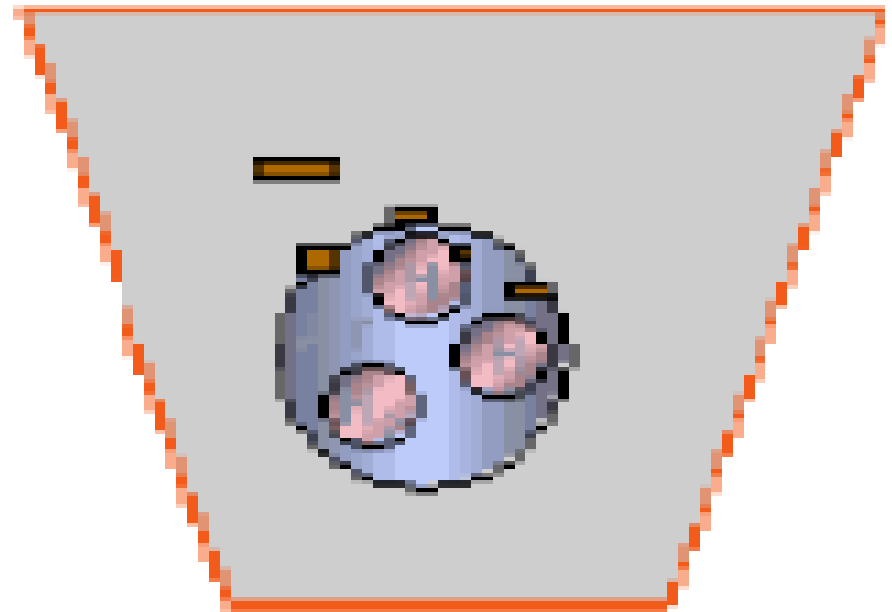
Tendencia de la producción mundial de aluminio

DESGASIFICADO DEL ALUMINIO

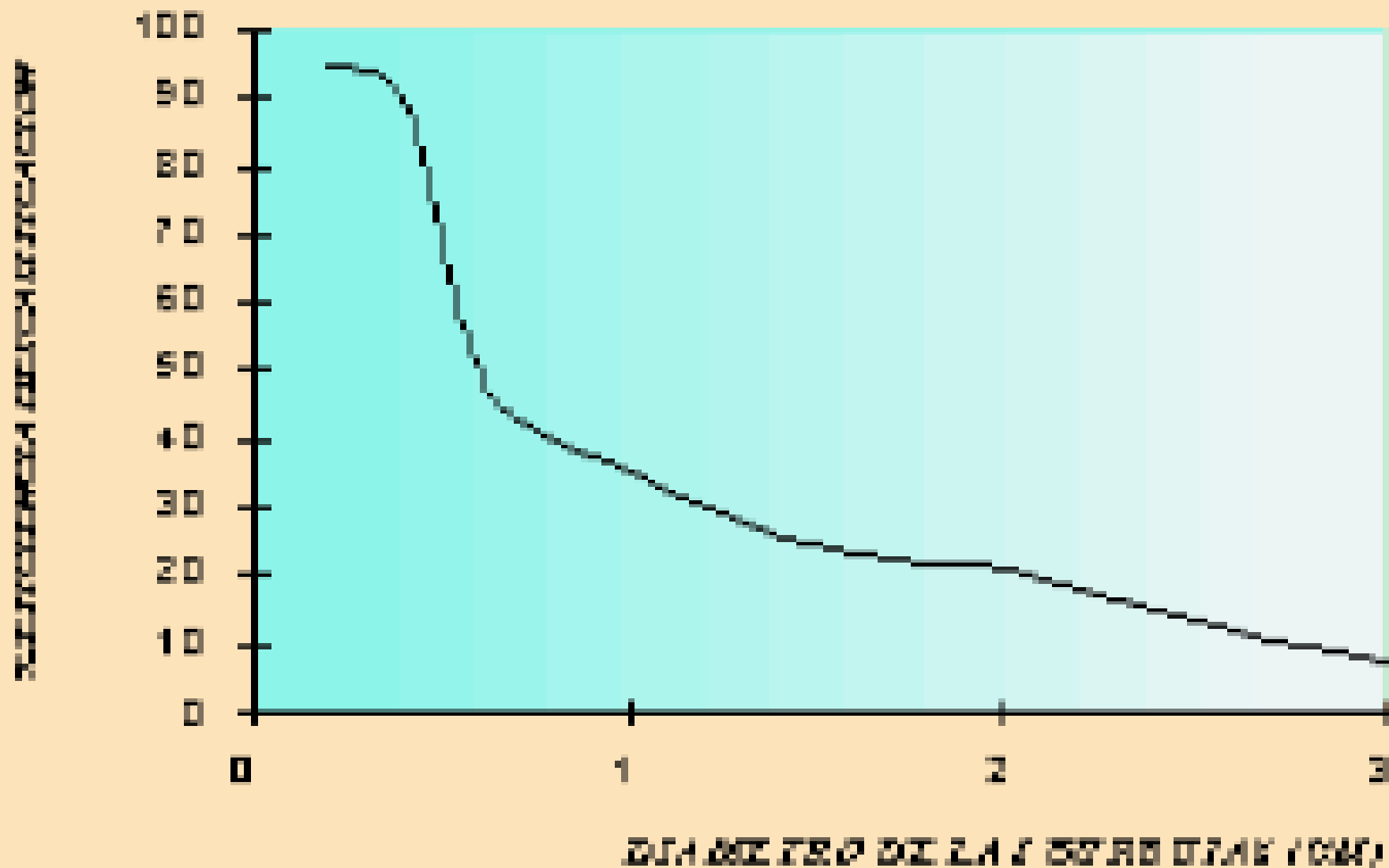
- 1er Paso.- La burbuja de Argón funciona como cámara de vacío

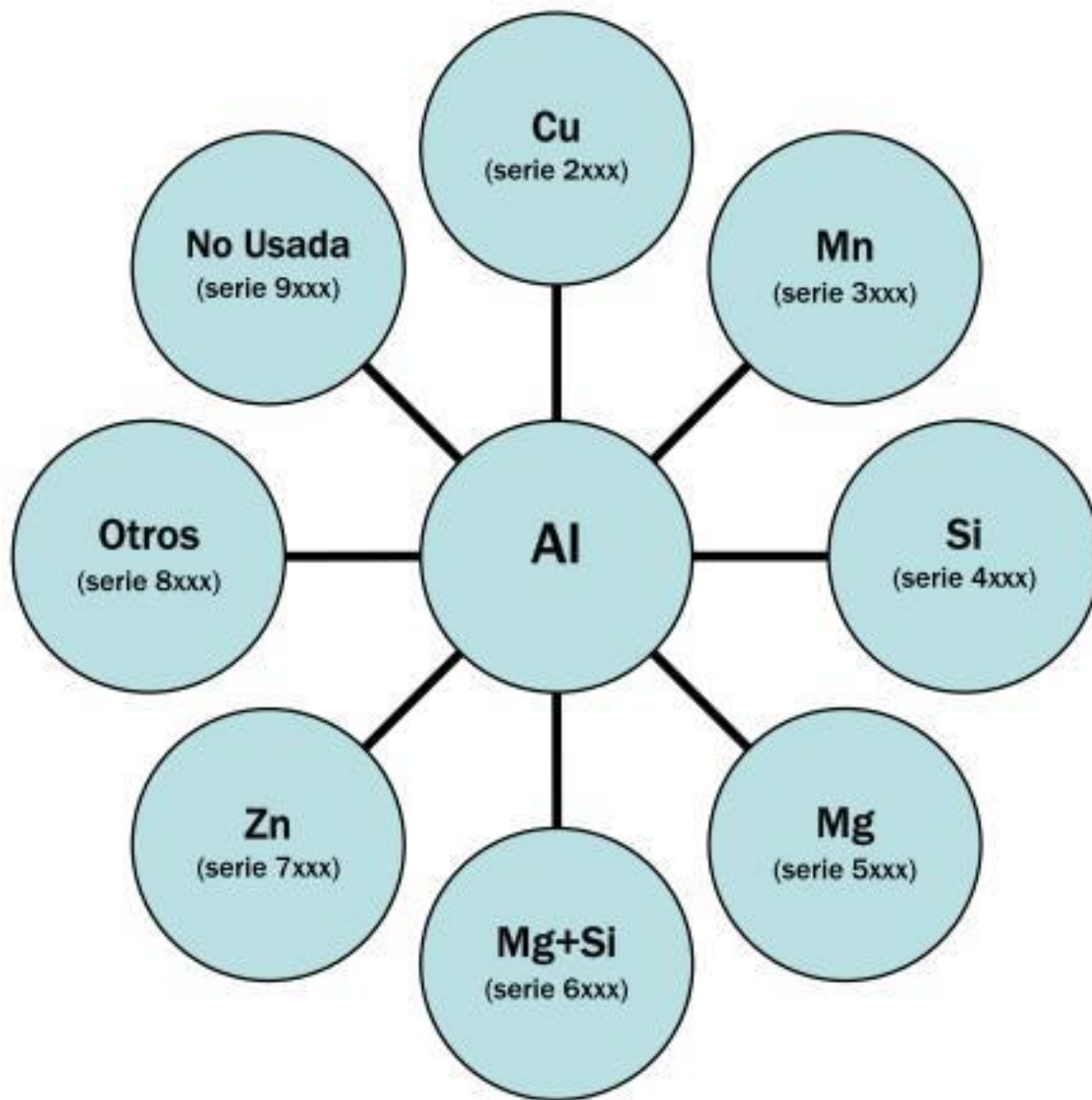


- 2do Paso.- El Hidrógeno monoatómico es adsorbido dentro del Ar formando H_2 y arrastrando inclusiones



EFICIENCIA EN LA DESGASIFICACION





UNE	Composición química, % peso	Tratamiento	Resistencia a tracción MPa	Limite elástico MPa	Alargamiento %	Aplicaciones típicas
Aleaciones para forja						
1100	>99Al, 0.12Cu	Recocido (O) Trab. en frío (H14)	89 124	24 97	25 4	Componentes eléctricos, hojas metálicas finas (papel).
3003	1.2Mn	Recocido (O) Trab. en frío (H14)	117 159	34 149	23 7	Recipientes a presión, resistencia a corrosión, hojas metálicas finas.
5052	2.5Mg, 0.25Cr	Recocido (O) Trab. en frío (H34)	193 262	65 179	18 4	Transportes, metal de relleno en soldadura, recipientes, componentes marinos.
2024	4.4Cu, 1.5Mg, 0.6Mn	Recocido (O) Tratamiento T6	220 442	97 345	12 5	Estructuras aeronáuticas.
6061	1.0Mg, 0.6Si, 0.27Cu, 0.2Cr	Recocido (O) Tratamiento T6	152 290	82 345	16 10	Transportes, estructuras aeronáuticas y marinas y otras de alta resistencia.
7075	5.6Zn, 2.5Mg, 1.6Cu, 0.23Cr	Recocido (O) Tratamiento T6	276 504	145 428	10 8	Estructuras aeronáuticas y aeroespaciales.
Aleaciones para fundición						
355,0	5Si, 1.2Cu	Arena (T6) Molde metálico (T6)	220 285	138 -	2.0 1.5	Bombas domésticas, accesorios aeronáutica, cárter aviación.
356,0	7Si, 0.3Mg	Arena (T6), Molde metálico (T6)	207 229	138 152	3.0 3.0	Fundiciones de gran complejidad, ejes portadores de las motoras, ruedas de camiones.
332,0	9.5Si, 3Cu, 1.0Mg	Molde metálico (T5)	214			Pistones de automóviles.
413,0	12Si, 2Fe	Fundición en coquilla	297	145	2.5	Fundiciones complicadas.

Other alloys

Production data and energy consumption for selected materials of manufacturing*

Material	World Production,		Energy Consumption,	
	10^6Mg^\dagger		MJ/kg	
	1972	1994	From ore	From scrap
Iron (steel)	634	750	35	14
Aluminum	11	19.4	240	13
Copper	7	11.5	120	20
Zinc	5.2	7.1	70	20
Lead	3.6	5.4	30	10
Nickel	0.6	0.9	150	16
Magnesium	0.26	0.34	380	10
Titanium	0.06	0.1	550	
Plastics		130	170	
Plywood			10	

*From various sources.

$\dagger \text{Mg} = 1000 \text{ kg} = \text{metric tonne} = 2200 \text{ lb.}$

Nomenclatura de las aleaciones de aluminio

- El Segundo dígito: Indica la modificación de la aleación original o los límites de impureza.
- El Tercero y Cuarto dígito: Identifican la aleación de aluminio o indican la pureza del aluminio.
- La siguiente tabla menciona los principales grupos de Aleaciones de Aluminio para forja.

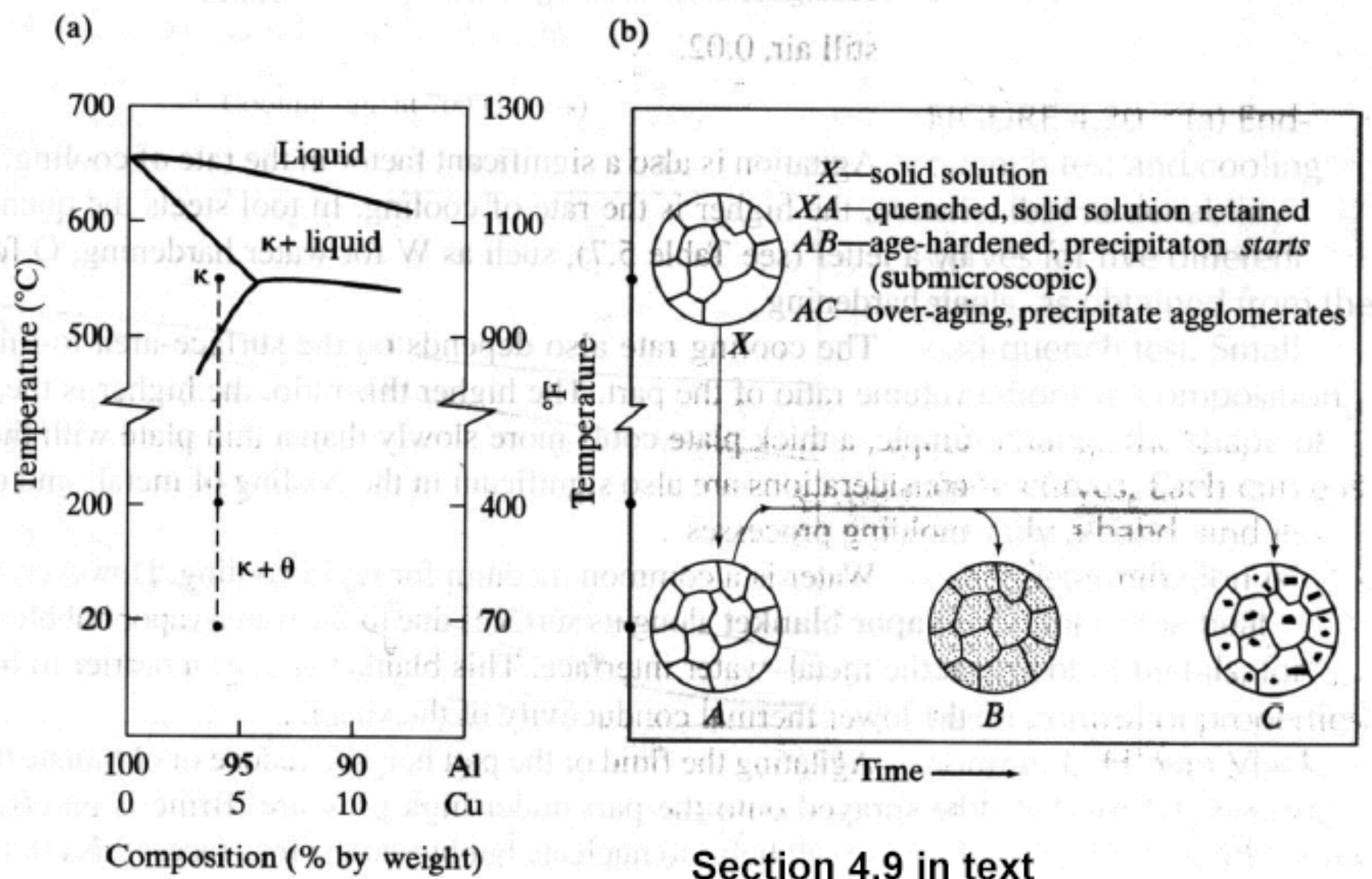
Aleaciones de Aluminio para forja	
Aluminio Puro (99 % de Al)	1xxx
Aluminio -Cobre (Duraluminio Al-Cu)	2xxx
Aluminio-Manganeso (Al-Mn)	3xxx
Aluminio-Silicio (Al-Si)	4xxx
Aluminio-Magnesio (Al-Mg)	5xxx
Aluminio-Magnesio-Silicio (Al-Mg-Si)	6xxx
Aluminio-Cinc (Al-Zn))	7xxx
Aluminio-Otros Elementos (Al-X)	8xxx
Aluminio-Serie no Usuales	9xxx

NOMENCLATURA DE ALEACIONES PARA FUNDICIÓN:

Aleaciones de Aluminio para fundición

Aluminio Puro (99 % de Al)	1xx.x
Aluminio -Cobre (Duraluminio Al-Cu)	2xx.x
Aluminio- Silicio-Cobre (Si-Cu y/o Mg)	3xx.x
Aluminio-Silicio (Al-Si)	4xx.x
Aluminio-Magnesio (Al-Mg)	5xx.x
Aluminio-Cinc (Al-Zn)	7xx.x
Aluminio-Estaño (Al-Sn)	8xx.x
Aluminio-Otros Elementos (Al-X)	9xx.x
Aluminio-Serie no Usuales	6xx.x

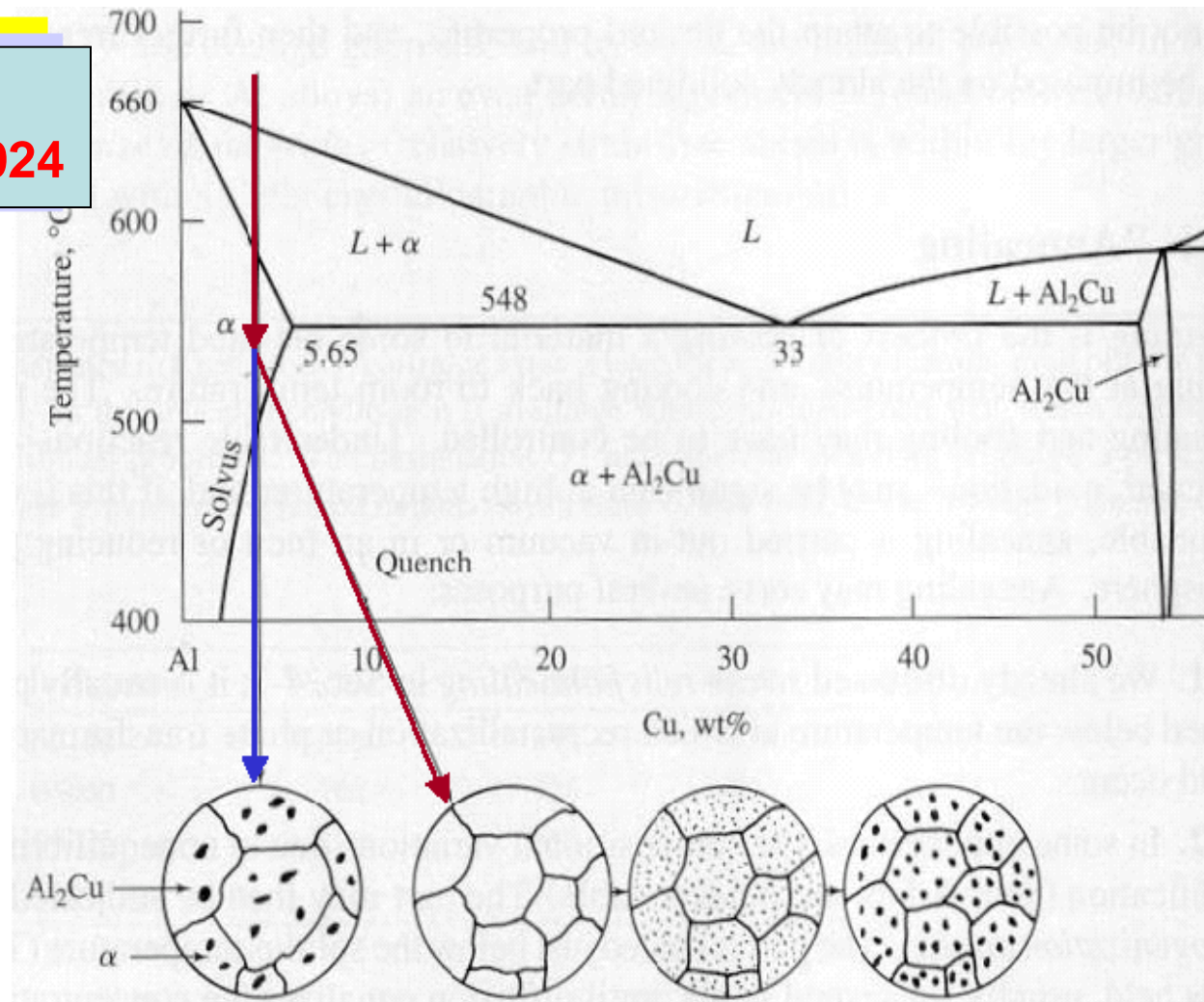
FIGURE 4.21 (a) Phase diagram for the aluminum–copper alloy system. (b) Various microstructures obtained during the age-hardening process. *Source:* L. H. Van Vlack; *Materials for Engineering*. Addison-Wesley Publishing Co., Inc., 1982.

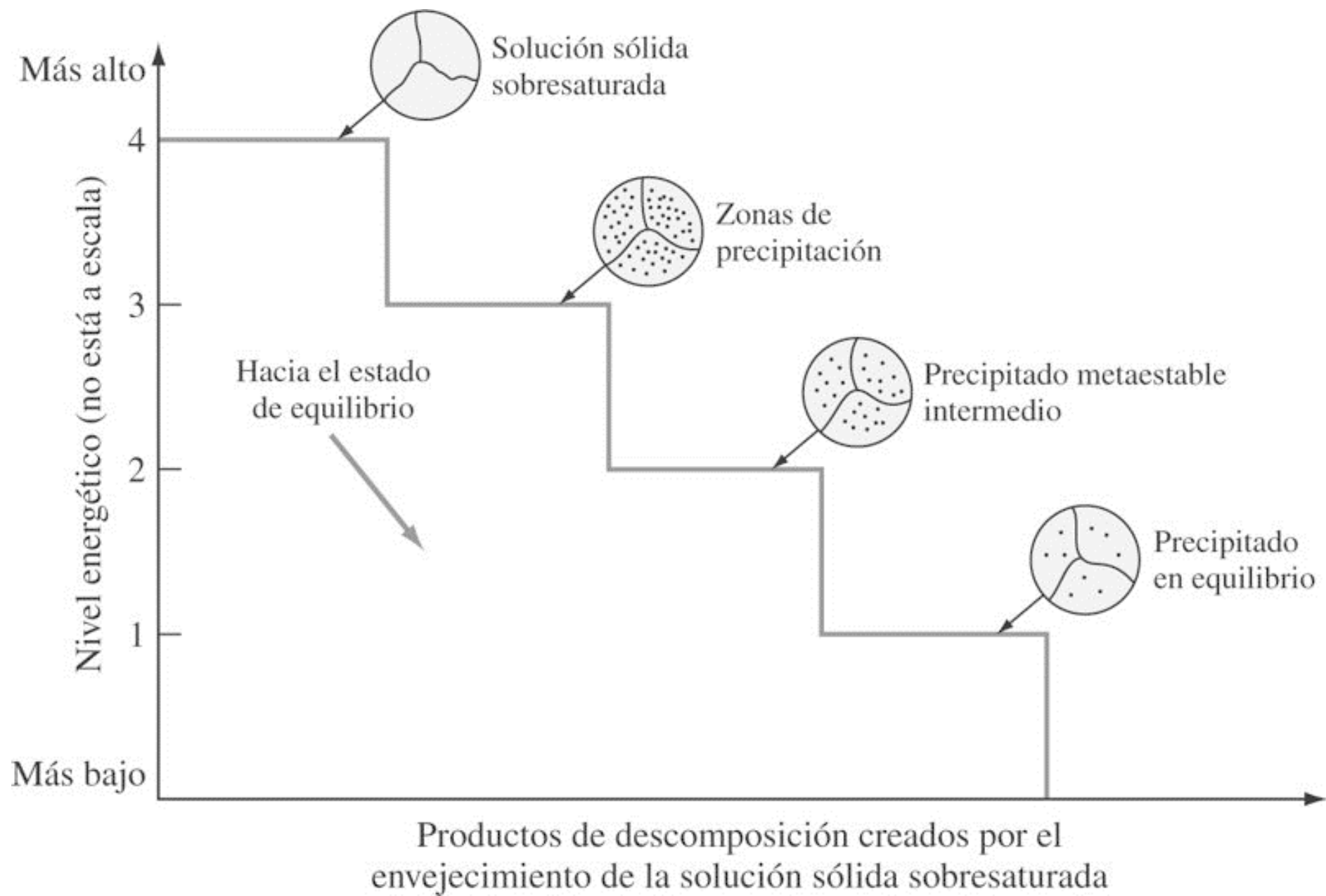


Section 4.9 in text

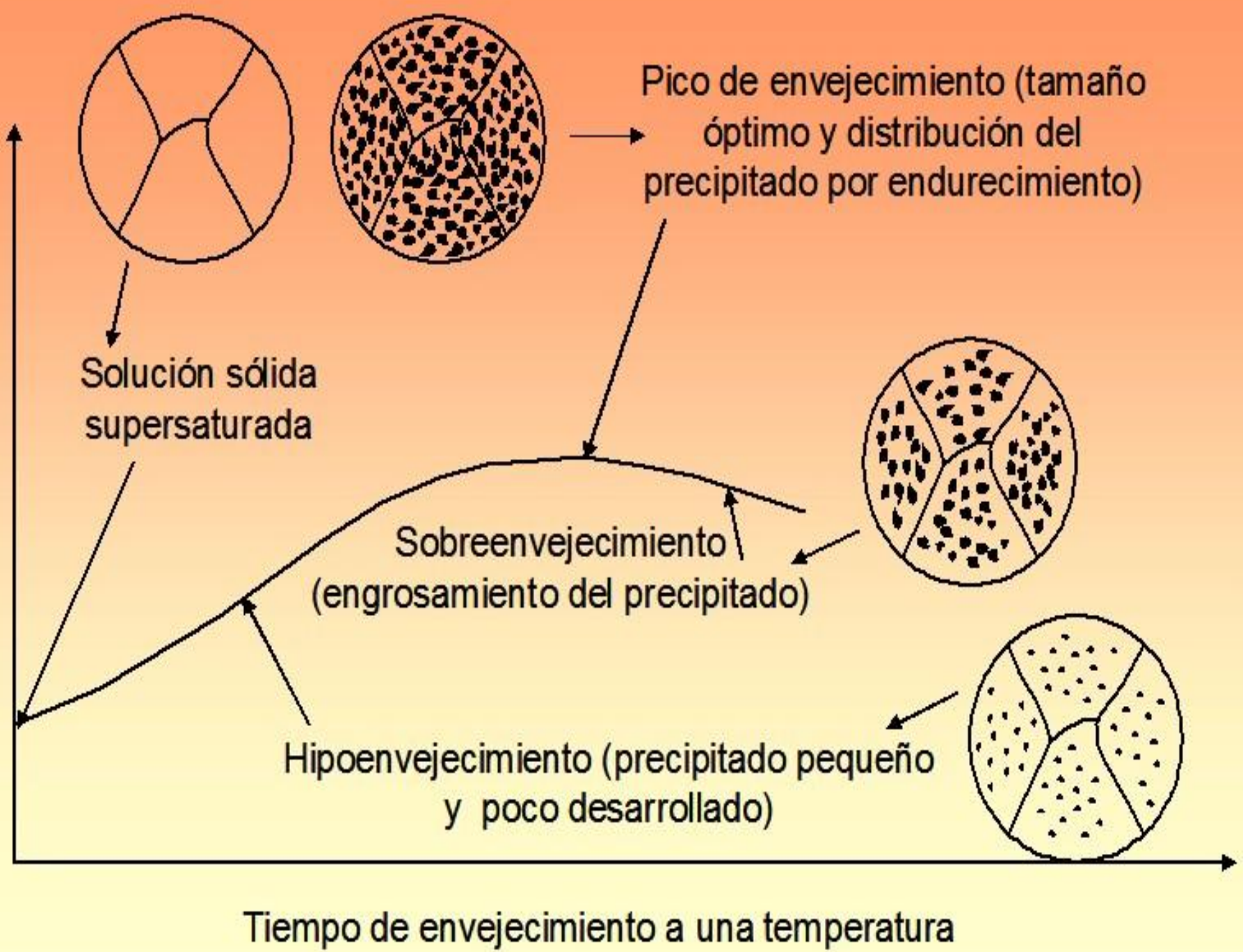
Endurecimiento por envejecimiento Al-Cu

Endurecimiento por
Envejecimiento de Al 2024





Resistencia y dureza



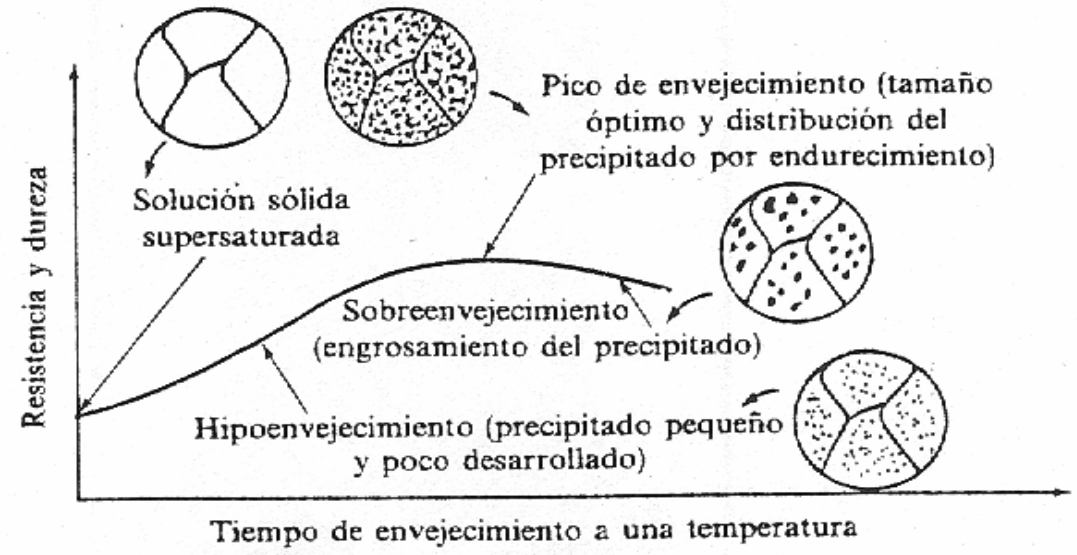
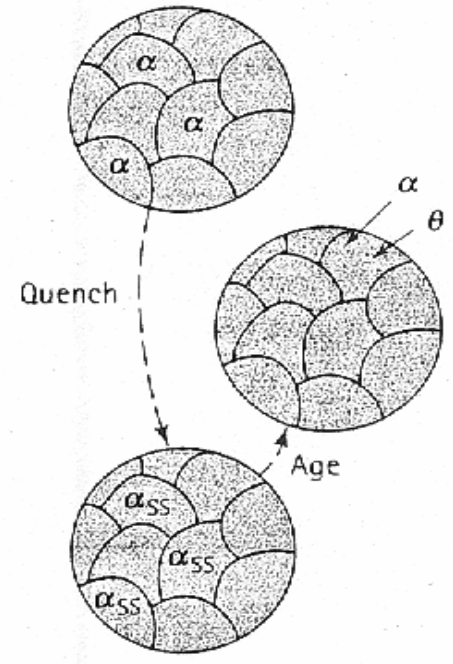
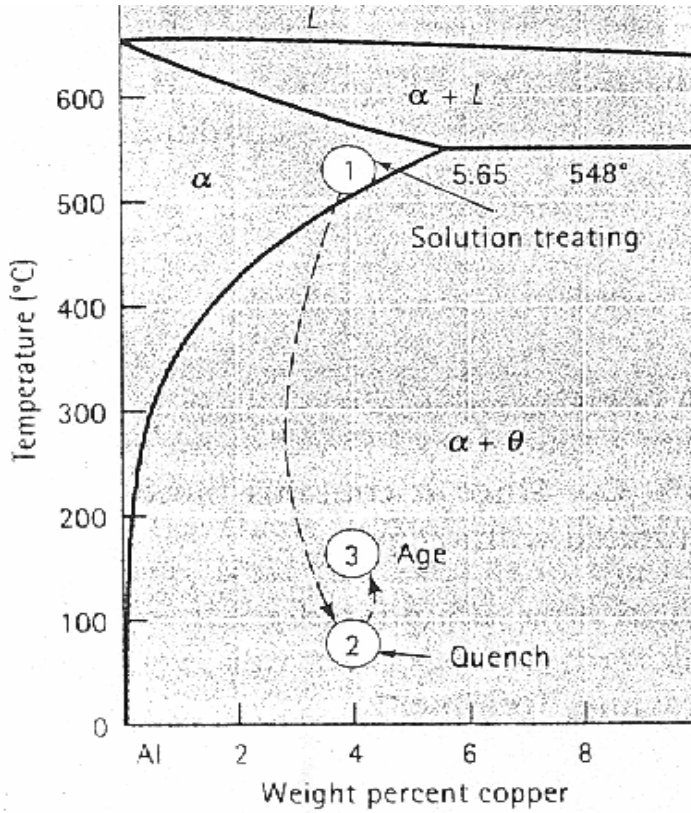
Solución sólida supersaturada

Pico de envejecimiento (tamaño óptimo y distribución del precipitado por endurecimiento)

Sobreenvejecimiento (engrosamiento del precipitado)

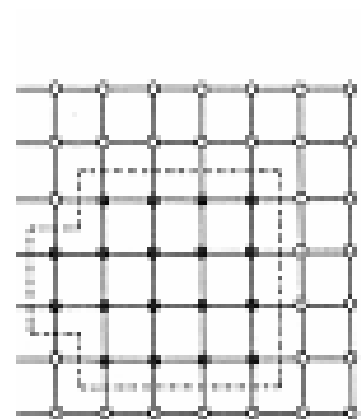
Hipoenvejecimiento (precipitado pequeño y poco desarrollado)

Tiempo de envejecimiento a una temperatura

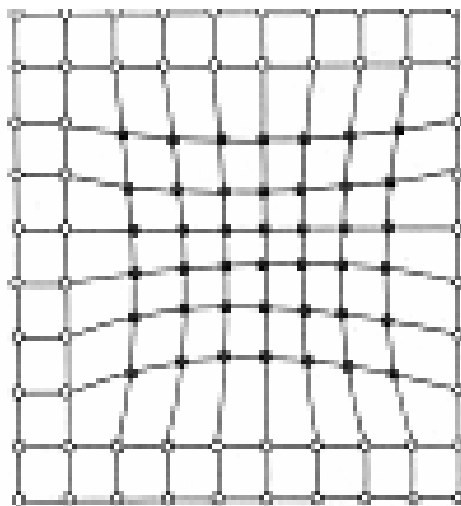


Secuencia observada a menudo en las aleaciones endurecidas por envejecimiento.

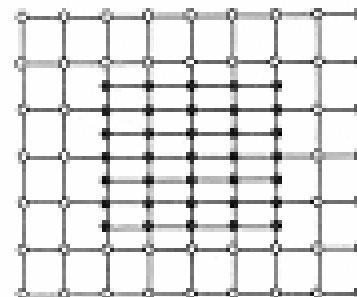
Estado bruto de temple	→ → envejecimiento	→ → sobre-envejecimiento	
α solución sólida	0 α_1 + GP zonas GP	α_2 + β' Precipitados Metestable β'	α_3 + β Precipitados de equilibrio β
ccc	Precipitados coherentes	Precipitados coherentes o semiconductor	Precipitados incoherentes



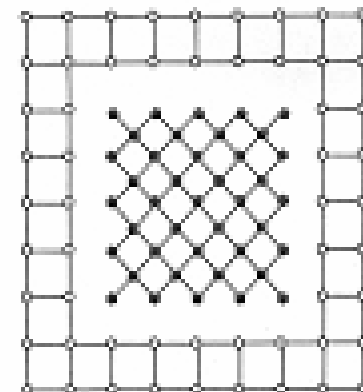
GP



β''

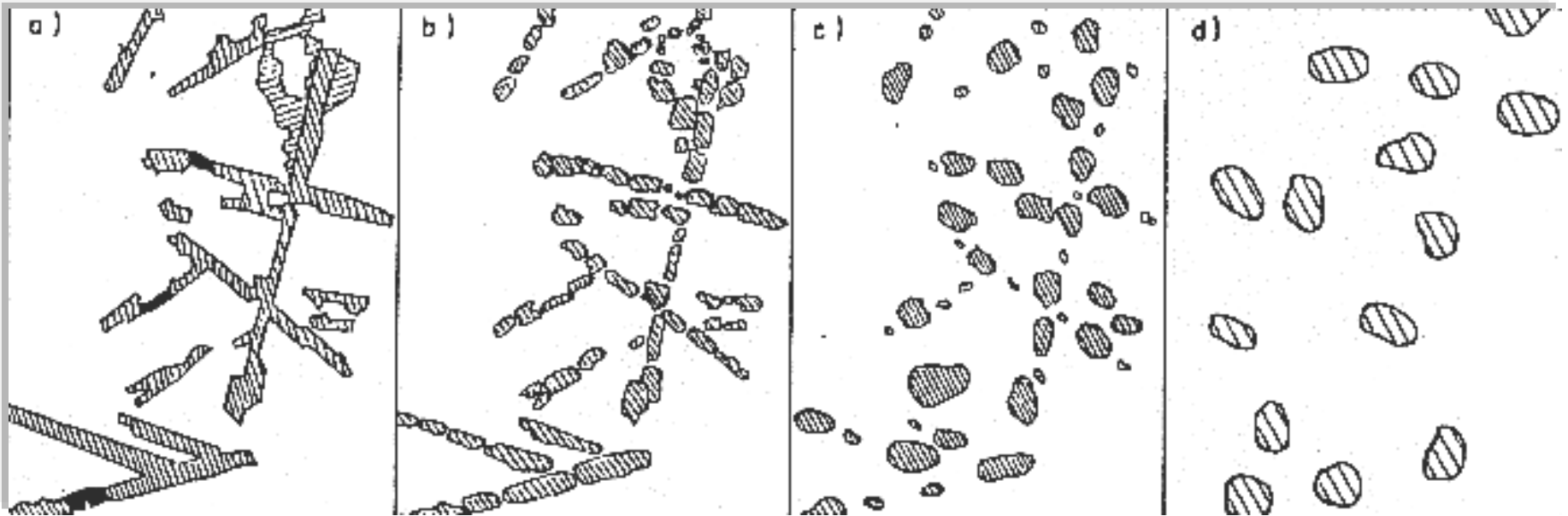


β'



β

Secuencia de precipitación en las aleaciones aluminio-silicio-magnesio



Representación de la evolución experimentada por los cristales de silicio eutéctico (Al-13Si), durante el tratamiento de esferoidización: a) Estructura original, cristales de silicio ramificado, b) Primera fase del proceso de subdivisión de cristales, c) Engrosamiento y disminución del número de partículas, d) Estructura final idealizada, partículas esféricas [Calv85].

Diagrama de fases Al-Si (5 a 12% de Si)

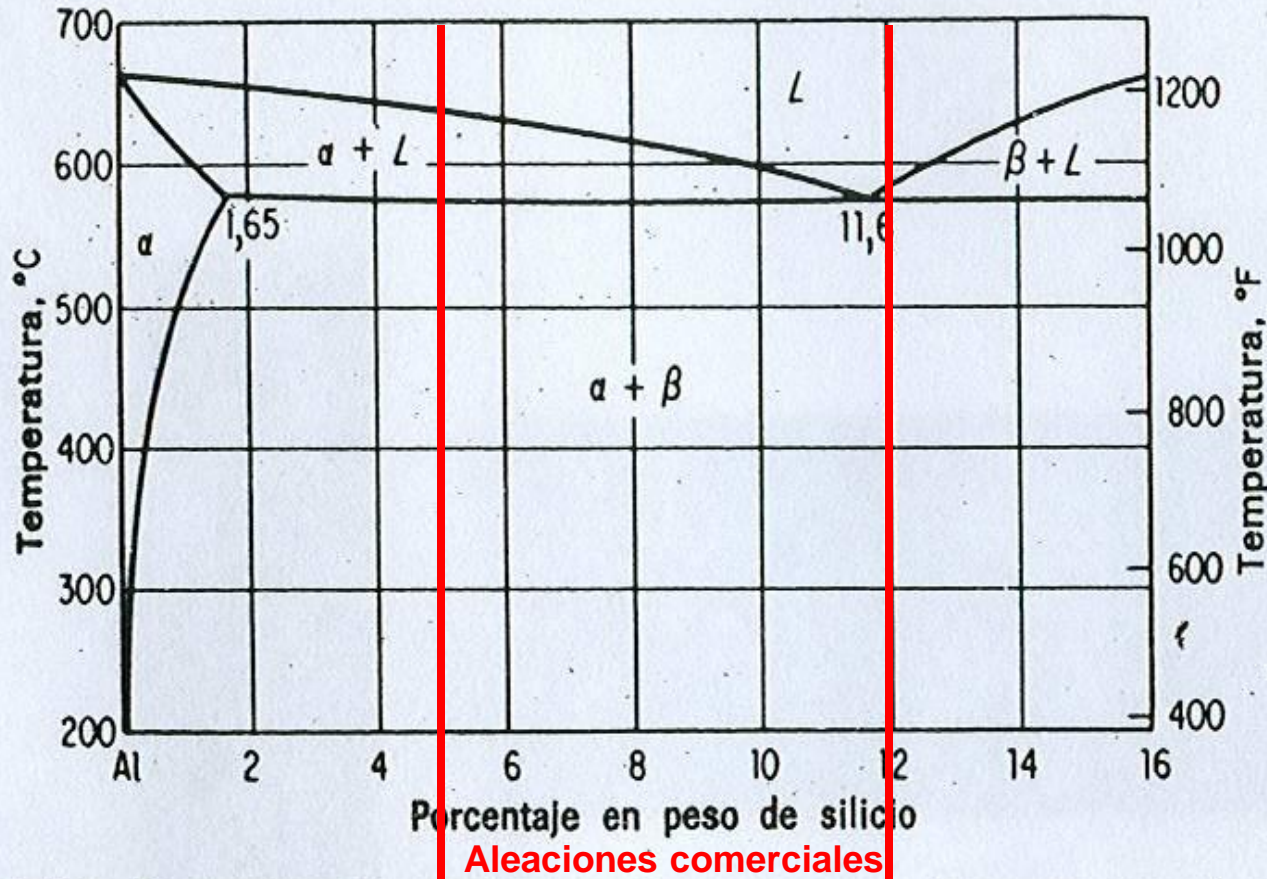
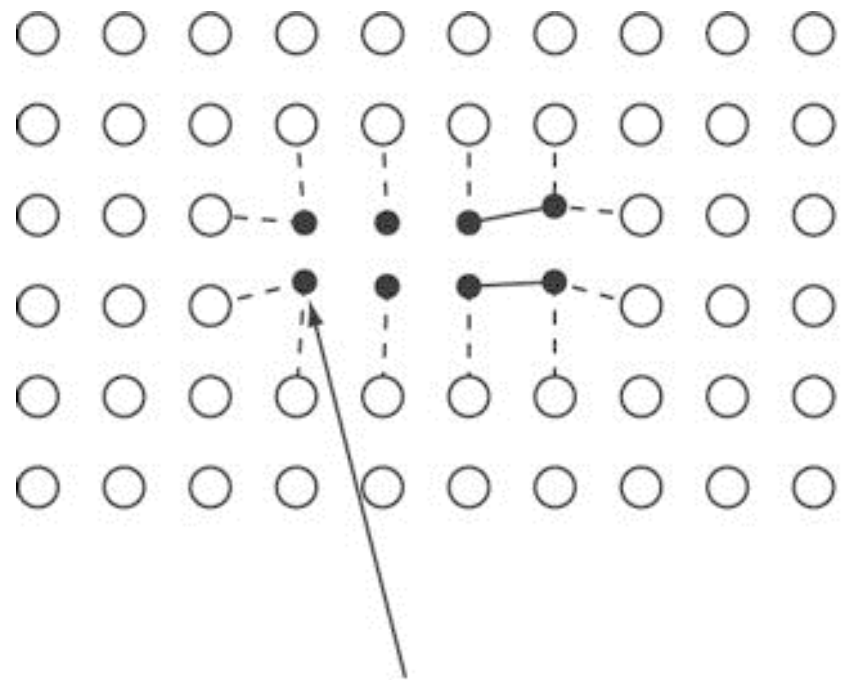
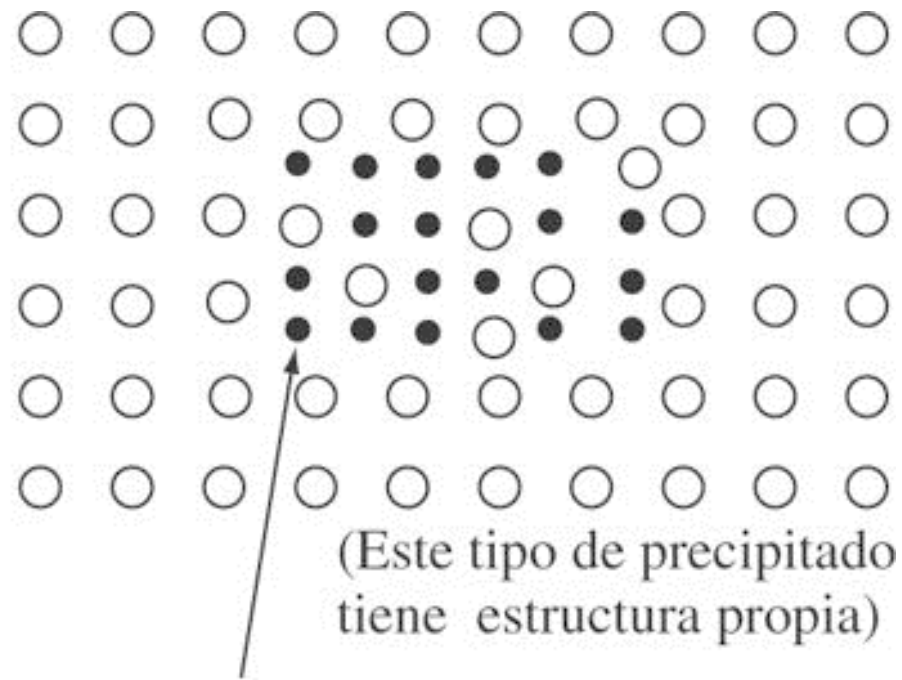


Fig. 12.17 Diagrama de equilibrio aluminio-silicio. Región rica en silicio. (Tomado del "Metals Handbook", edición de 1948, pág. 1166, American Society for Metals, Metals Park, Ohio.)

**EFEECTO DE LOS
TRATAMIENTOS
TÉRMICOS EN LAS
ALEACIONES
ALUMINIO-SILICIO**



a) Precipitado coherente

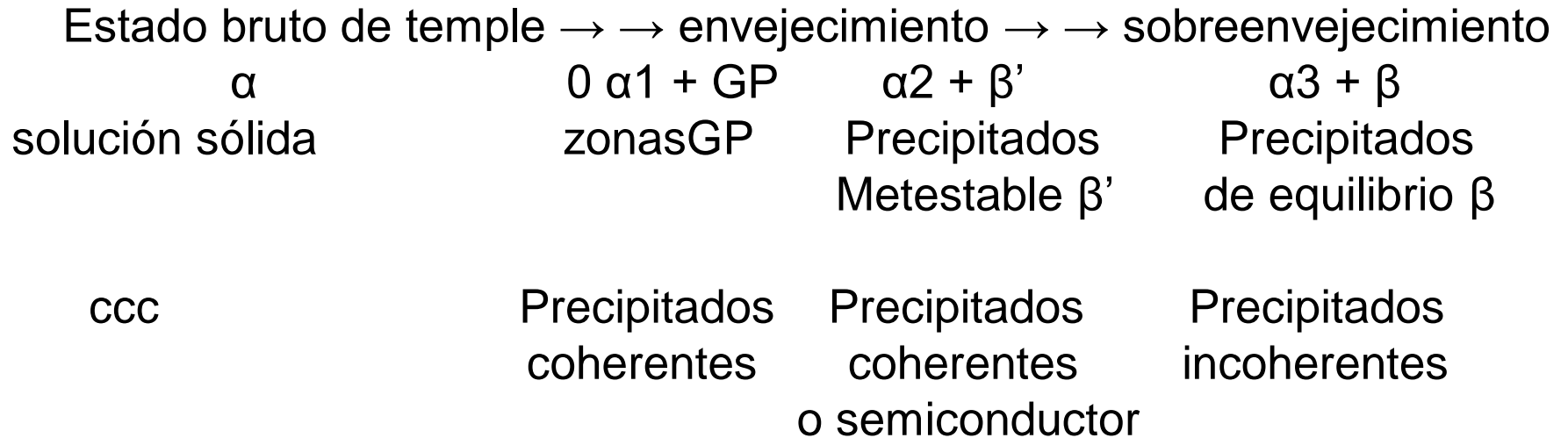


b) Precipitado incoherente

(Este tipo de precipitado tiene estructura propia)

Comparación esquemática de la naturaleza de a) un precipitado coherente y b) un precipitado incoherente. El precipitado coherente está asociado a alta energía de deformación y baja energía superficial, mientras que el incoherente se asocia a baja energía de deformación y alta energía superficial.

Secuencia observada a menudo en las aleaciones endurecibles por envejecimiento [Dub00].



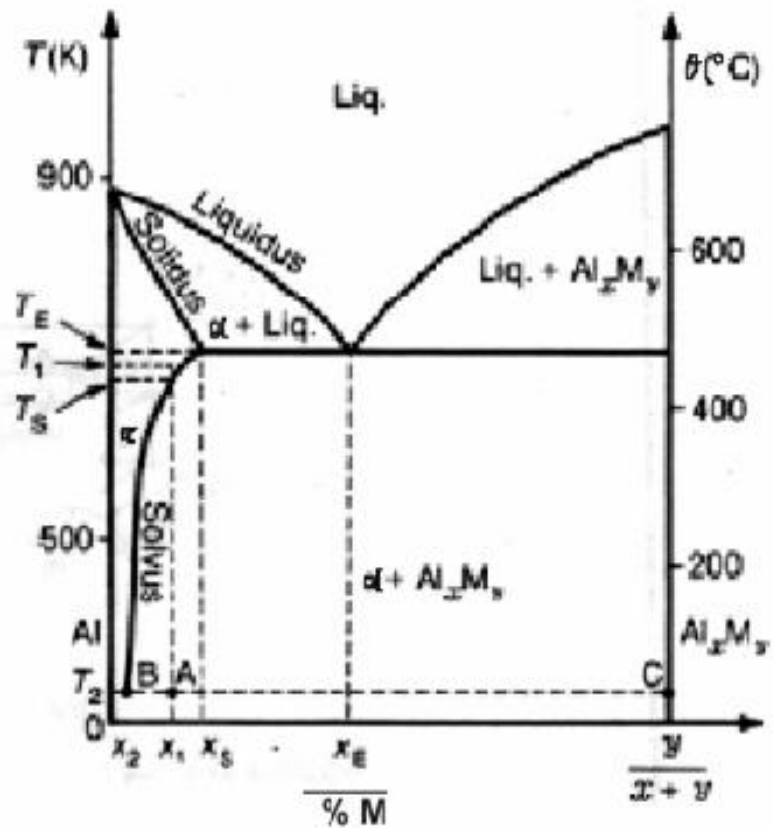
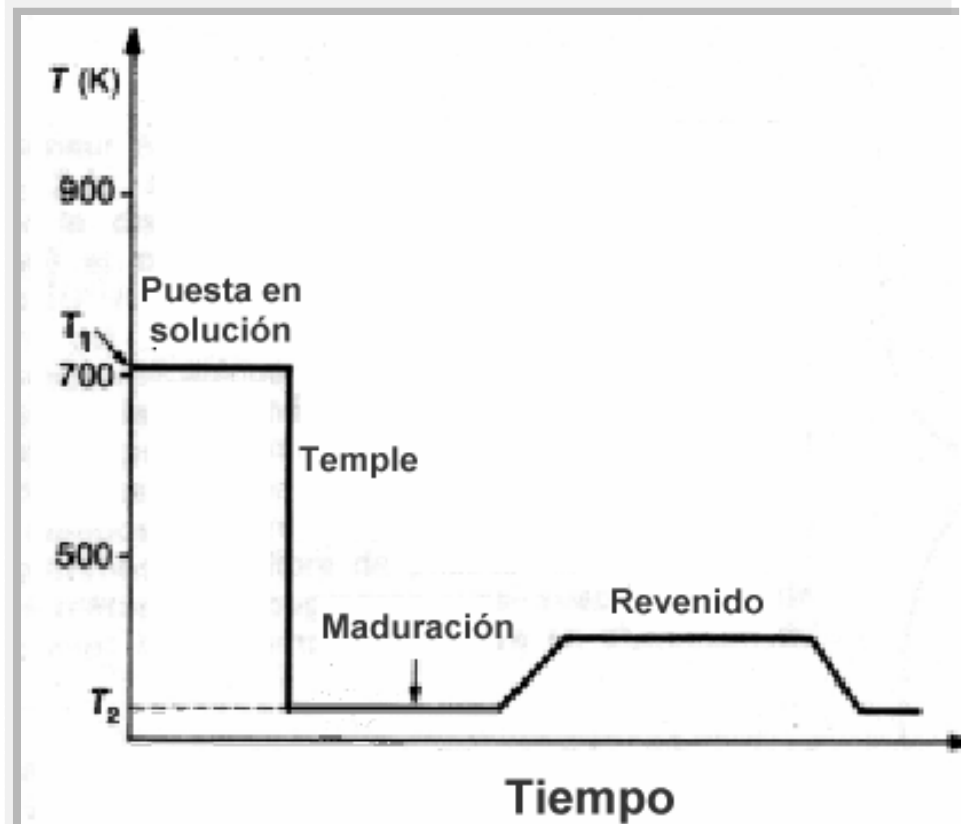


Diagrama de equilibrio de una aleación binaria [Dub00].



Secuencia de tratamientos térmicos [Dub00].

Liq → dendritas Al 613 °C

Liq → Al + Si 570 °C

Liq → Al + Al₈Mg₃FeSi 570 °C

Liq → Mg₂Si + Al 570 °C

Liq → Al + Al₅FeSi 568-556 °C

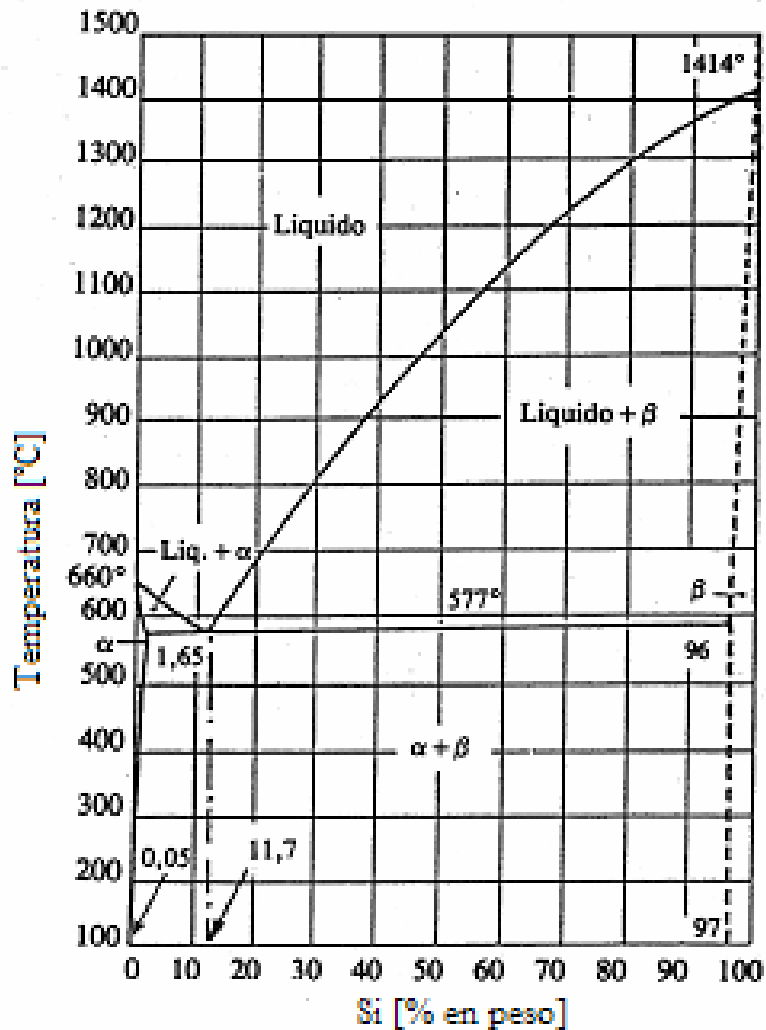


Diagrama de equilibrio Al-Si [Smi83].

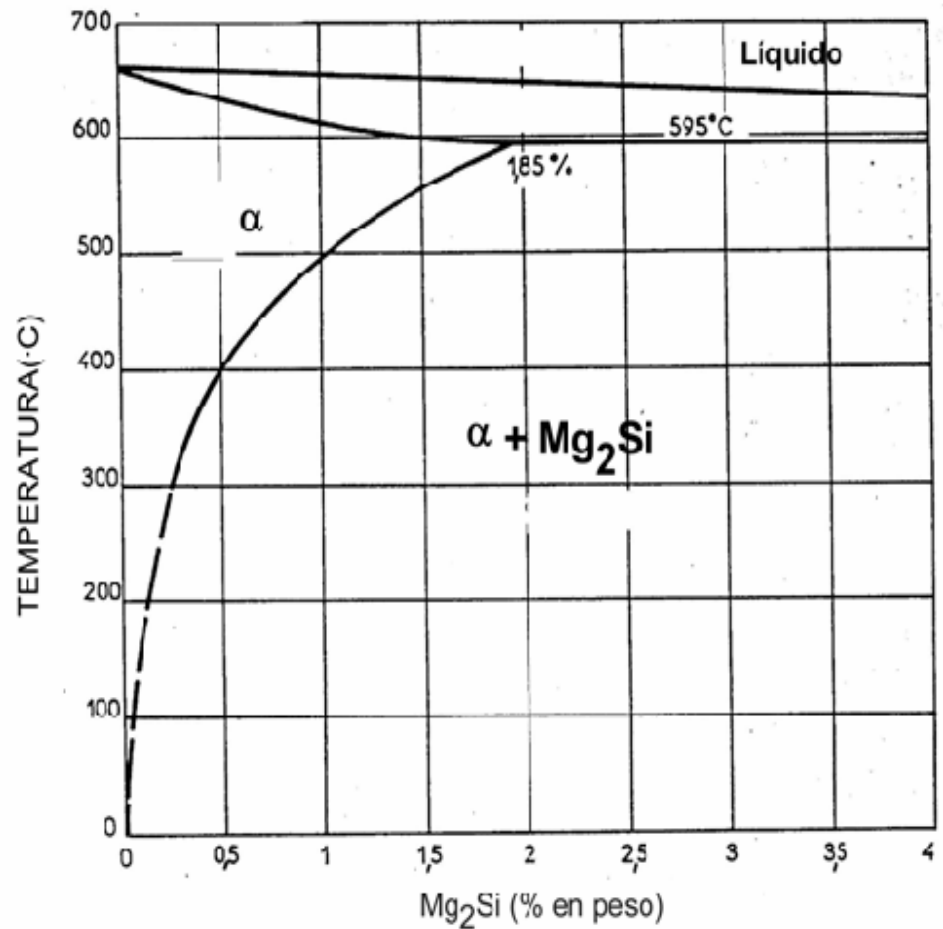
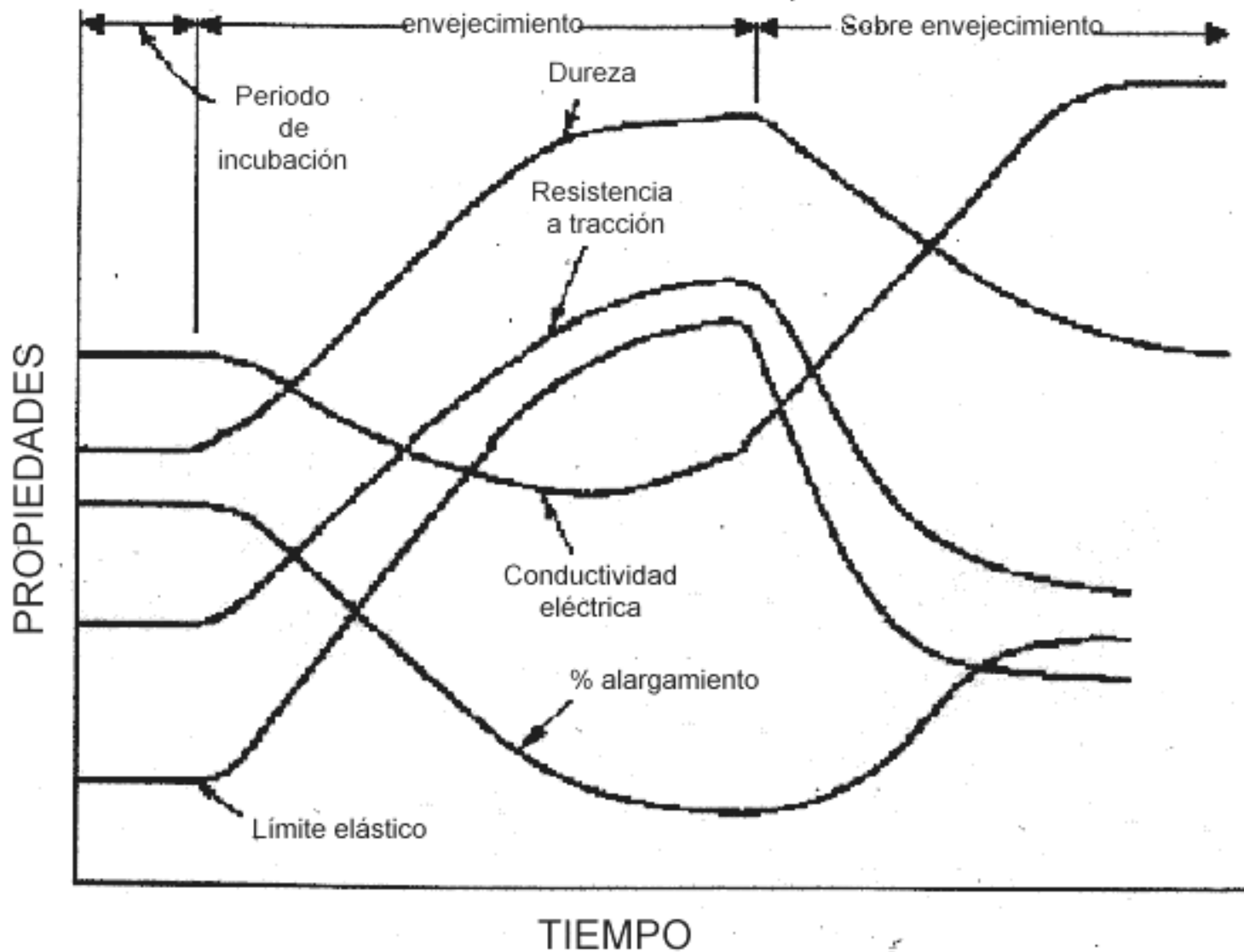
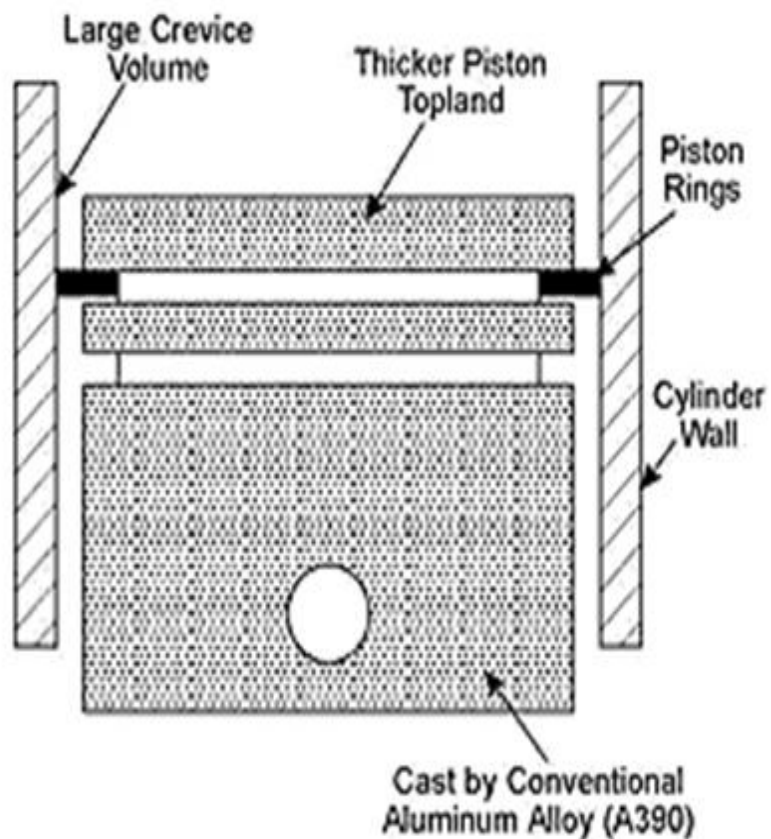


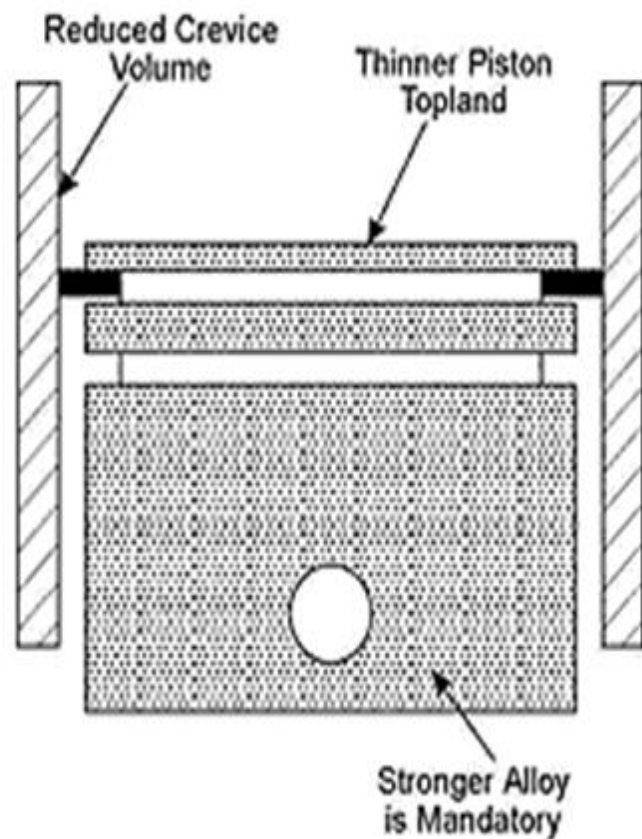
Diagrama de equilibrio Al-Mg₂Si [Hoc00].



Efecto del tiempo de calentamiento en las propiedades [Mon55].



Conventional Piston Design
Large Crevice Volume
(Origin of Substantial Hydrocarbon Emission)



Modified Piston Design
Small Crevice Volume
(Reduction of Hydrocarbon Emission)

Diagrama de fases Al-Mg

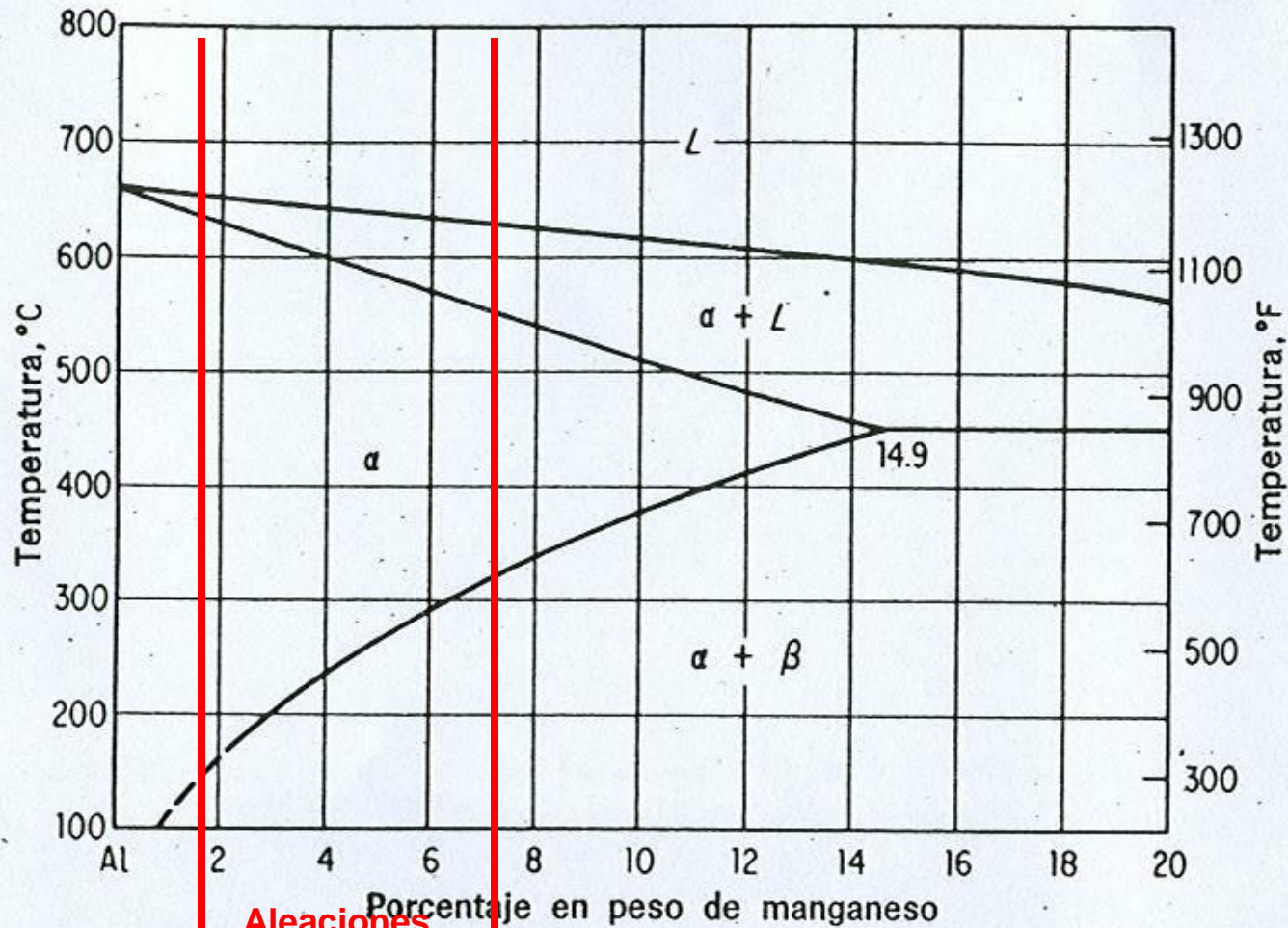


Fig. 12.18 Diagrama de equilibrio aluminio-magnesio. Región rica en aluminio. (Tomado del "Metals Handbook", edición de 1948, pág. 1163, American Society for Metals, Metals Park, Ohio.)

Diagrama de fases ss α y ss $\alpha + \text{Mg}_2\text{Si}$

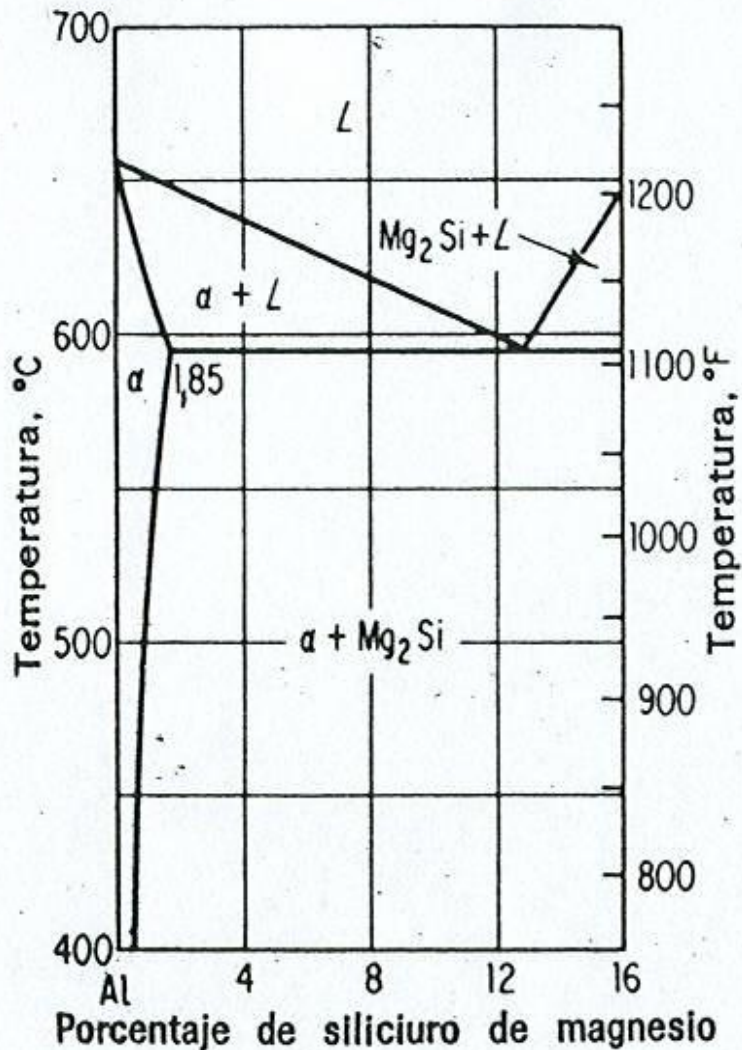


Fig. 12.19 Diagrama de equilibrio aluminio-siliciuro de magnesio. Región rica en aluminio. (Tomado del "Metals Handbook", edición de 1948, pág. 1246, American Society for Metals, Metals Park, Ohio.)

DIAGRAMA DE FASES DE LA ALEACIÓN NI-AL

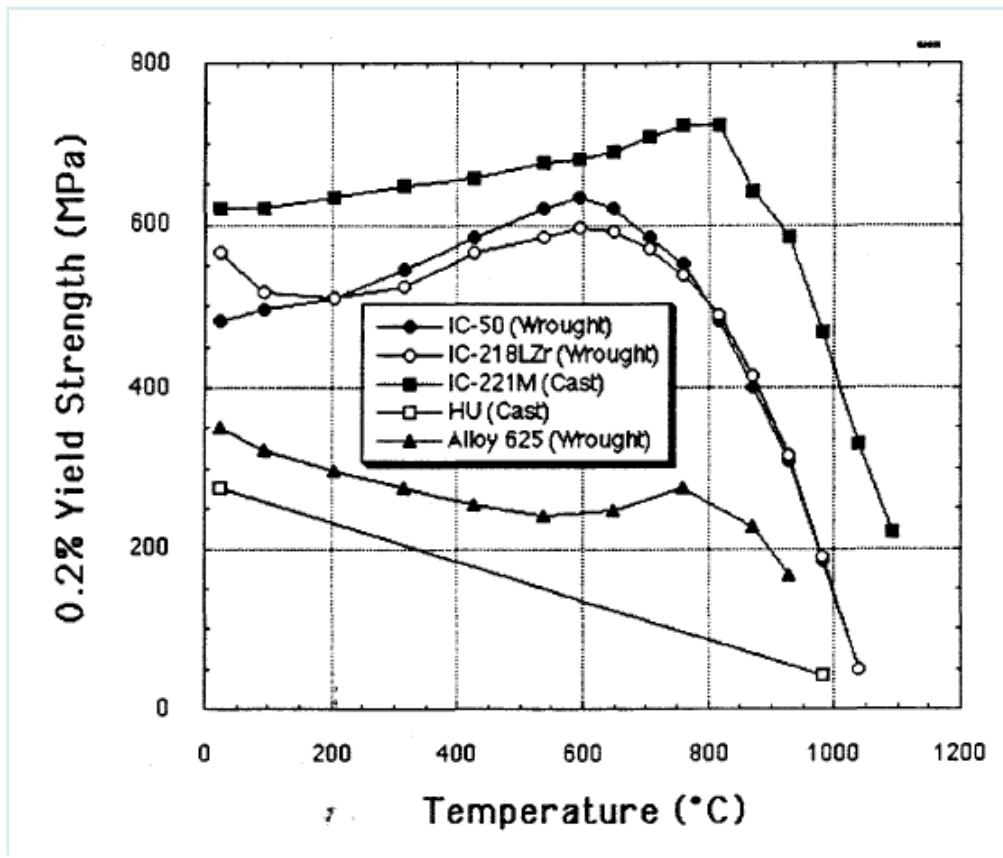
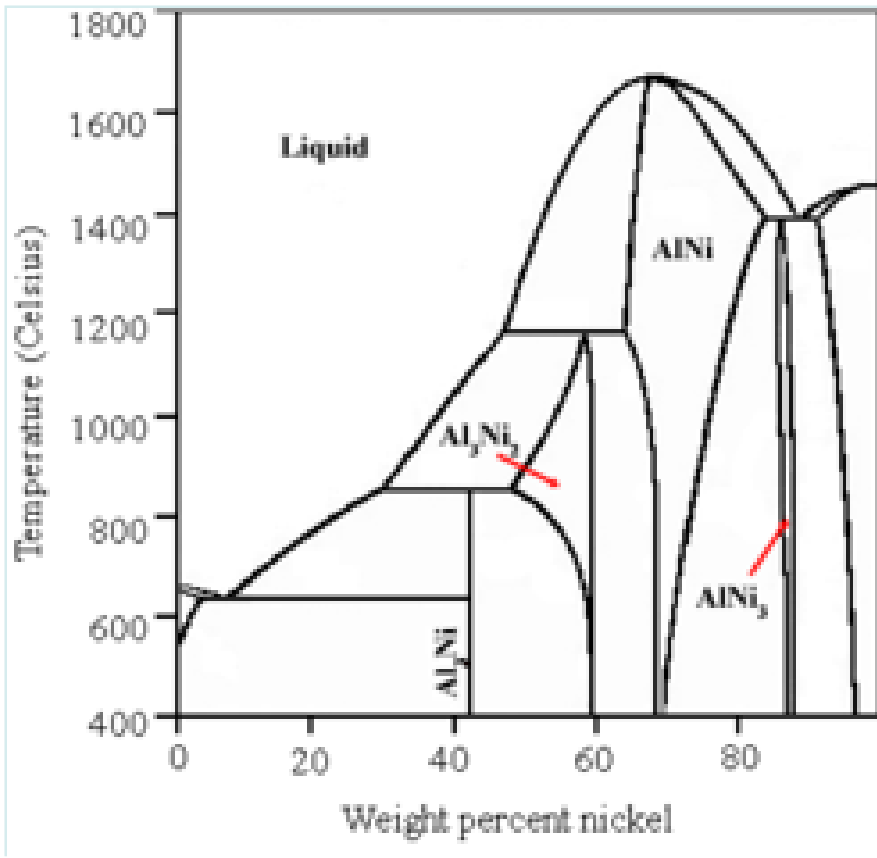
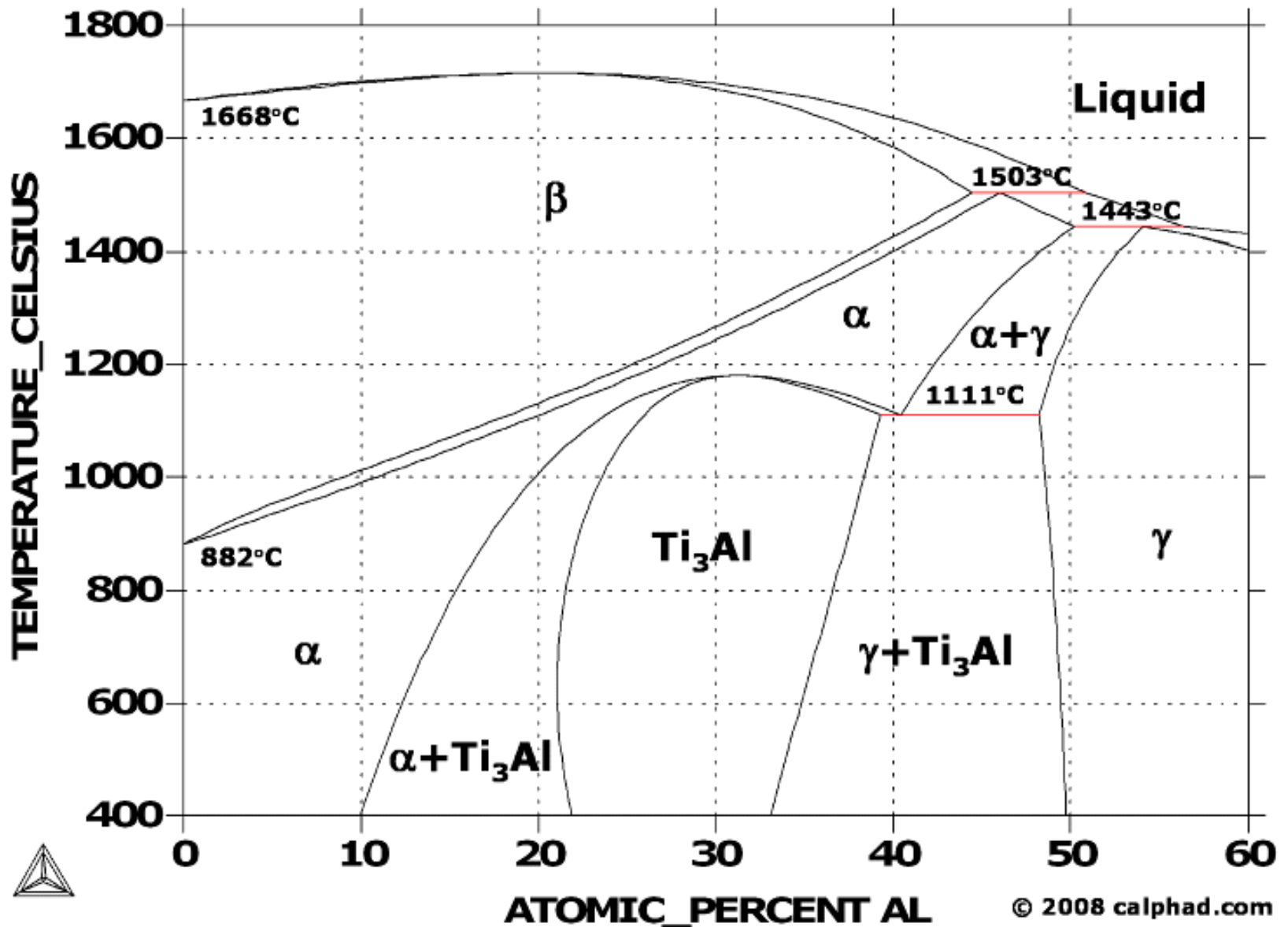


Diagrama de fase Ti-Al



Los tanques de combustible y los cohetes propulsores de un trasbordador utilizan en su estructura aleaciones 2xxx que originalmente era 2219 y 2419, ahora se utiliza en algunos caso aleaciones de aluminio con litio (Al-Li) conocidas como "Weldalite" tipo 2195.





fig. 6.1

Gracias al proceso de extrusión de la aleación Al-Mg-Si se puede realizar diversas estructuras (rieles, edificios, autos, etc.), tal como se observa en la figura.



Componentes de aviones como el tren de aterrizaje, los flaps entre otros, están conformados por la aleación de 201.0.



La aleación 356.0 es muy utilizada en los automóviles, por ejemplo en la figura de la izquierda se observa la estructura del turbo para un Mercedes-Benz.

En la figura del lado derecho se observa los diferentes componentes para automóviles, hechos de aleación 357.0 y A357.0 y fundidos en arena y molde permanente.



Imagen Ti6Al14V (superaleación)



MAGNESIO



		Magnesium Mg	Aluminium Al	Plastics
melting point	[°C]	650	660	80 - 270
density	[g cm ⁻³]	1,74	2,70	0,9 - 1,5
tensile e-module	[MPa]	44100	72200	200 - 4000
thermal conductivity	[W m ⁻² K ⁻¹]	155	211	0,15 - 0,50
effective heat capacity	[kJ kg ⁻¹ K ⁻¹]	1,03	8,96	0,5 - 2,3

**Thixocasting: Physical properties
of elementary magnesium**

Simbología empleada para Aleantes en Aleaciones Base Mg (ASTM).

Elemento	Letra asignada	Elemento	Letra Asignada
A	aluminio	M	manganeso
B	bismuto	N	níquel
C	cobre	Q	plata
D	cadmio	P	plomo
E	tierras raras	R	cromo
F	hierro	S	silicio
G	magnesio	T	estaño
H	torio	V	arsénico
J	fósforo	W	Itrio
K	circonio	Y	antimonio
L	berilio	Z	cinc

Designaciones de algunos de los Tratamientos Térmicos empleados en aleaciones base Mg.

Designación	Tipo de Tratamiento
F	Como se fabricó (colada o forja)
O	Recocido, recristalizado (sólo forjados)
H	Endurecido por deformación (sólo forjados)
H2	Endurecido por deformación parcialmente recocido
H3	Endurecido por deformación y estabilizado
W	Tratamiento térmico de solución
T	Tratamiento térmico para estabilizar F,O o H
T3	Tratamiento térmico de solución y trabajo en frío
T4	Tratamiento térmico de solución
T5	Sólo artificialmente envejecido
T6	Tratamiento térmico de solución y envejecimiento artificial
T8	Tratamiento térmico de solución, trabajado en frío y envejecido artificialmente
T9	Tratamiento térmico de solución, envejecido artificialmente y trabajado en frío
T10	Envejecido artificialmente y trabajado en frío

Aleaciones de Mg para colada y Forja y Principales Tratamientos Térmicos.

Aleaciones de Colada	Tratamiento Térmico	Aleaciones para Forja	Tratamiento Térmico
AM100A	T4, T5, T6	AZ80A	T5
AZ63A	T4, T5, T6	HM21A	T5, T8
EQ21A	T6	HM31A	T5
HK31A	T6	ZC71A	F, T5, T6
HZ32A	T5	ZK60A	T5
QE22A	T6		
QH21A	T6		
WE43A	T6		
ZC63A	T6		
ZE41A	T5		
ZH62A	T5		
ZK61A	T4, T6		

Caja de cambios para un helicóptero hecha de una aleación de magnesio, tratada superficialmente como protección contra la corrosión.



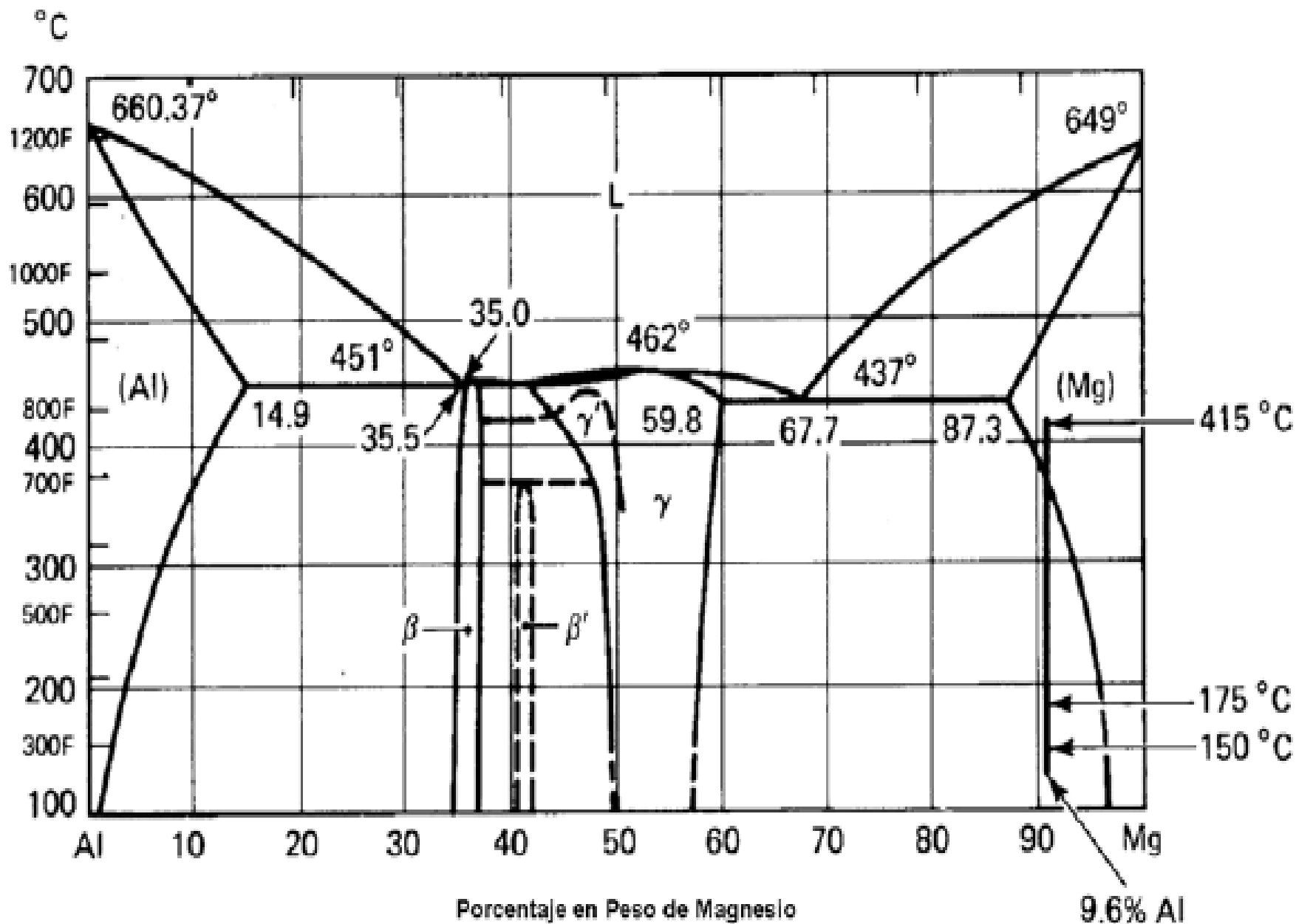
(a) Caja de cambios (gearbox) y (b) múltiple (manifold) hechos mediante fundición, de una aleación de magnesio



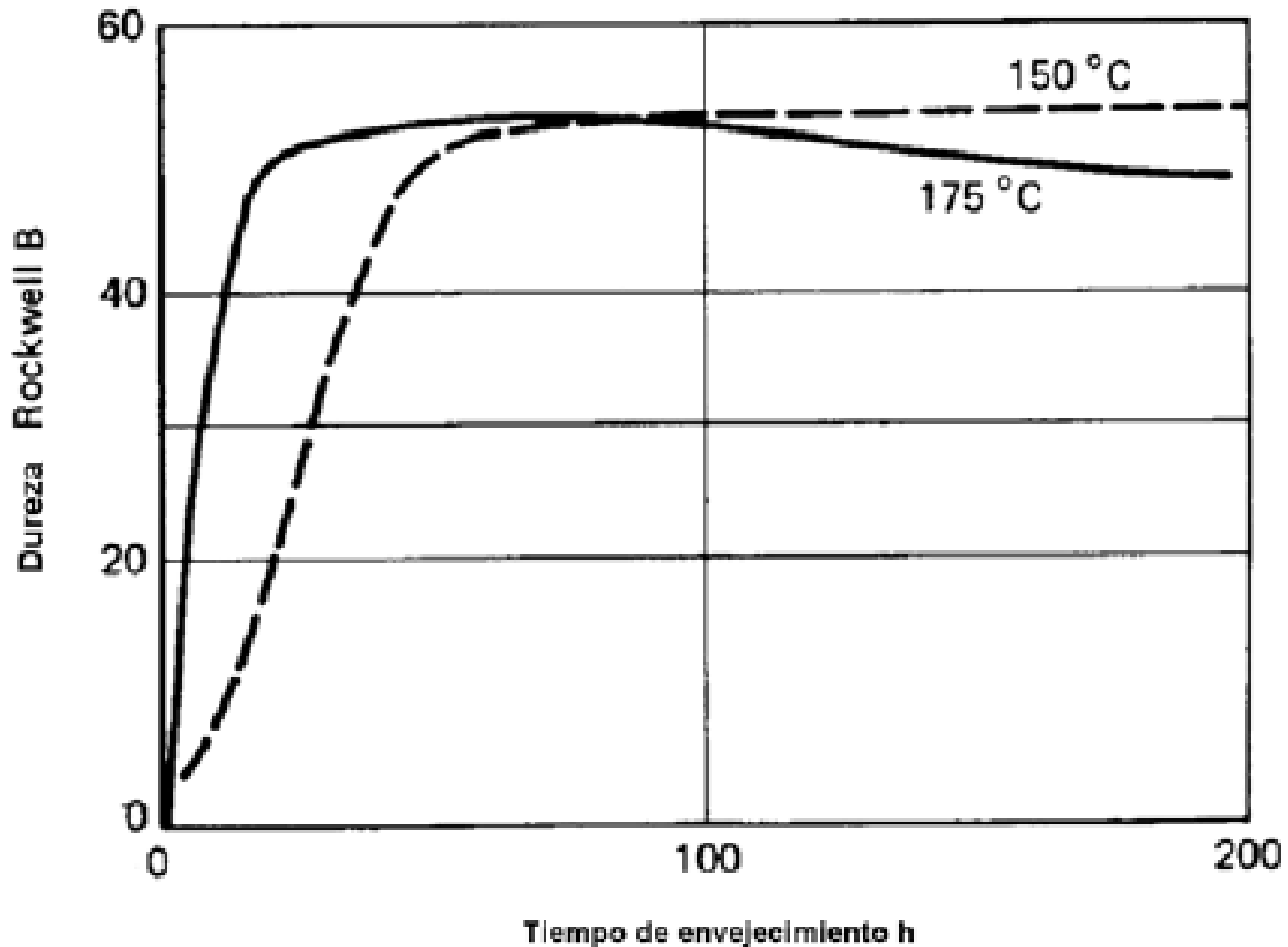
(a)

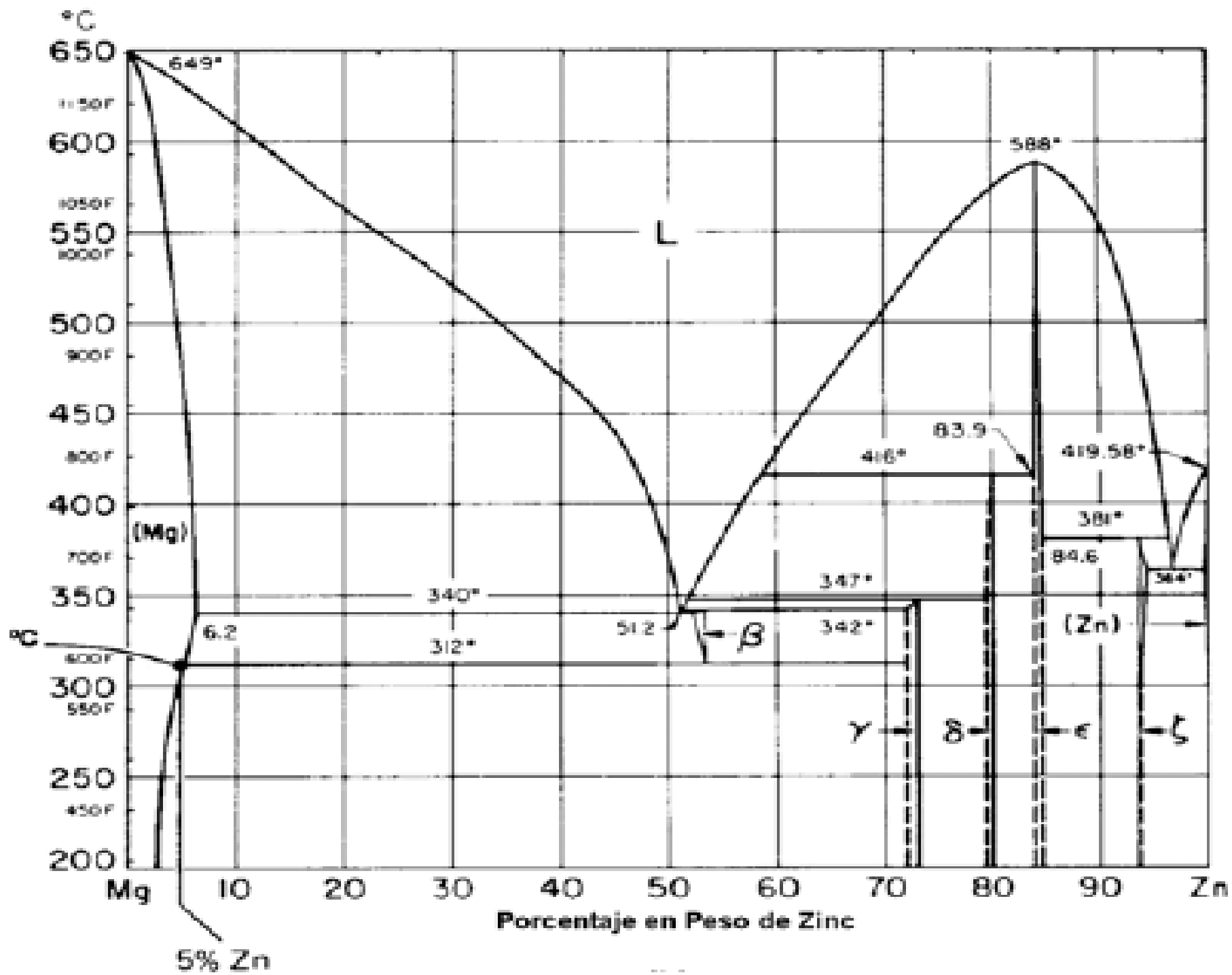


(b)

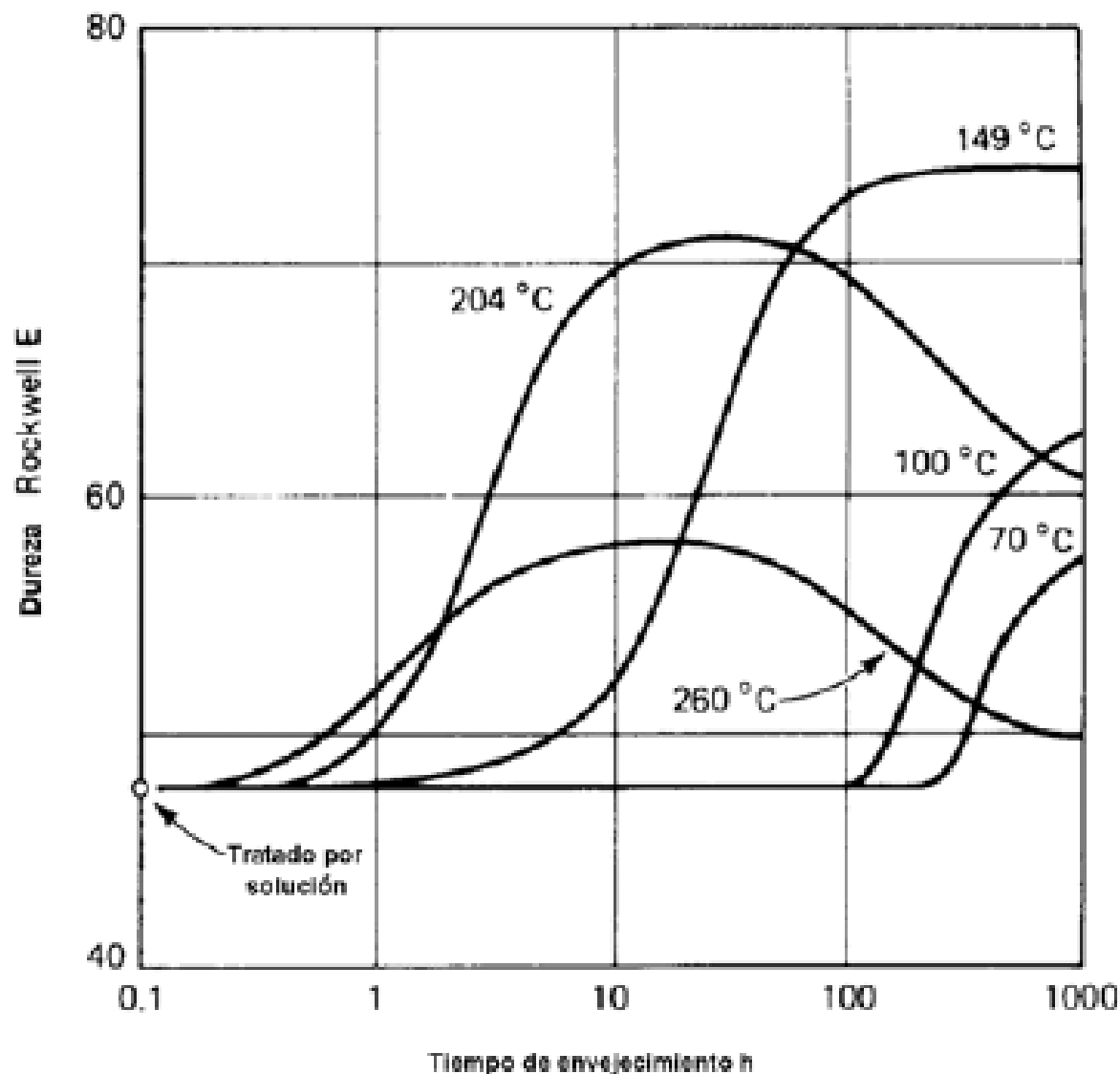


Aleación Mg- 9,6%Al. En el tratamiento de solución, las muestras fueron calentadas por 24 horas a 415°C y enfriadas en agua.





Aleación Mg- 5%Zn. En el tratamiento de solución, las muestras fueron calentadas por 1 hora a 315°C y enfriadas en agua.

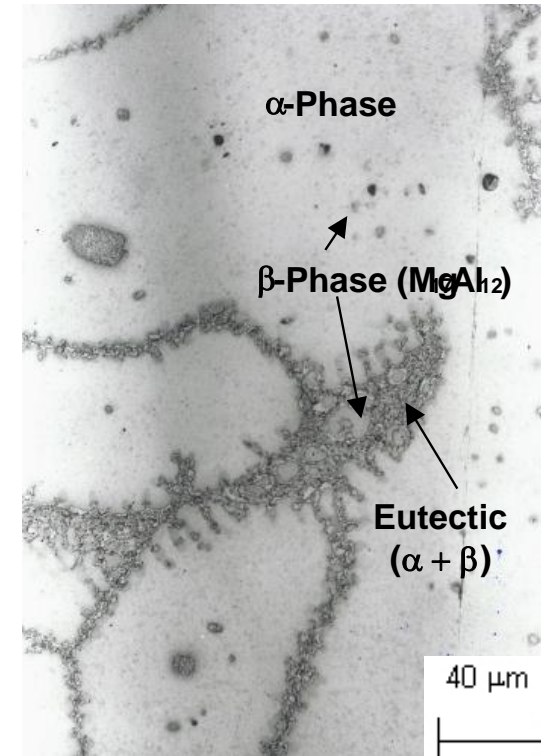
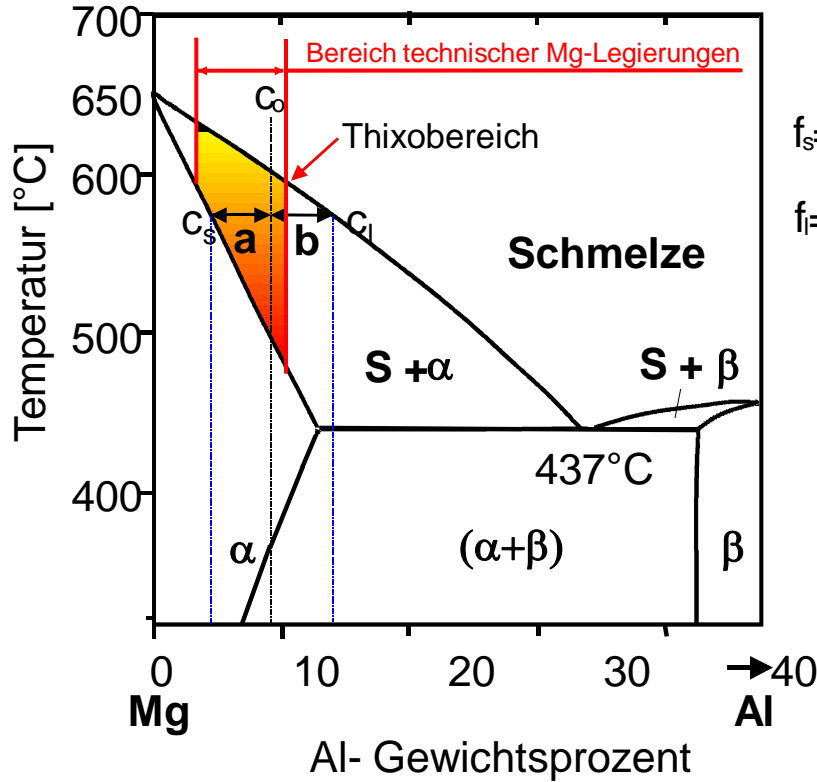


Aplicaciones de aleación WE43A-T6.



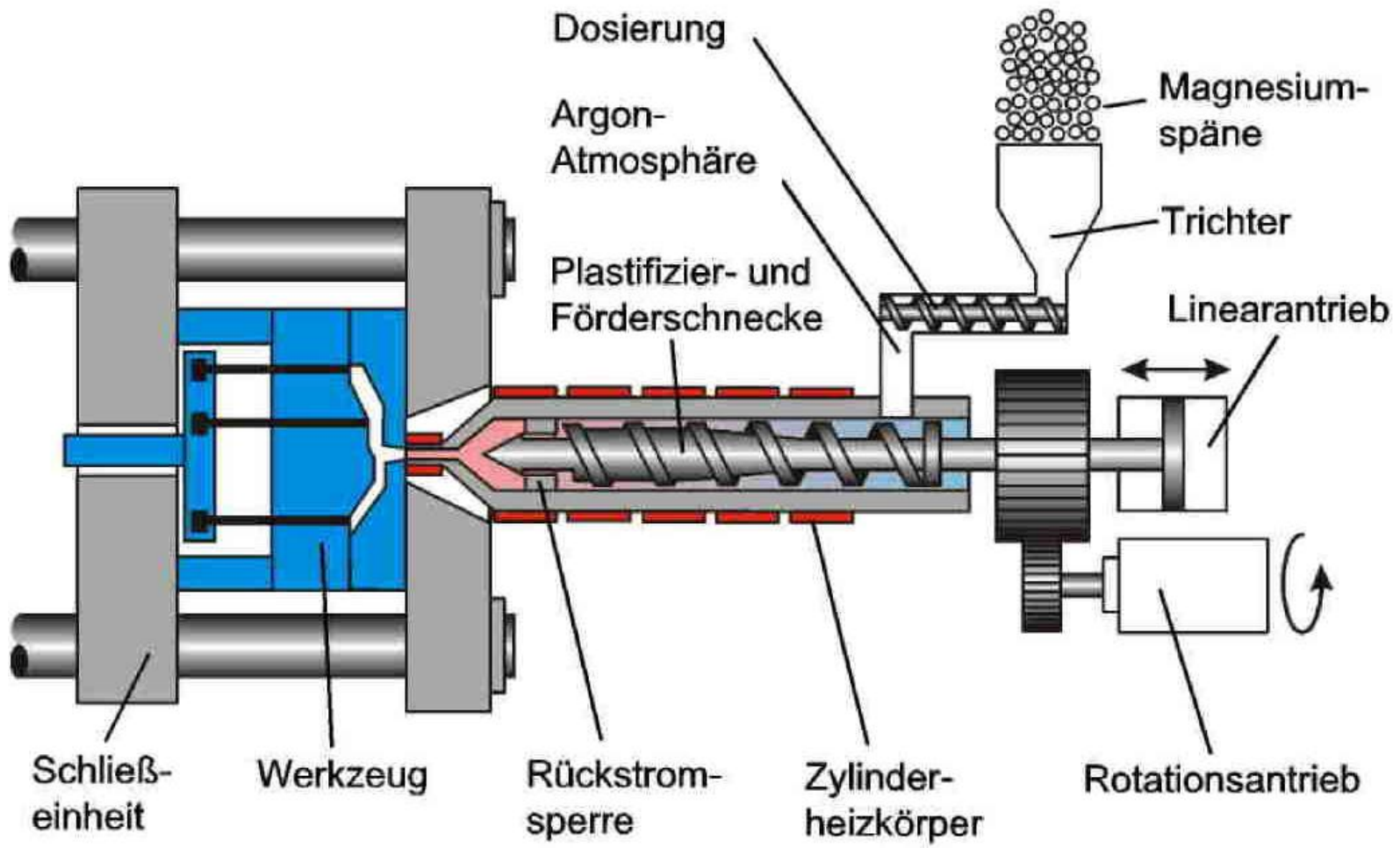
Eurocopter EC 120



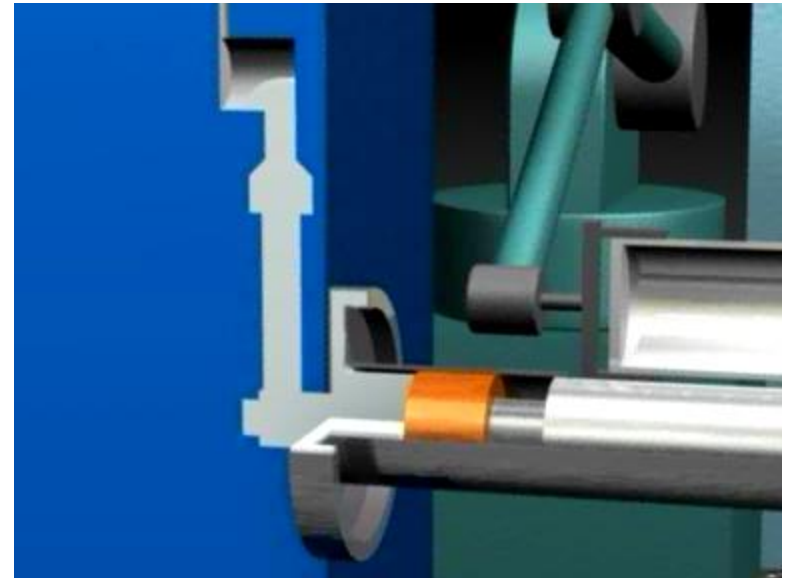
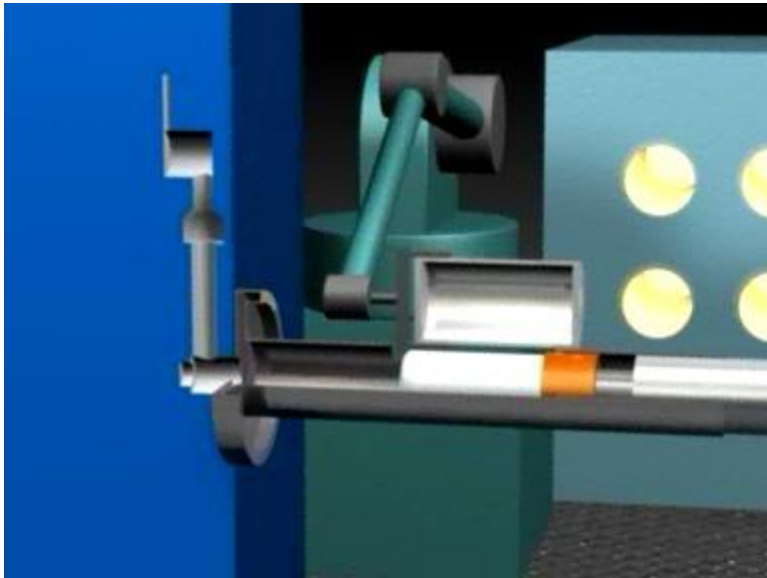
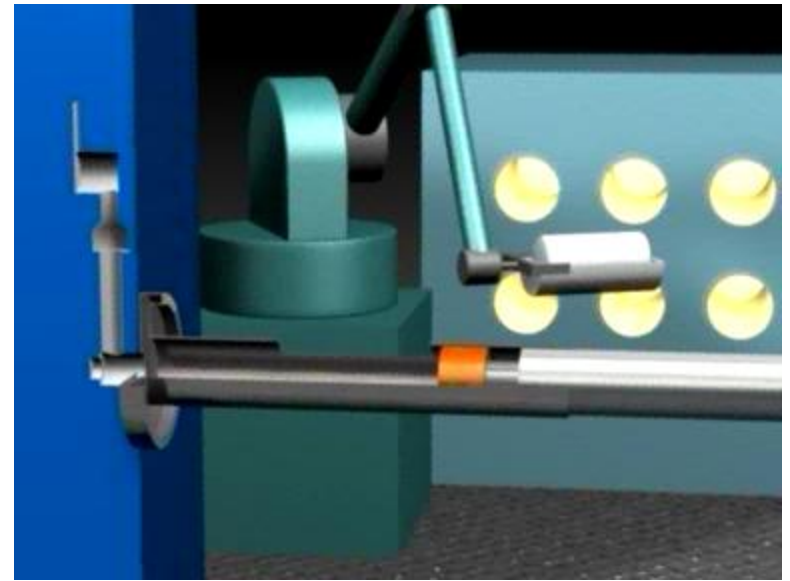
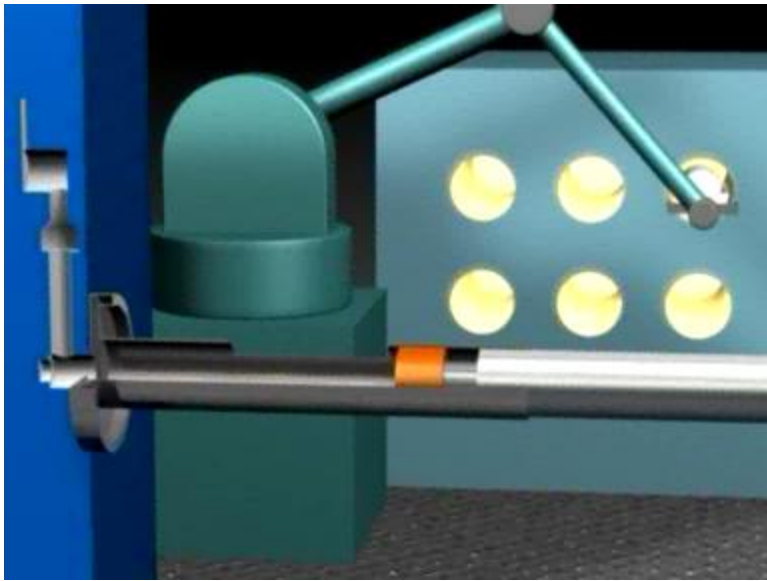


MgAl9Zn
Thixo-Vormaterial

Zustandsdiagramm des Systems Mg-Al



Tixoformado



Tixoformado