


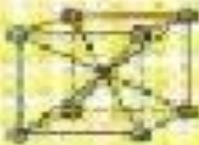

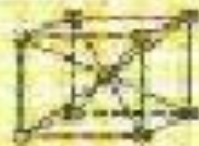
HIERRO/ACERO

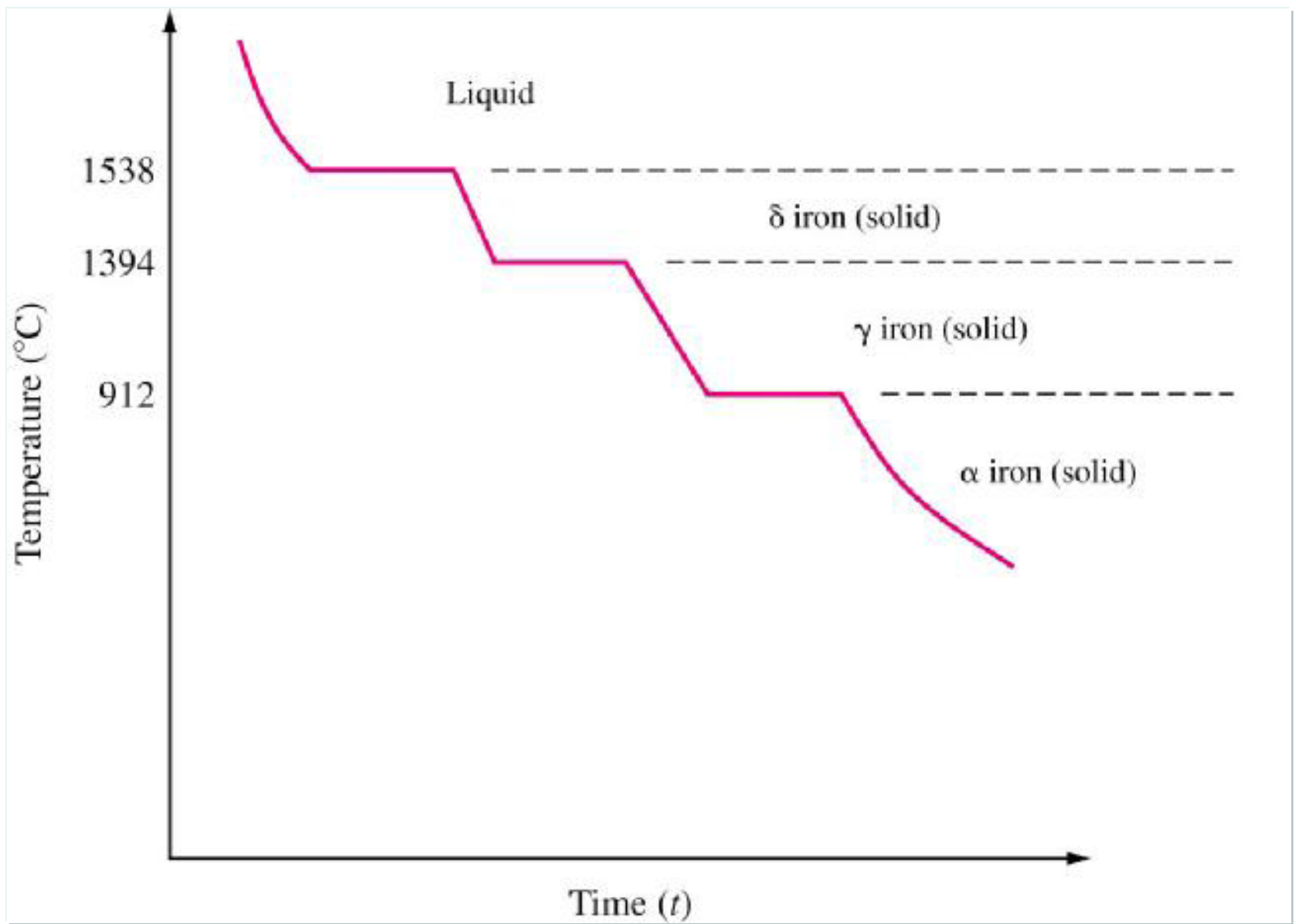
Julio Alberto Aguilar Schafer

Cambios alotrópicos del hierro

- Hierro α : 20-767⁰ C, CC (CCB), magnético.
- Hierro β : 767-907⁰ C, CC (CCB), ligeramente magnético.
- Hierro γ : 907-1401⁰ C, CCC (CCF) amagnético.
- Hierro δ : 1401-1537⁰ C, CC (CCB), magnético.

ESTADOS ALOTROPICOS DEL HIERRO PURO

Temperaturas	Formas alotrópicas	Sistema cristalino	Parámetros	Propiedades magnéticas
HASTA	α		2,86 Å	Muy magnética
768°	β		2,90 Å	Débilmente magnética
910°	γ		3,60 Å	No magnética
1400°	δ		2,93 Å	Débilmente magnética
1539°				



El hierro. Formas Alotrópicas(Alfa)

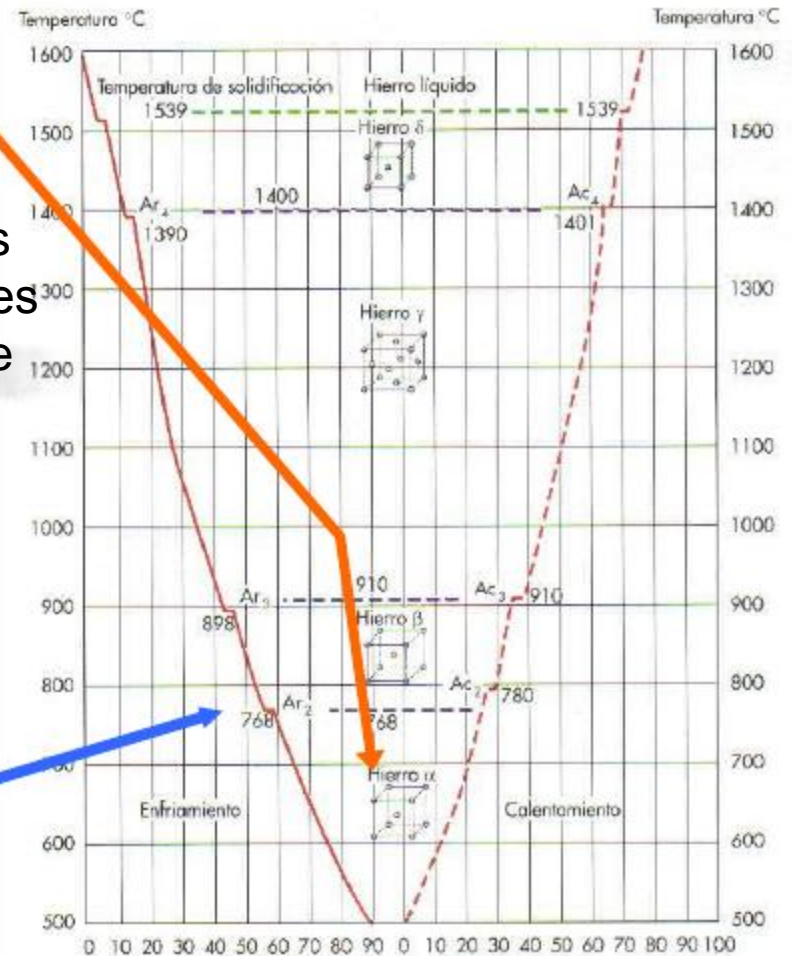
•Hierro α :

–Red cúbica centrada

.–Existe como forma alotrópica hasta los 910°C (β) si bien cambia sus propiedades

.–Hasta los 768°C es amagnético.–Desde 768 a 910°C no es magnético. Hierro β

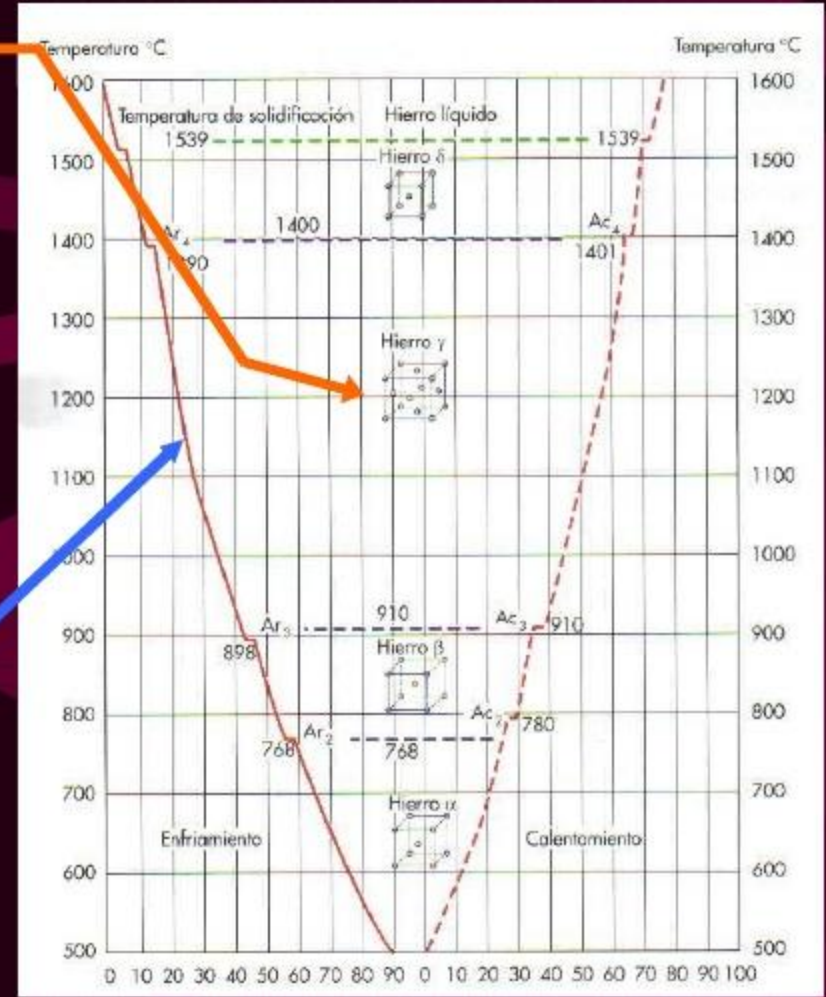
–Poca capacidad de disolución del carbono.(máx. 0,02% a 768°C)



El Hierro. Formas Alotrópicas (Gamma)

Hierro γ :

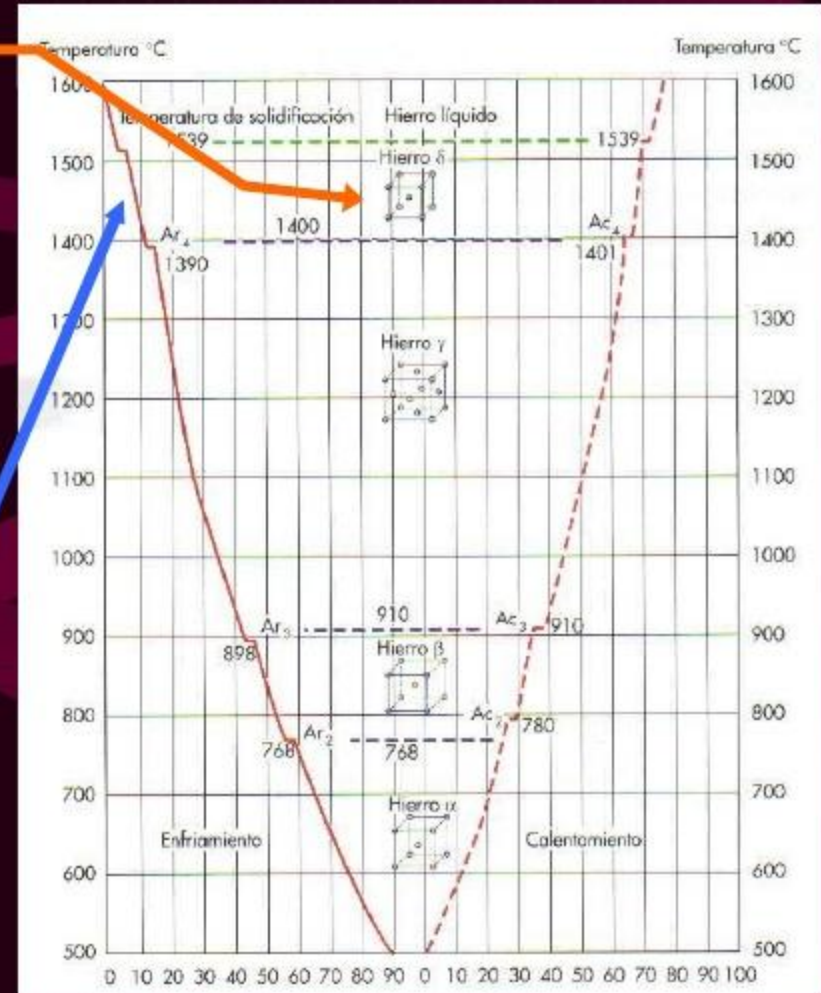
- Red cúbica centrada en las caras.
- Entre 910 y 1400 °C
- Más denso y dilatado que el hierro β .
- No es magnético
- Mucha capacidad de disolución del carbono. (hasta 2% a 1130°C)

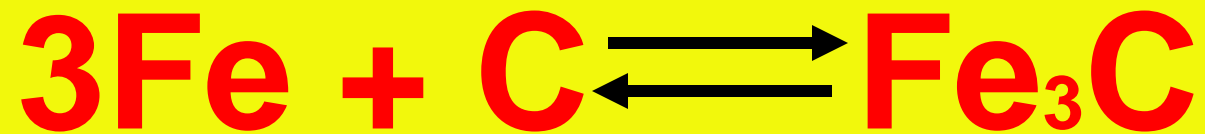


Formas Alotrópicas (Delta)

•Hierro δ :

- Red cúbica centrada.
- Entre 1400 y 1539°C(temperatura de fusión)
- Más denso y dilatado que el hierro γ .
- Débilmente magnético—Poca capacidad de disolución del carbono.(hasta 0.1% a 1492°C)





Cuando el hierro, en estado líquido entra en contacto con el carbón, lo disuelve, y cuando el hierro solidifica se forma el compuesto químico “carburo de hierro” (Fe_3C).

Estructuras de los aceros

Debajo de 723 C⁰:

- Ferrita (Fe)
- Grafito (C)
- Cementita (Fe₃C)
- Perlita

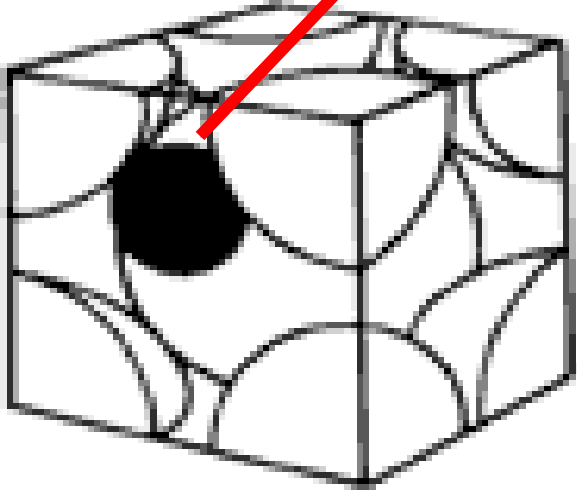
Arriba de 723 C⁰:

- Austenita
- Ledeburita
- Mertensita (Austenita retenida)

• Estructuras resultantes de tratamientos térmicos:

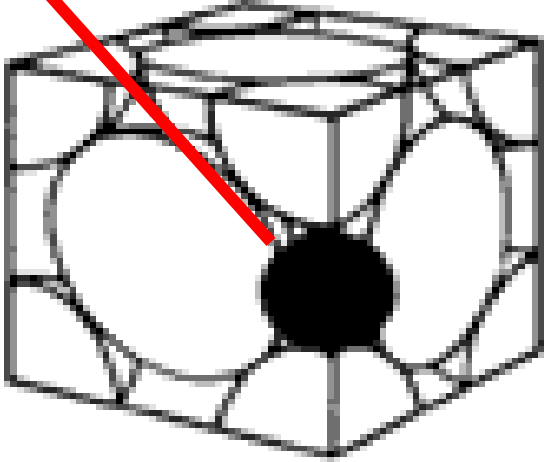
- Sorbita
- Stelita
- Bainita
- Troostita

grafito



FERRITA

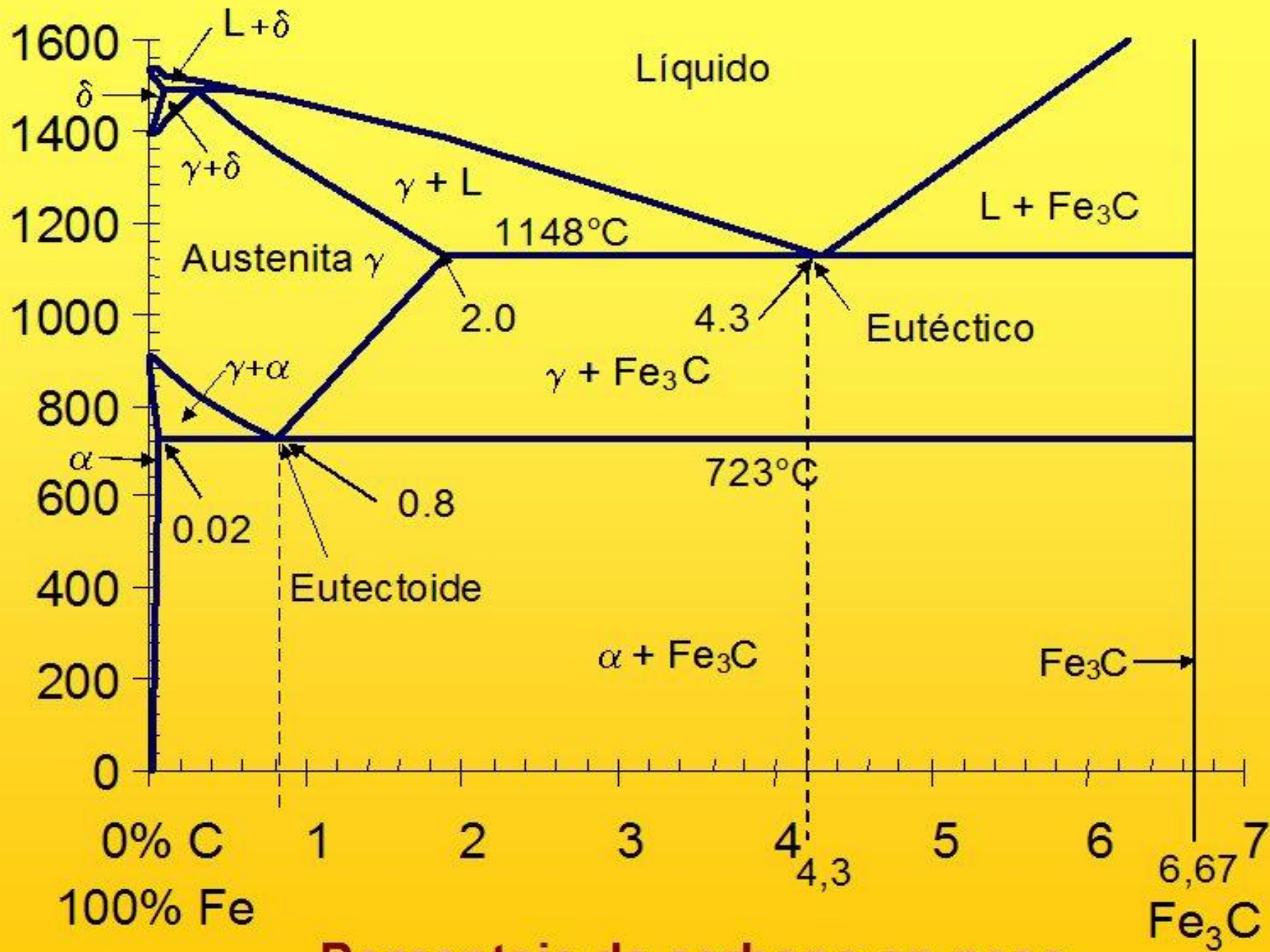
Estructura cristalina del
acero en fase ferrita



AUSTENITA

estructura cristalina cúbica
centrada en las caras

Temperatura, °C

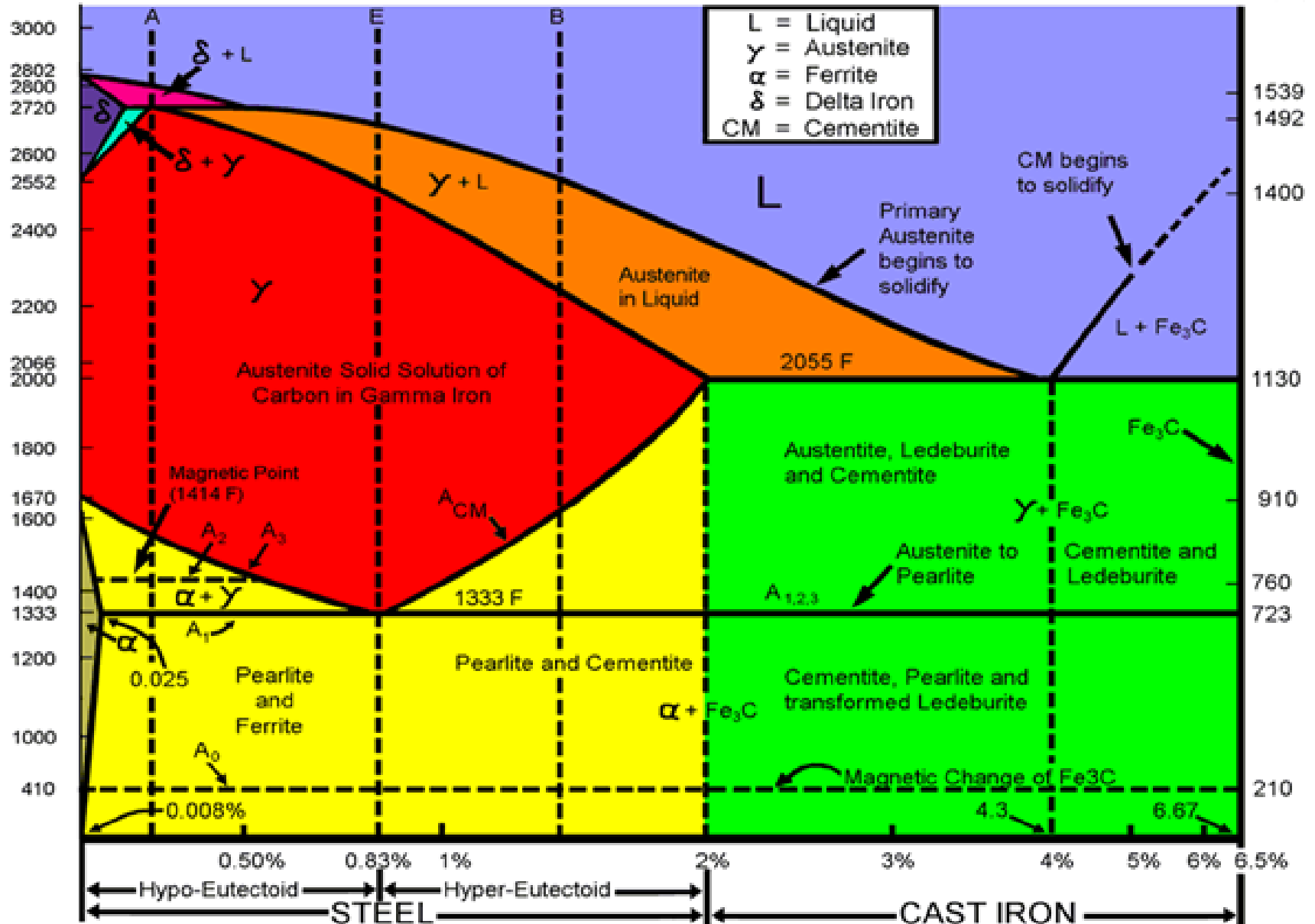


Porcentaje de carbono en peso

Iron/Carbon Alloy Phase Diagram

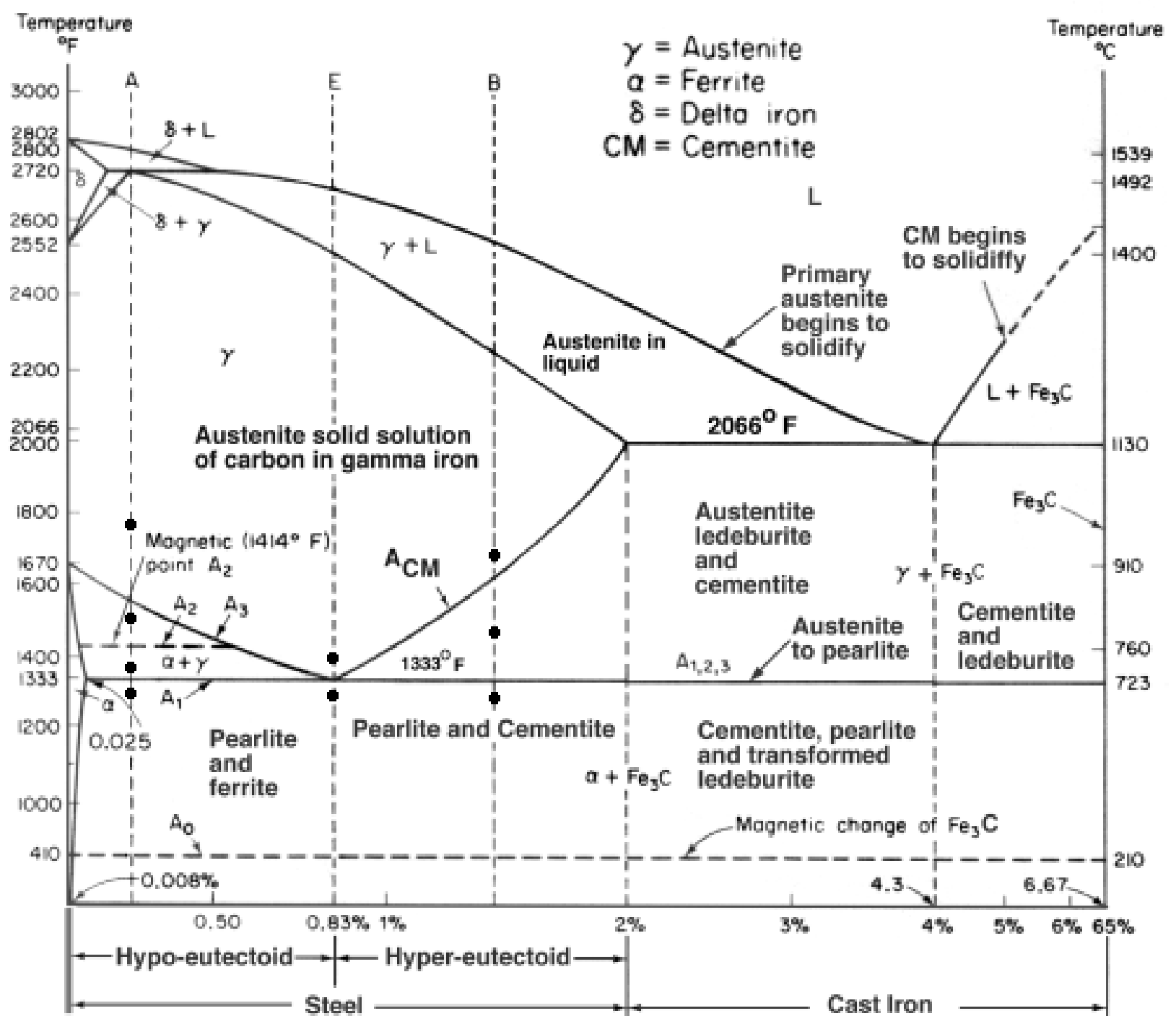
Temperature (F)

Temperature (C)

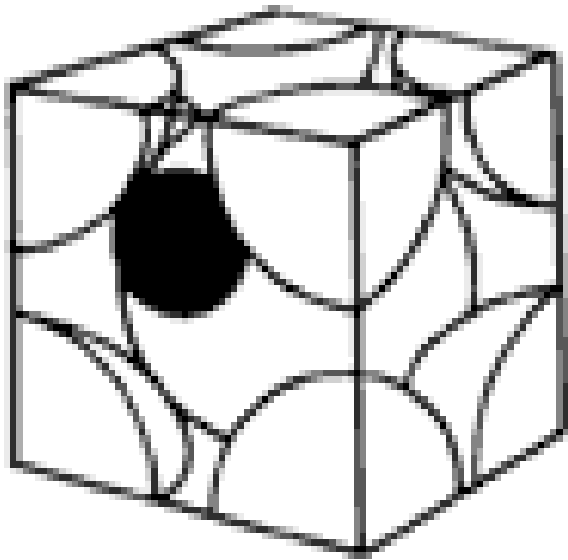


Carbon Content Present (by weight)

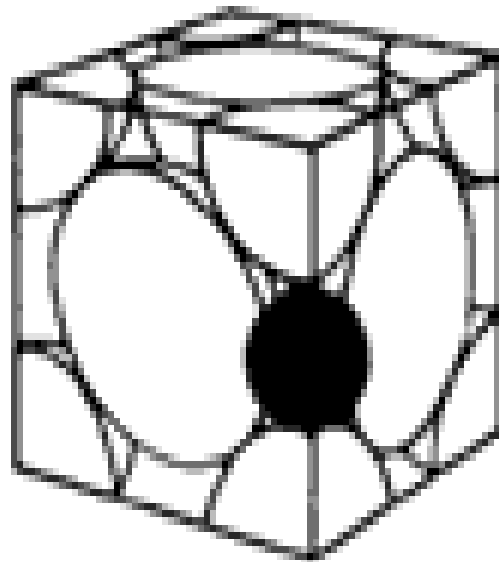
Diagrama de fases Fe-Fe₃C



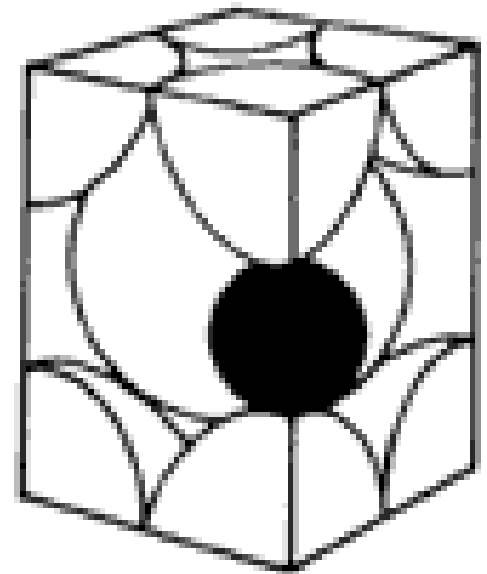
ESTRUCTURAS CRISTALINAS DE LOS ACEROS



FERRITA



AUSTENITA



MARTENSITA

Contenidos de carbono

- Aceros de bajo contenido de carbono (aceros estructurales) 0.003-0.89% de C, **hipoeutectoide** (ferrita+perlita)
- Aceros de alto contenido de carbono (aceros de herramientas) 0.89-1.76% de C, **hipereutectoide** (perlita+cementita)
- Fundición de hierro 1.76-6.65% de C:
 - 1.76-4.26% de C **hipoeutectica**
 - 4.26-6.65% de C **hipereutectica**

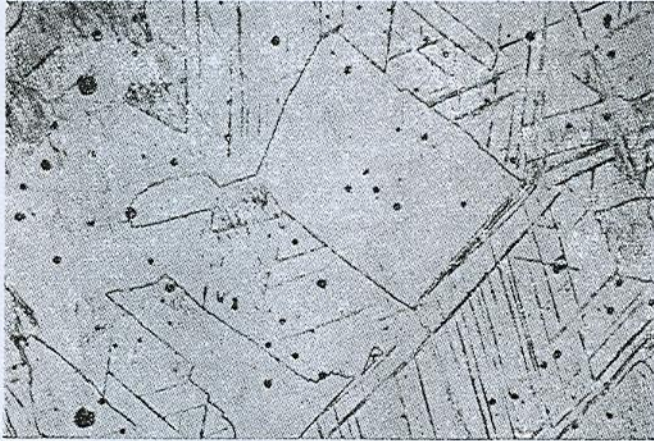
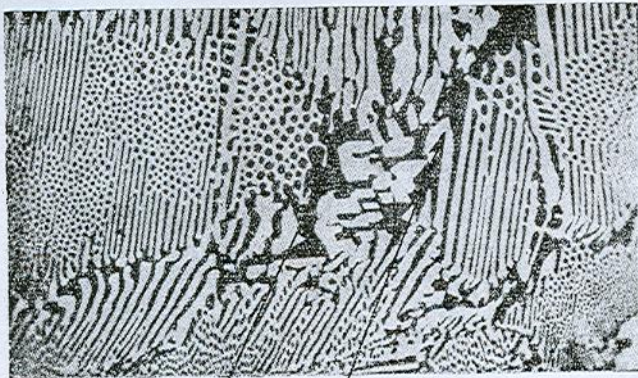


Fig. 19-13. — Austenita x 200. Ataque electrolítico con ácido oxálico al 10 %. Las maclas visibles en la estructura corresponden a deformaciones de orden mecánico de la red cristalina.



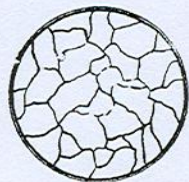
PERLITA CEMENTITA

Fig. 19-19. — Fundición blanca eutéctica de 4'3 % de C. x 250. Reactivo Nital-4.



PERLITA GRAFITO

Fig. 19-20. — Fundición gris perlítica x 250. Carbono en forma de cementita 0'85 %. Carbono total 3'41 %. Reactivo Nital-4.



C=0
PERLITA=0
FERRITA=100%



C=0.50%
PERLITA=56%
FERRITA=44%



C=0.10%
PERLITA=11%
FERRITA=89%



C=0.60%
PERLITA=67%
FERRITA=33%



C=0.20%
PERLITA=22%
FERRITA=78%



C=0.70%
PERLITA=78%
FERRITA=22%



C=0.30%
PERLITA=33%
FERRITA=67%



C=0.80%
PERLITA=89%
FERRITA=11%



C=0.40%
PERLITA=44%
FERRITA=56%



C=0.89%
PERLITA=100%
FERRITA=0%

Fig. 20-9. — Constitución de los aceros hipoeutectoides.

Nomenclatura de los aceros

- Existen diferentes clases de nomenclaturas.
- En Estados Unidos existen los sistemas de cuatro dígitos AISI y SAE.
- En AISI y SAE el método es numérico, los dos primeros números indican el tipo de aleación.
- Los dos últimos números indican el porcentaje de carbono.

1020

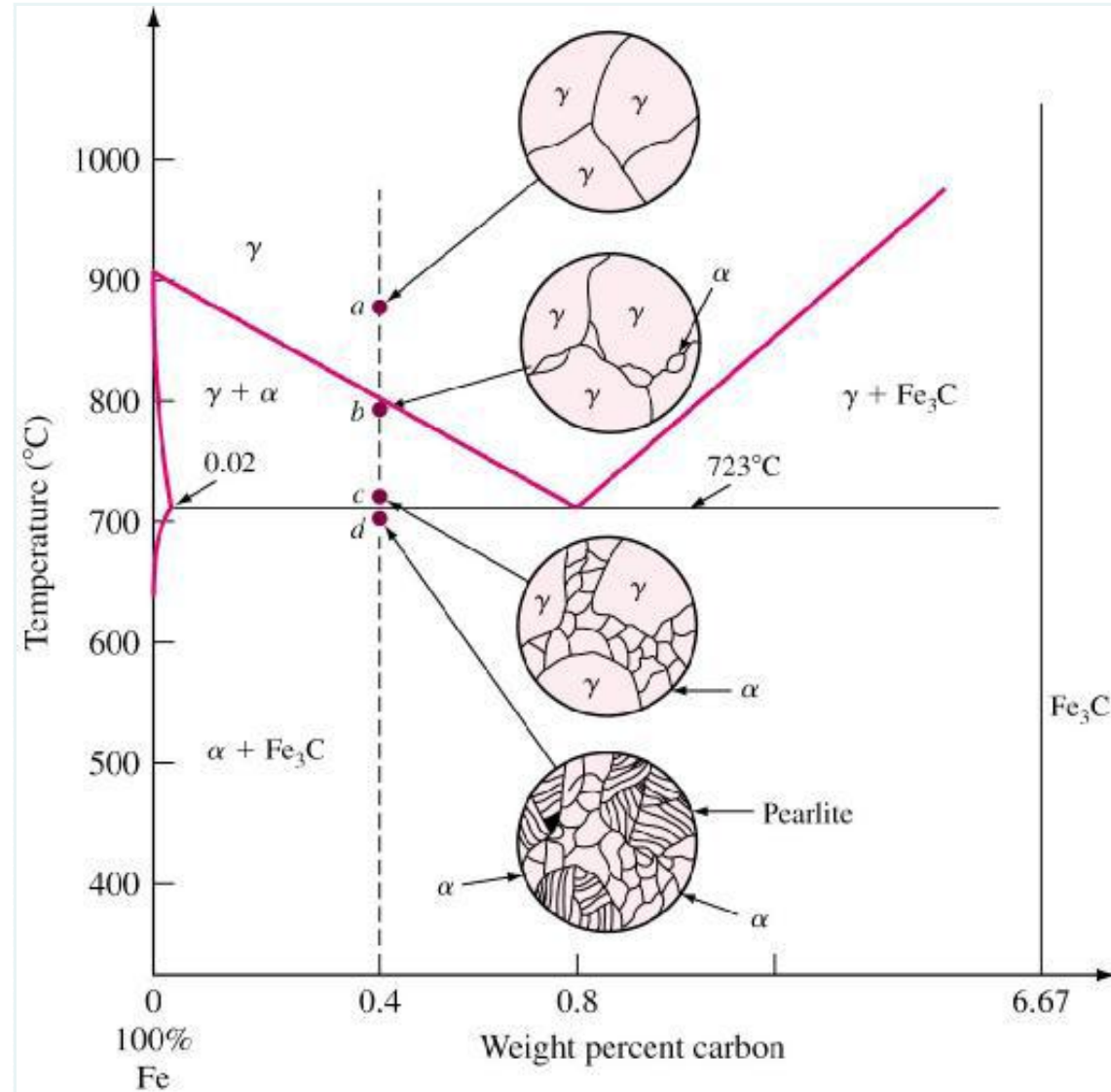
10 20

bajo contenido de C

0.20% de C

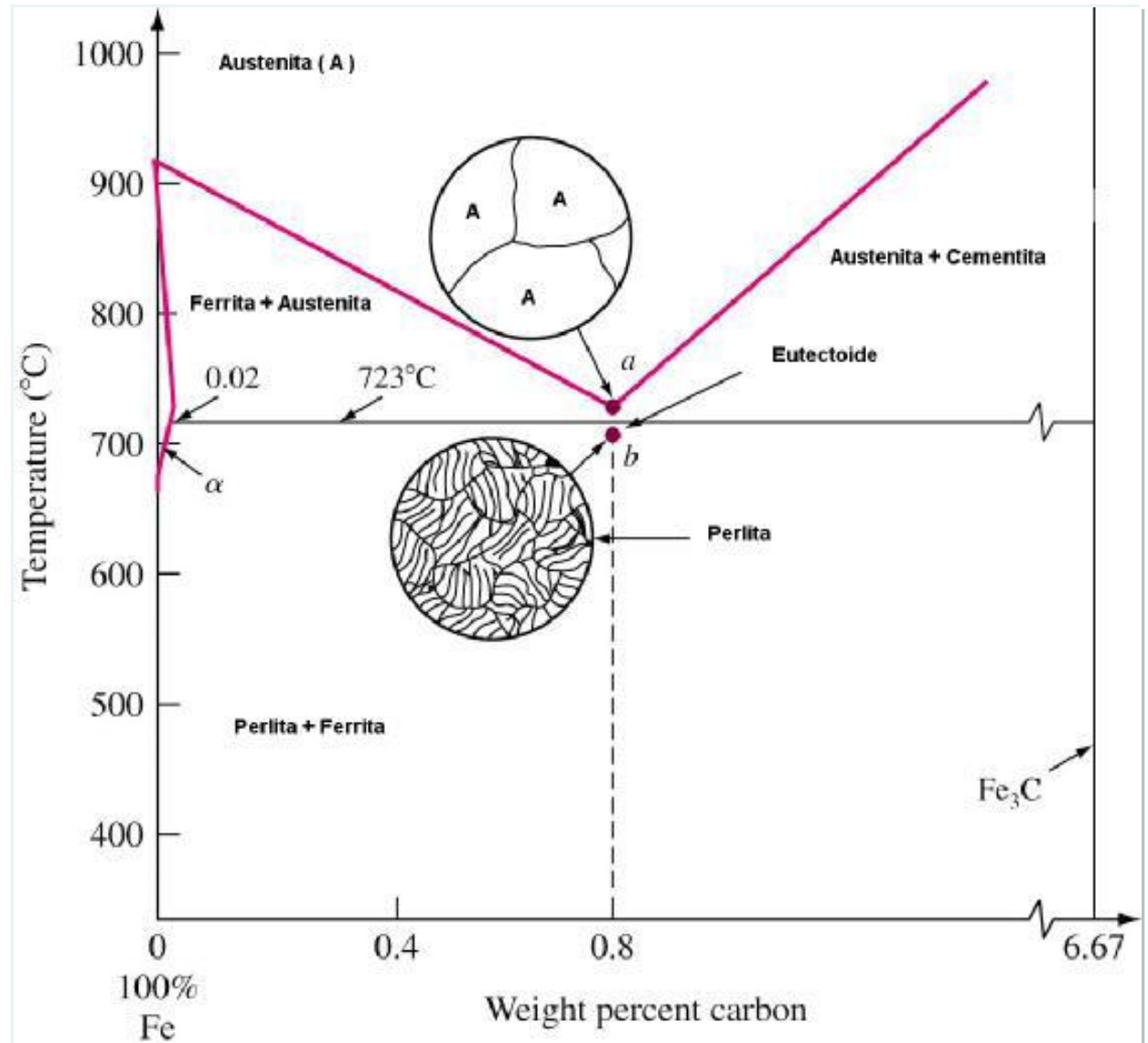
aceros transformación hipoeutectoide

α = Ferrita
 γ = Austenita



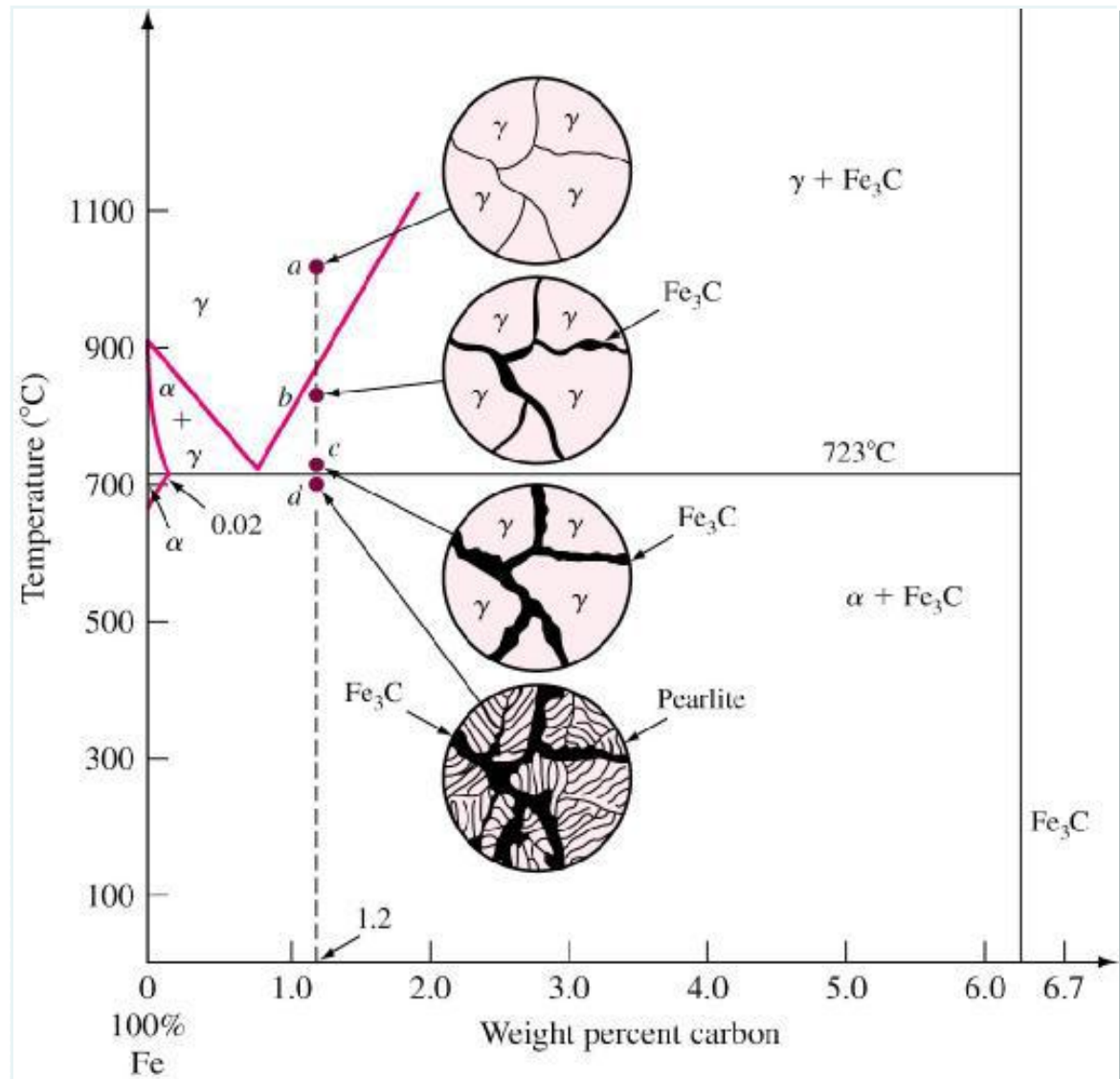
aceros transformación eutectoide

α = Ferrita
 γ = Austenita

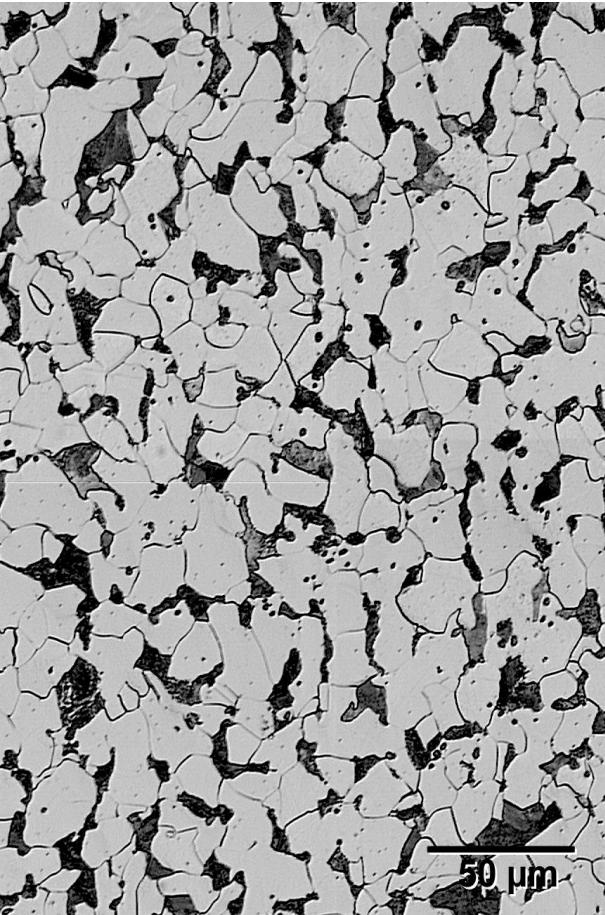


aceros transformación hipereutectoide

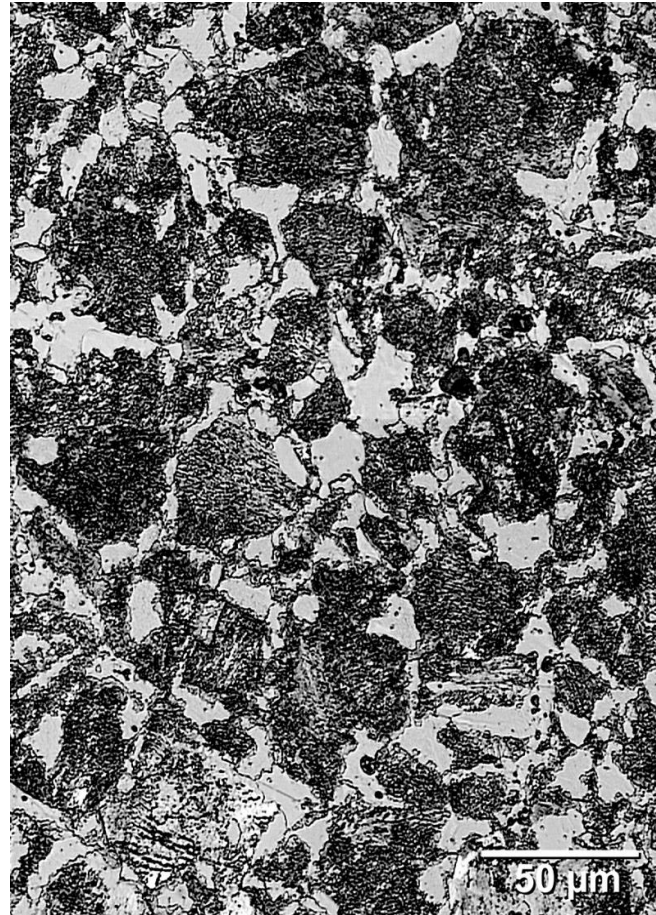
α = Ferrita
 γ = Austenita



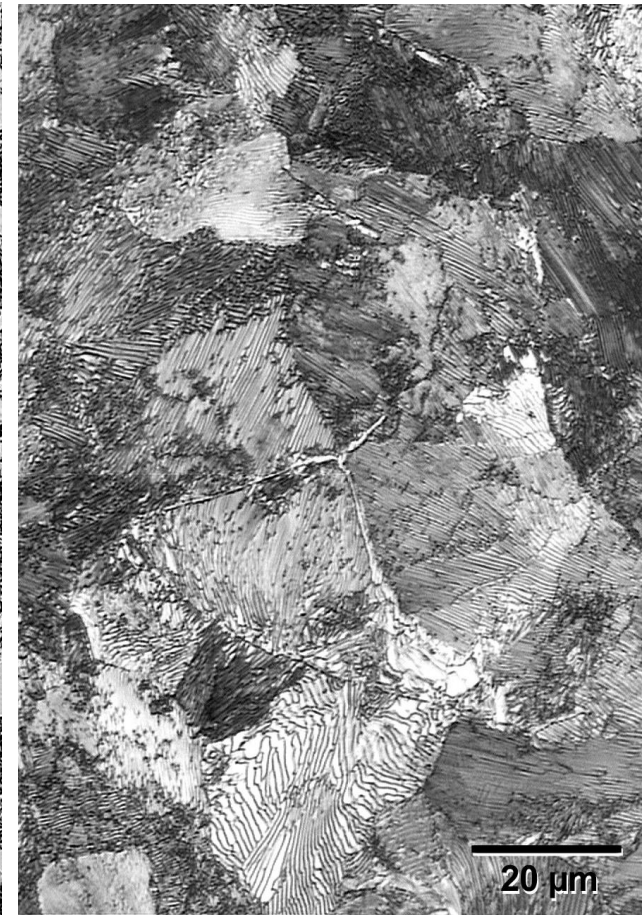
**ACERO
1018**



**ACERO
1045**



**ACERO
1095**



Nomenclatura de los aceros y sus características

Steel Number	Carbon Content, percent	Condition	Tensile Strength, * psi × 10 ³	Yield Strength, * psi × 10 ³	Percent Elongation	HB	Typical Use
Ingot iron†	0.02	Annealed	42	19	48	69	Pipe, architecture
		Hot-rolled	44	23	47	83	
		Cold-drawn	73	69	12	142	
1010	0.10	Hot-rolled	47	26	28	95	Car fenders
		Cold-drawn	53	44	20	105	
1020	0.20	Hot-rolled	55	30	25	111	Structural forms
		Cold-drawn	61	51	15	121	
1040	0.40	Hot-rolled	76	42	18	149	Crankshaft
		Cold-drawn	85	71	12	170	
1060	0.60	Hot-rolled	98	54	12	201	Chisel
		Cold-drawn‡	90	70	10	183	
1080	0.80	Hot-rolled	112	62	10	229	Wear-resistant parts
		Cold-drawn‡	98	75	10	192	
1095	0.95	Hot-rolled	120	66	10	248	Cutting blades
		Cold-drawn‡	99	76	10	197	

* Multiply psi by 6.9×10^{-3} to obtain MN/m² (MPa) or by 7.03×10^{-4} to obtain kg/mm².

† Wrought iron has mechanical properties similar to those of ingot iron.

‡ Spheroidized, then cold-drawn

46-3

TABLE 46-3 SAE-AISI Chemical Specifications

Type	Name	Example	Nominal Chemical Analysis, percent							
			C	Mn	P Maximum	S Maximum	Si	Ni	Cr	Mo
10xx	Plain carbon	1020	0.2	0.4	0.04	0.05				
11xx	Free machining	1111	0.1	0.7	0.09 average	0.12 average				
13xx	Mn	1330	0.3	1.7	0.04	0.04	0.3			
3xxx	NiCr	3140	0.4	0.8	0.04	0.04	0.3	1.0	0.6	
40xx	Mo	4042	0.42	0.8	0.04	0.04	0.2			0.25
41xx	CrMo	4140	0.4	0.8	0.04	0.04	0.3		1.0	0.20
43xx	NiCrMo	4340	0.4	0.7	0.04	0.04	0.2	1.8	0.8	0.25
46xx	NiMo	4620	0.2	0.6	0.04	0.04	0.3	1.8		0.25
47xx	NiCrMo	4720	0.2	0.6	0.04	0.04	0.3	1.0	0.4	0.20
48xx	NiMo	4820	0.2	0.6	0.04	0.04	0.3	3.5		0.25
50xx	Cr	5015	0.15	0.4	0.04	0.04	0.3		0.4	
52xx	Cr	52100	1.0	0.4	0.02	0.02	0.3		1.4	
61xx	CrV	6120	0.2	0.8	0.04	0.04	0.3		0.8	
81xx	NiCrMo	8115	0.15	0.8	0.04	0.04	0.3	0.3	0.4	0.10
86xx	NiCrMo	8650	0.5	0.8	0.04	0.04	0.3	0.5	0.5	0.20
87xx	NiCrMo	8720	0.2	0.8	0.04	0.04	0.3	0.5	0.5	0.25
88xx	NiCrMo	8822	0.22	0.8	0.04	0.04	0.3	0.5	0.5	0.35
92xx	Si	9260	0.6	0.8	0.04	0.04	2.0			
93xx	NiCrMo	9310	0.1	0.6	0.02	0.02	0.3	3.0	1.2	0.10
94xx	NiCrMo	94B30*	0.3	0.8	0.04	0.04	0.3	0.4	0.4	0.10
98xx	NiCrMo	9840	0.4	0.8	0.04	0.04	0.3	1.0	0.8	0.25

*“B” refers to the presence of boron.



1984

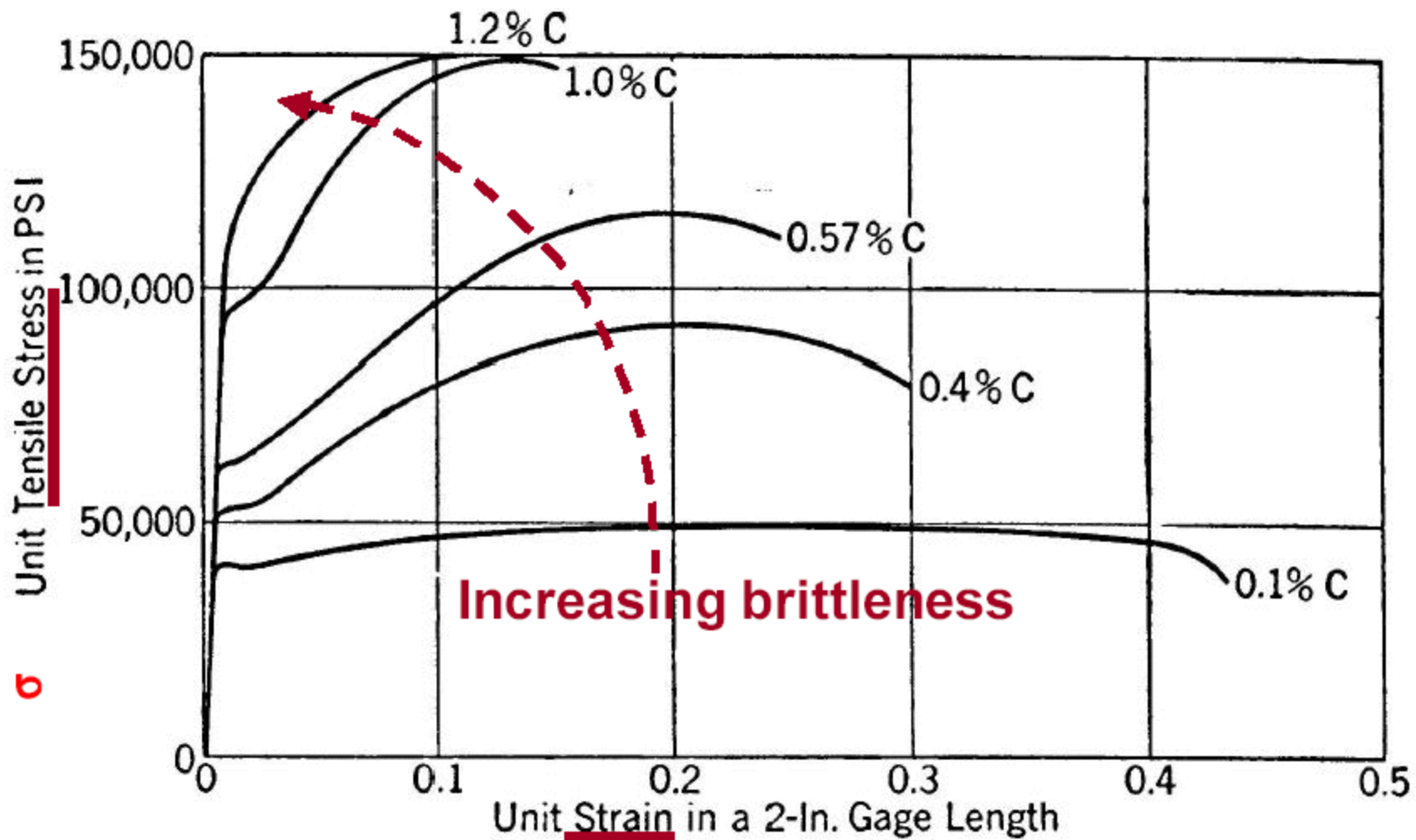
15 t

11,5 m
Nr. 137

Donges

Donges

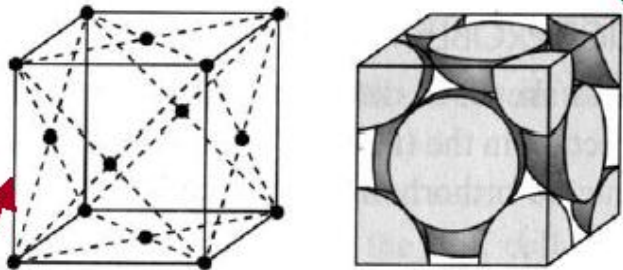
11,5 m
Nr. 136



Stress-strain diagrams for typical hot-worked iron-carbon alloys.

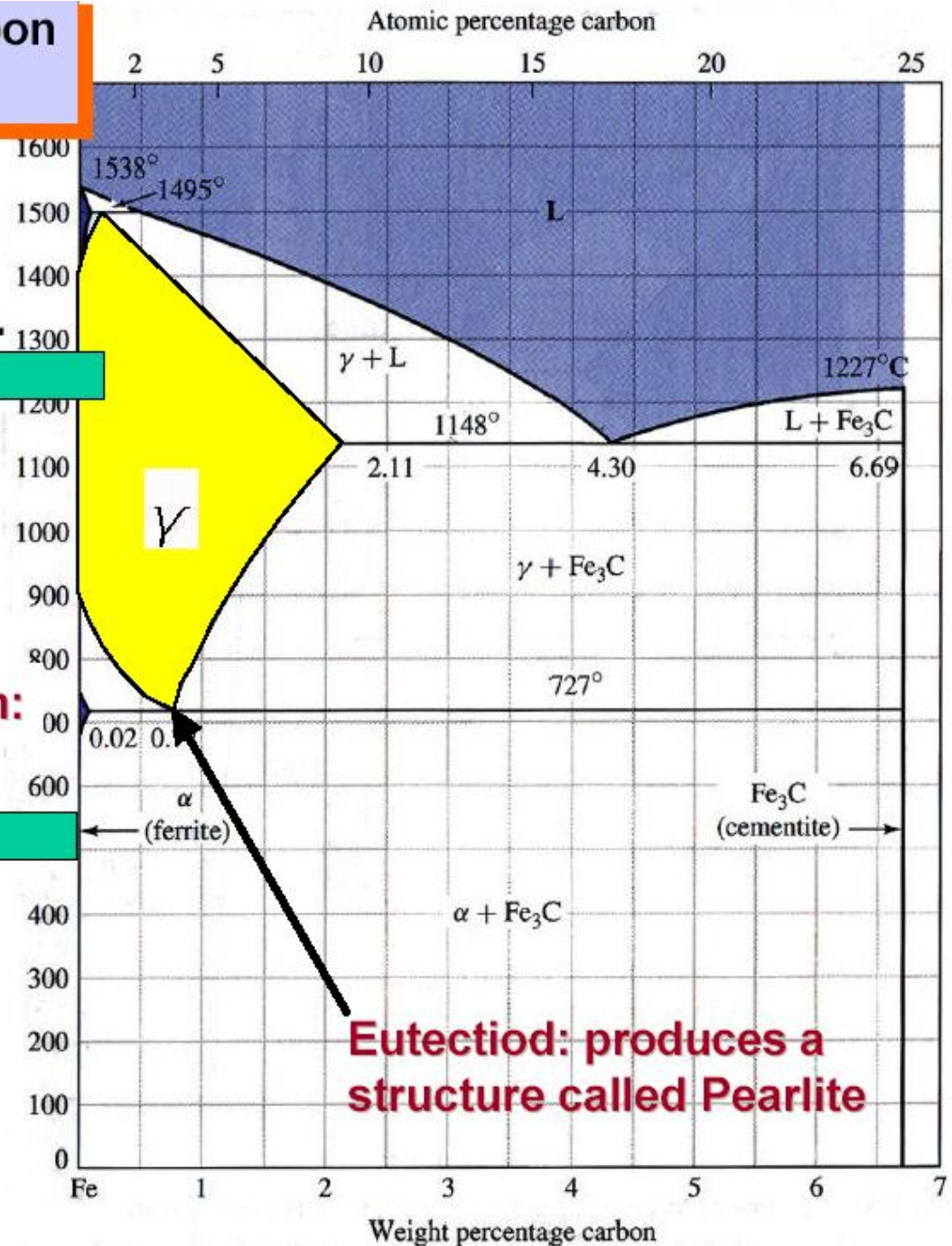
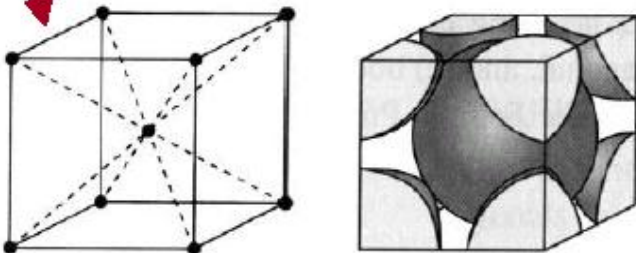
Now consider the Iron – Carbon Phase Diagram

- Austenite, γ , has a face-centred cubic, FCC, crystal structure.



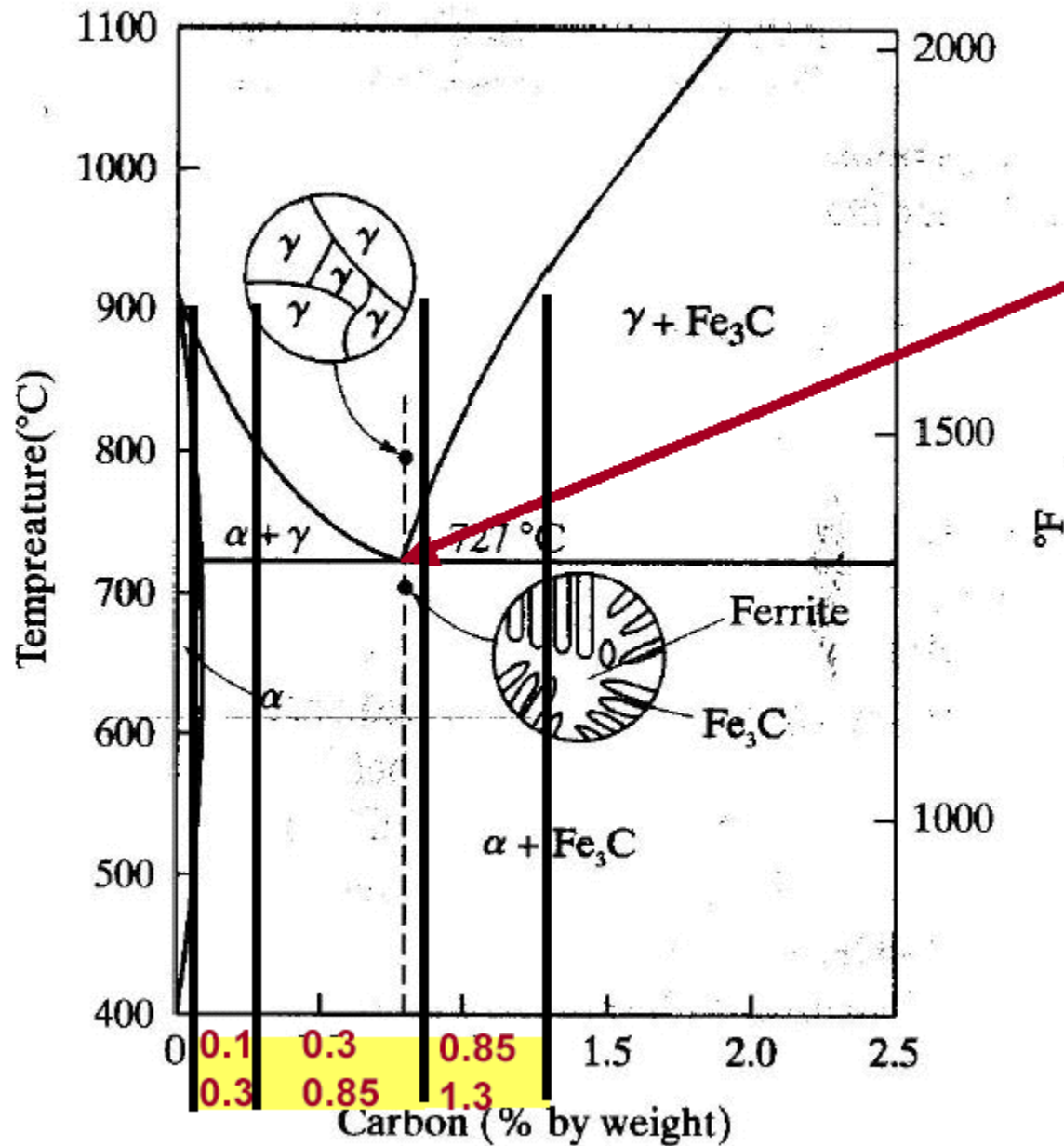
useful allotropic forms of iron:

- Ferrite has a body-centred cubic, BCC, structure.



Eutectoid: produces a structure called Pearlite

The Eutectoid is very important in steel making



pearlite

Schematic illustration of the microstructures for an iron-carbon alloy of eutectoid composition (0.77% carbon), above and below the eutectoid temperature of 727 °C (1341 °F).

Pearlite

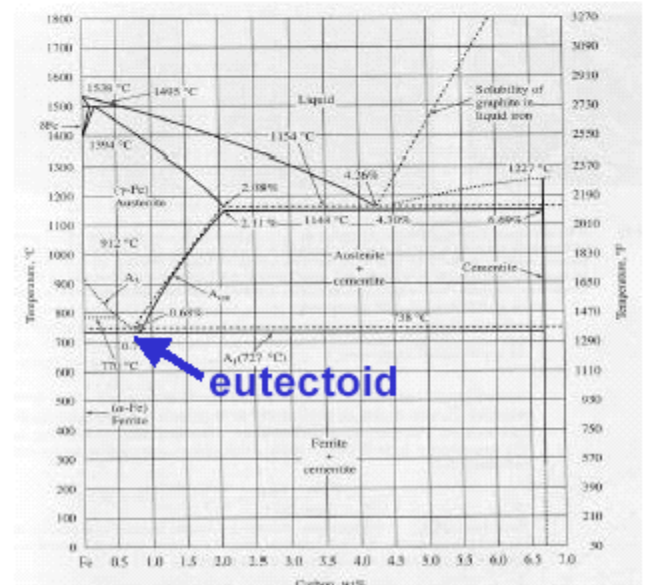
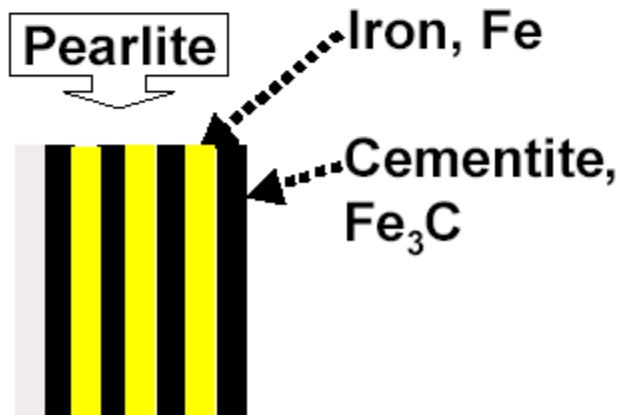
Steel Crystal Structures

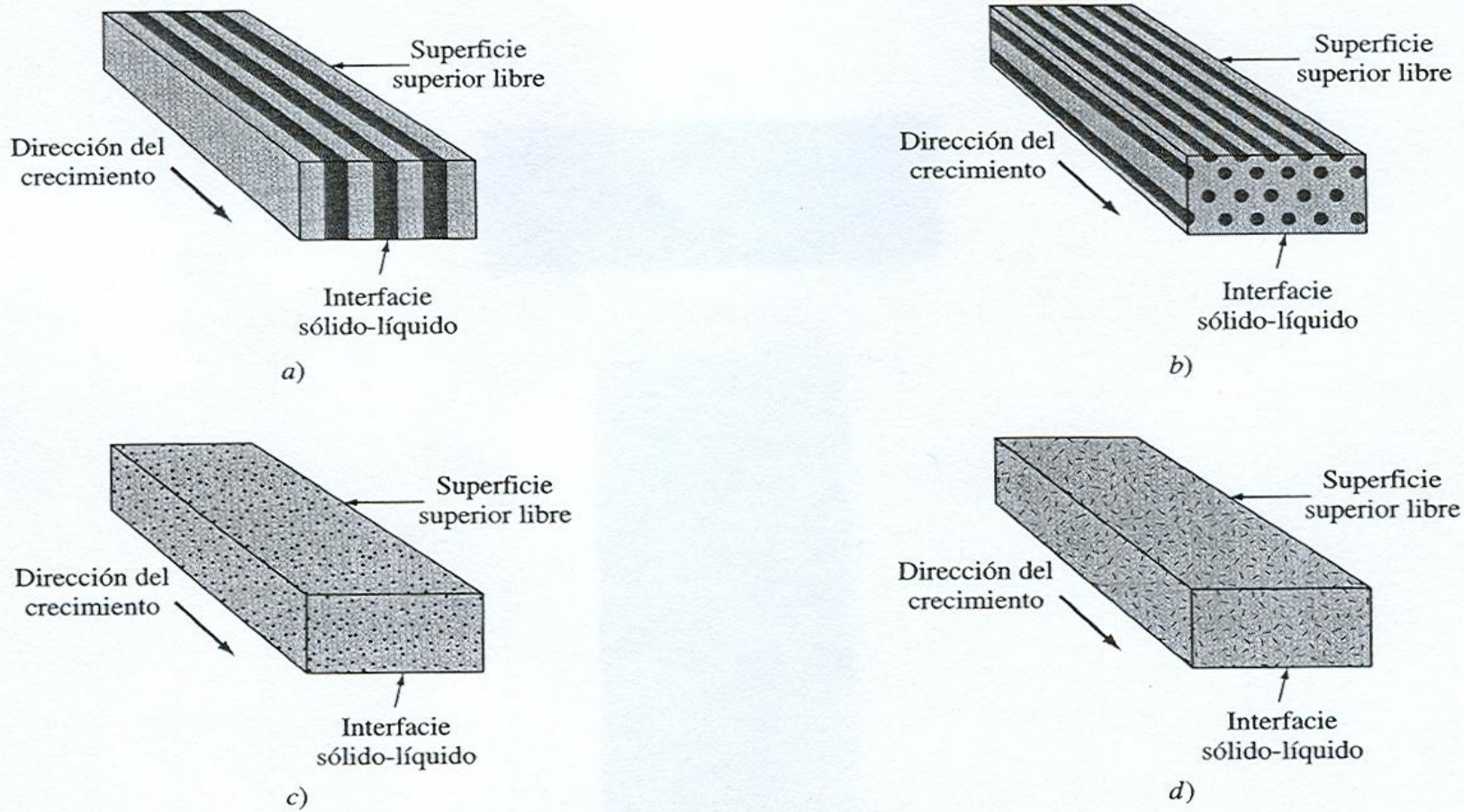
- Pearlite is made up of cementite (Fe_3C) lamellae, and ferrite (Fe).
- cementite is black and ferrite is white in this figure.
- 100% Pearlite occurs at the eutectoid. To the left of the eutectoid ferrite increases and pearlite decreases
- To the right of the eutectoid the amount of cementite increases



Pearlite structure

20 μm





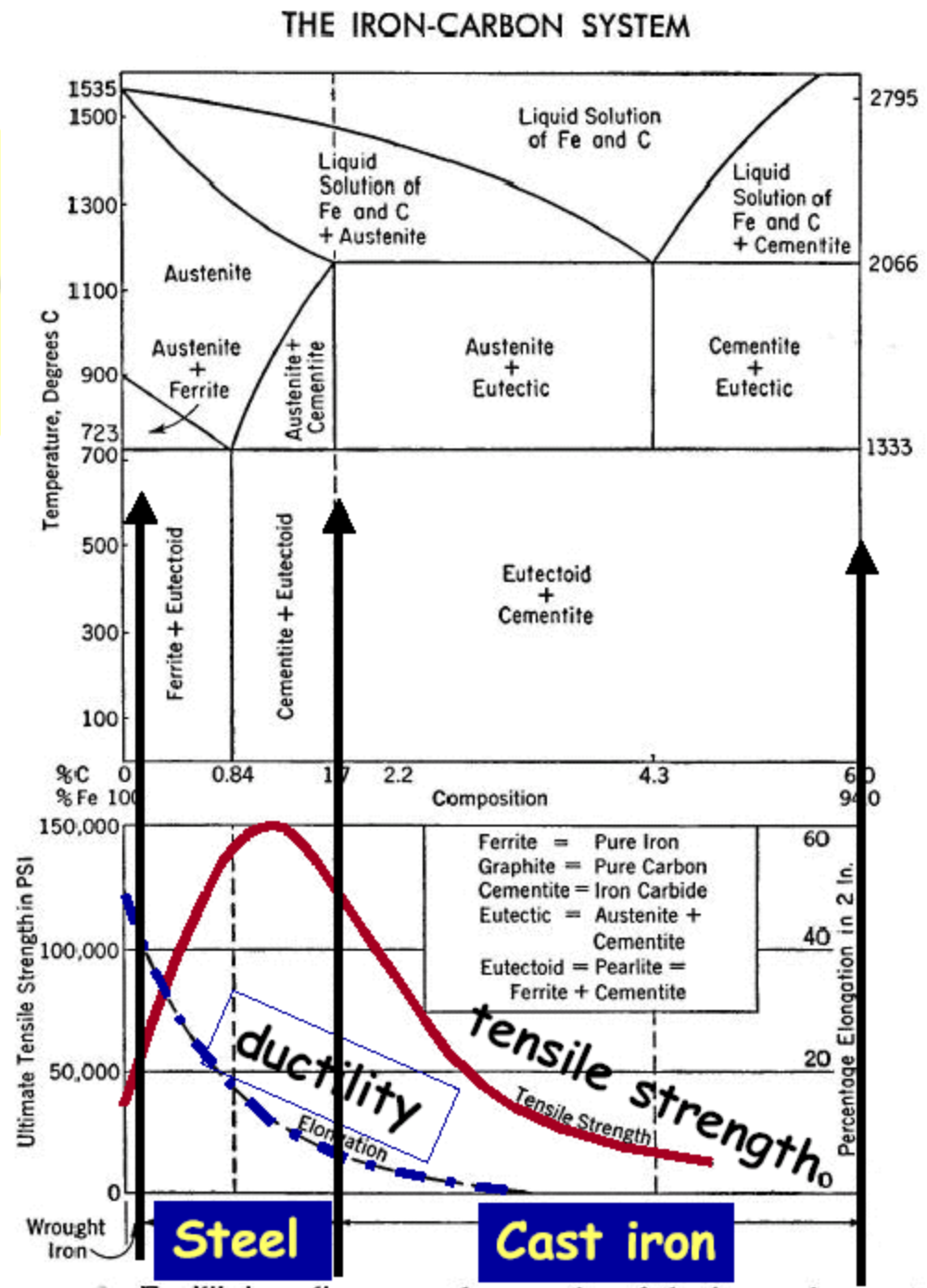
(De W. C. Winegard, «An Introduction to the Solidification of Metals», Institute of Metals, Londres, 1964.)

FIGURA 8.14. Ilustración esquemática de varias estructuras eutécticas: a) laminar; b) varilla; c) globular, y d) acicular.

Recall carbon content:

- Low carbon steel; 0.10 – 0.30 %C
- Medium carbon steel: 0.30 – 0.85 %
- High carbon steel: 0.85 – 1.3 %C

Observe what happens as carbon content increases:



2 Equilibrium diagram and properties of the iron-carbon system

PASAR A TRATAMIENTOS DE LOS ACEROS

Tratamientos de los aceros

I. Tratamientos térmicos:

- recocido o normalizado
- temple
- revenido

II. Tratamientos mecánicos:

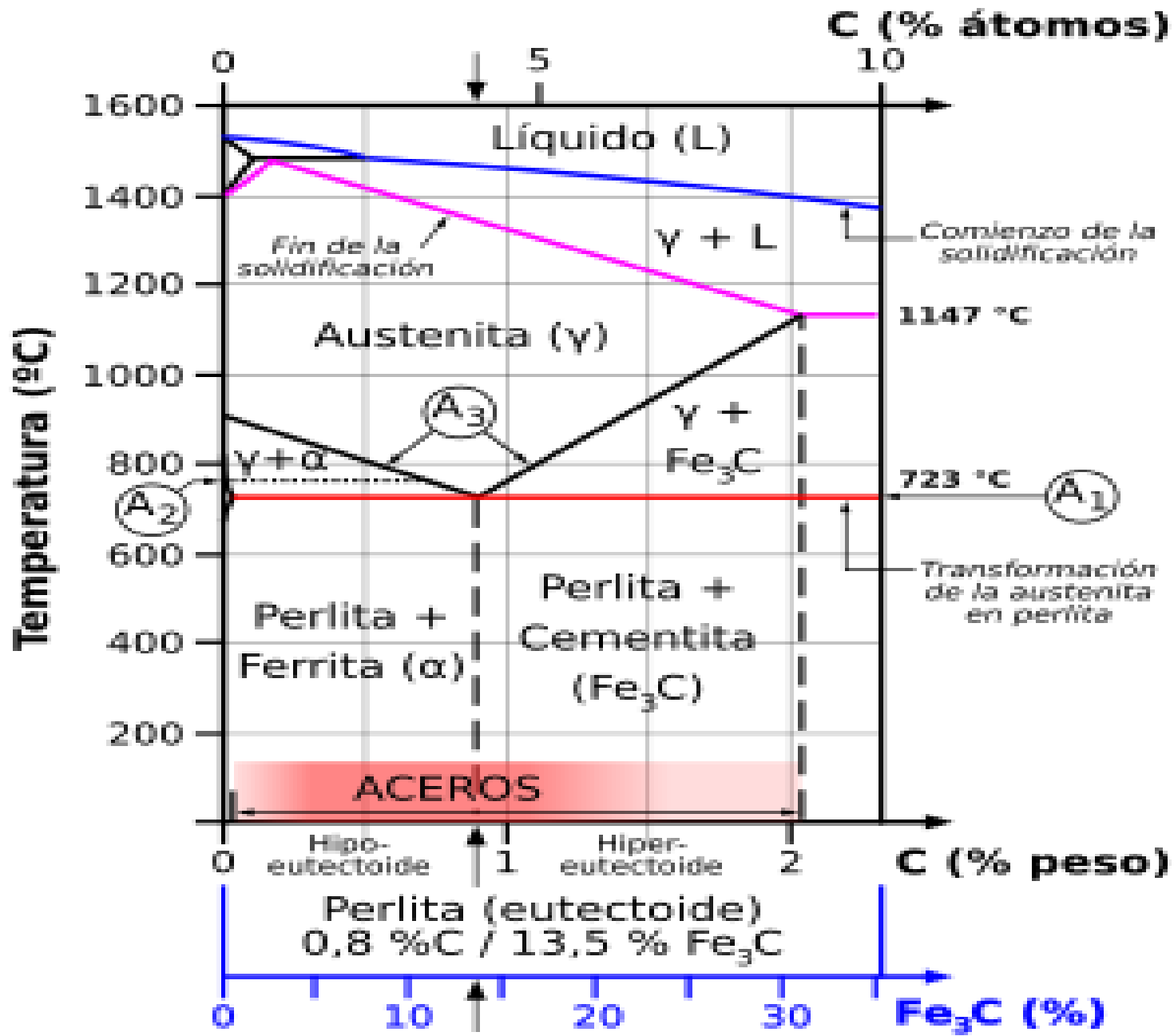
- en frío
- en caliente

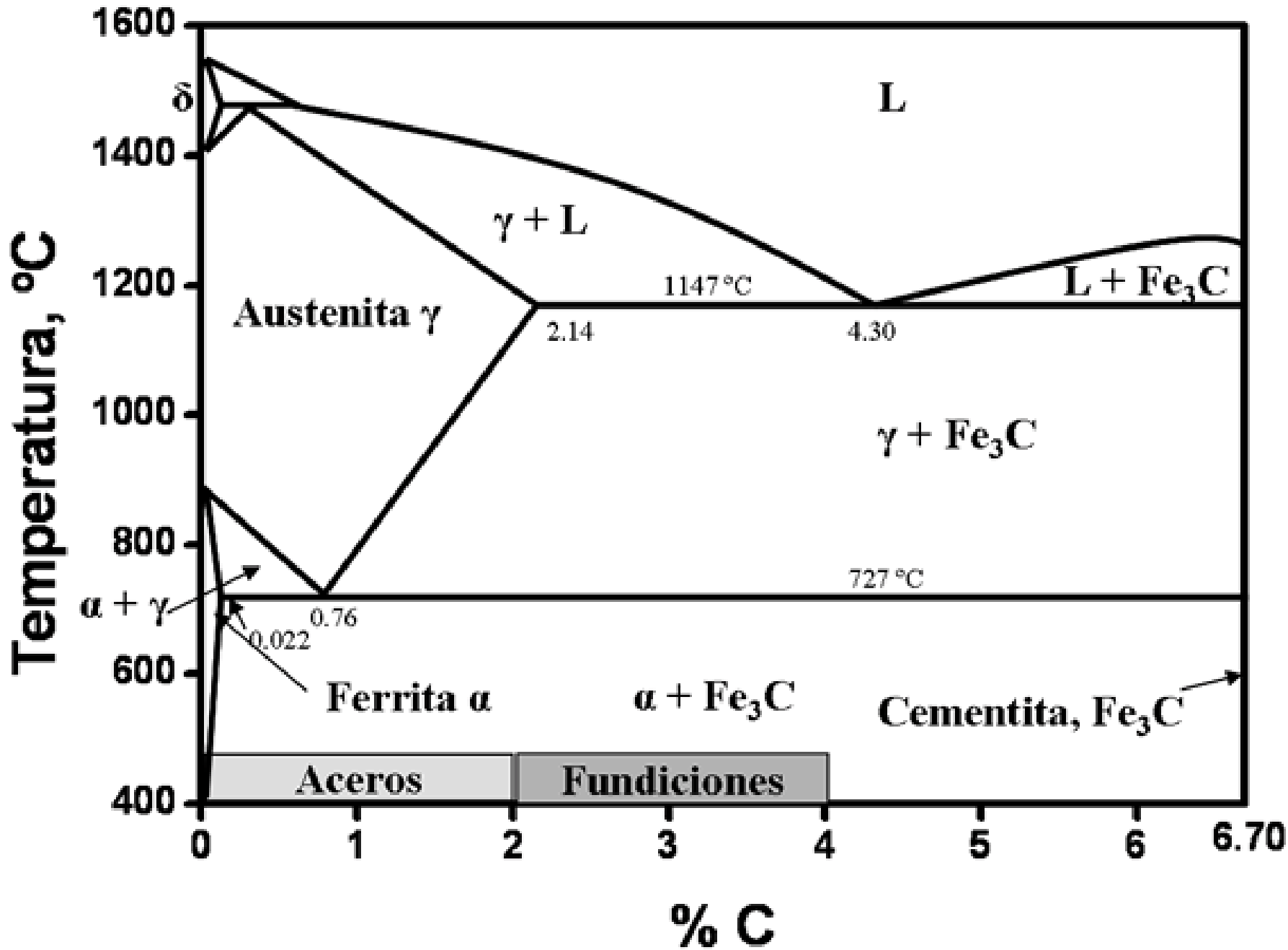
III. Tratamientos termoquímicos:

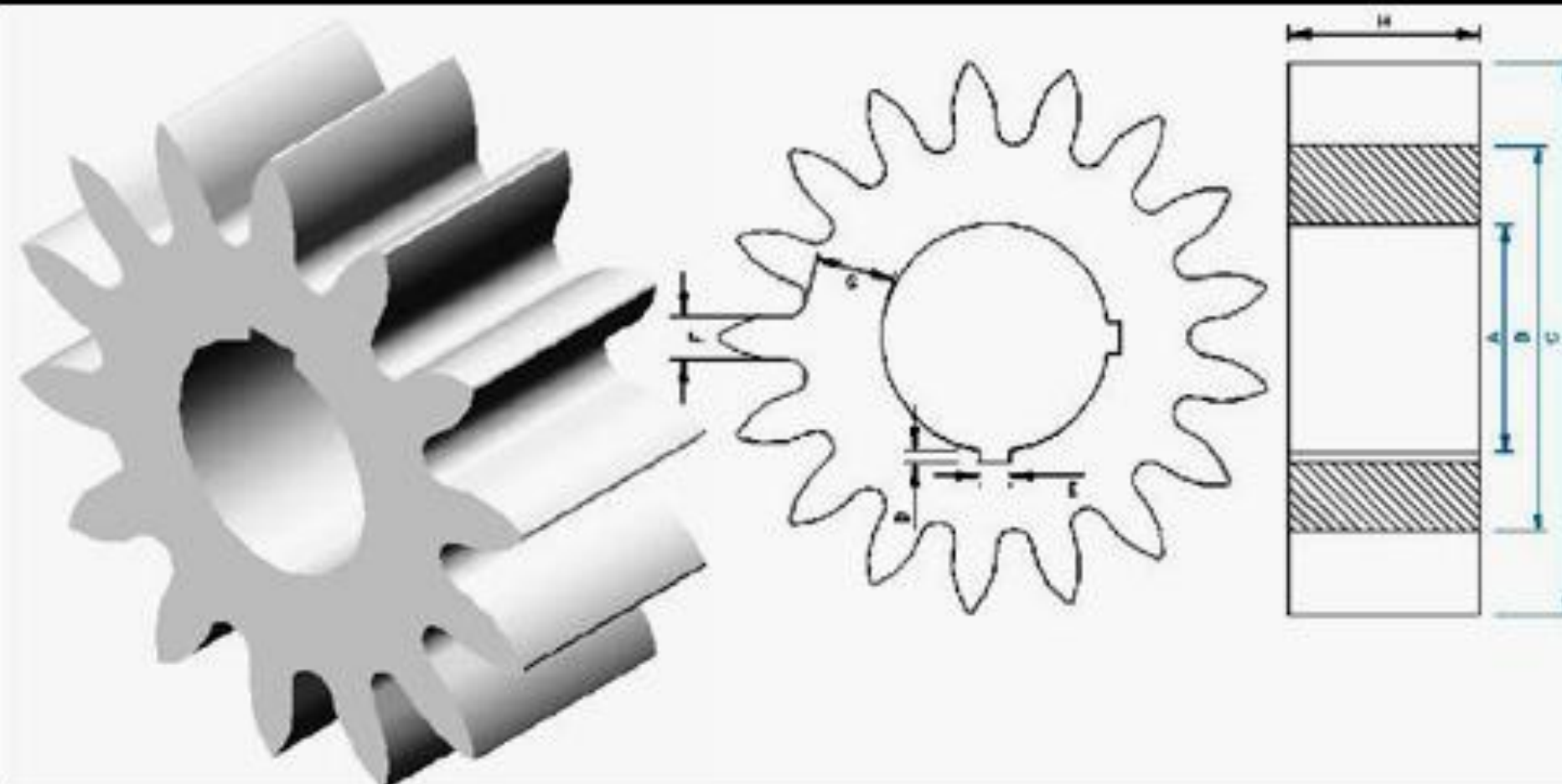
- cementación
- nitruración
- cianuración
- carbonitruración
- titanuración
- boruración

IV. Tratamientos superficiales:

- cromado duro
- Metalización







Recocido/normalizado

- **El recocido consiste en elevar la temperatura del acero a una temperatura de austenita+50⁰C y enfriarlo lentamente para:**
 1. Eliminar tratamientos térmicos anteriores.
 2. Eliminar tensiones residuales.
 3. Eliminación de acritud.
 4. Homogenización y crecimiento del tamaño de los granos.



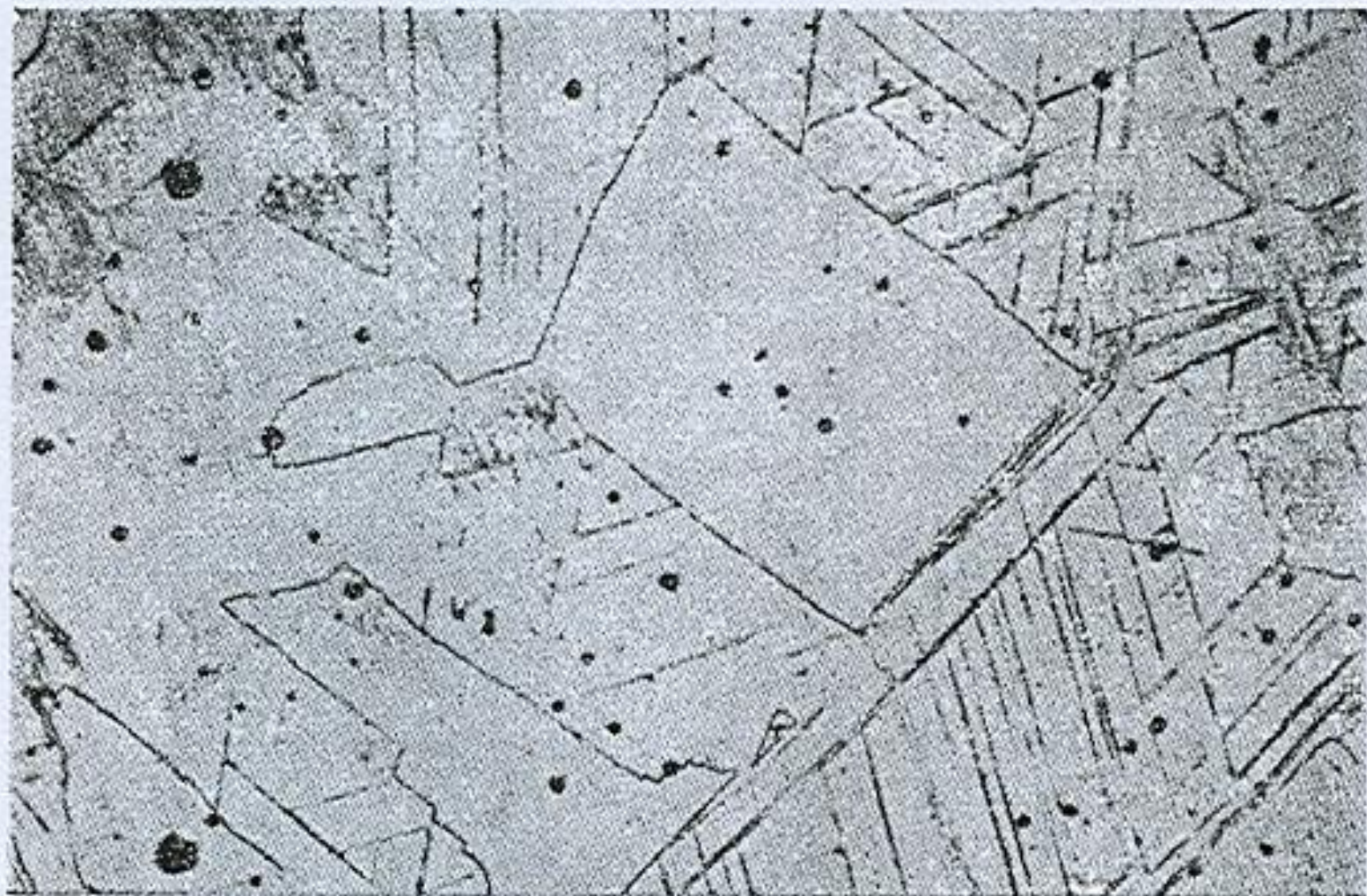


Fig. 19-13. — Austenita x 200. Ataque electrolítico con ácido oxálico al 10 %. Las maclas visibles en la estructura corresponden a deformaciones de orden mecánico de la red cristalina.

Normalizado y crecimiento de grano

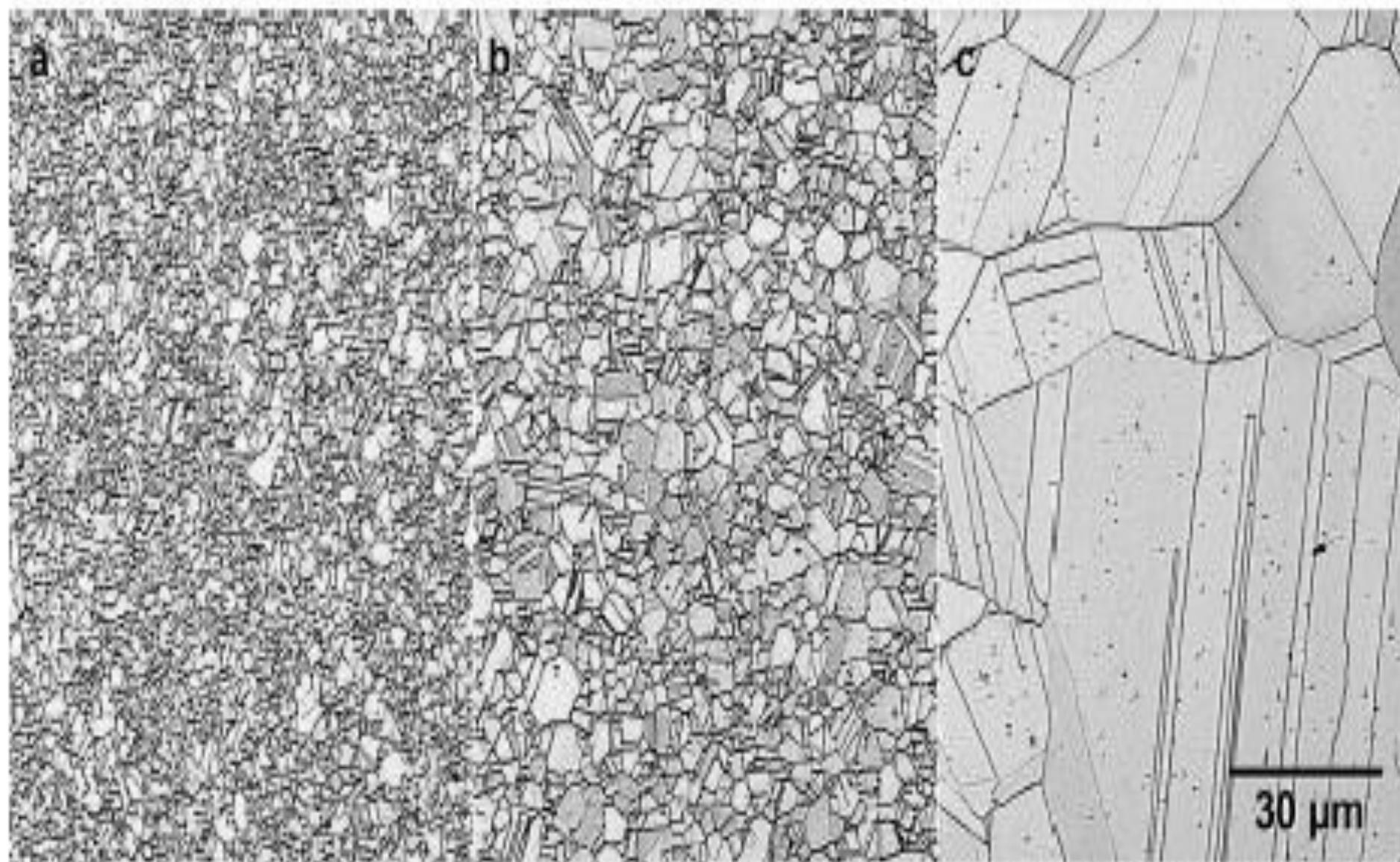
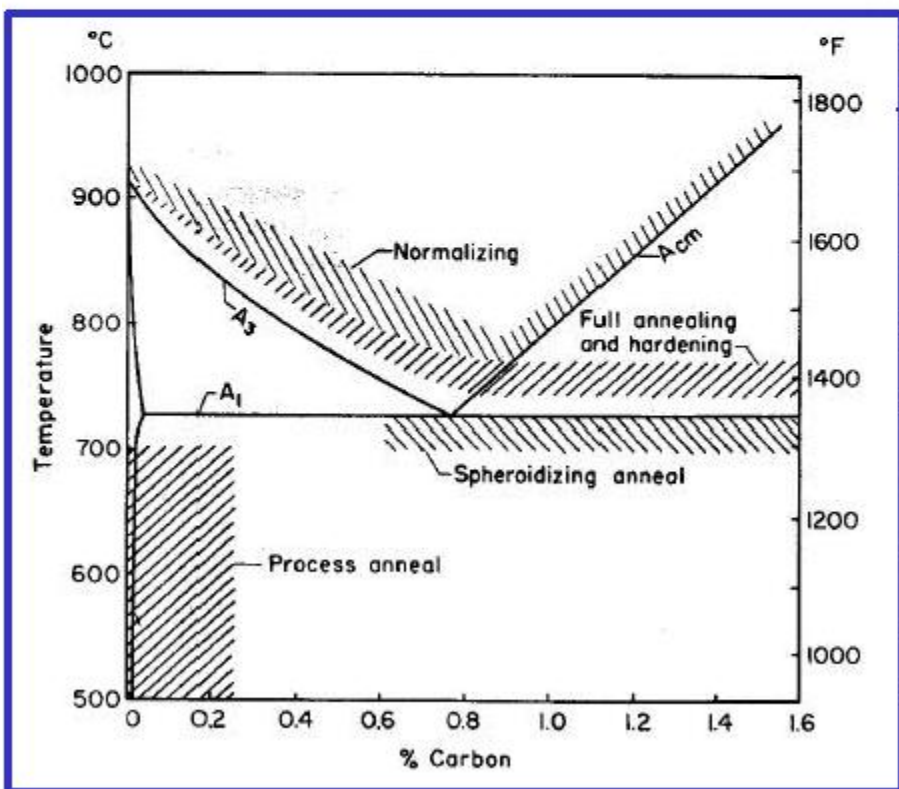
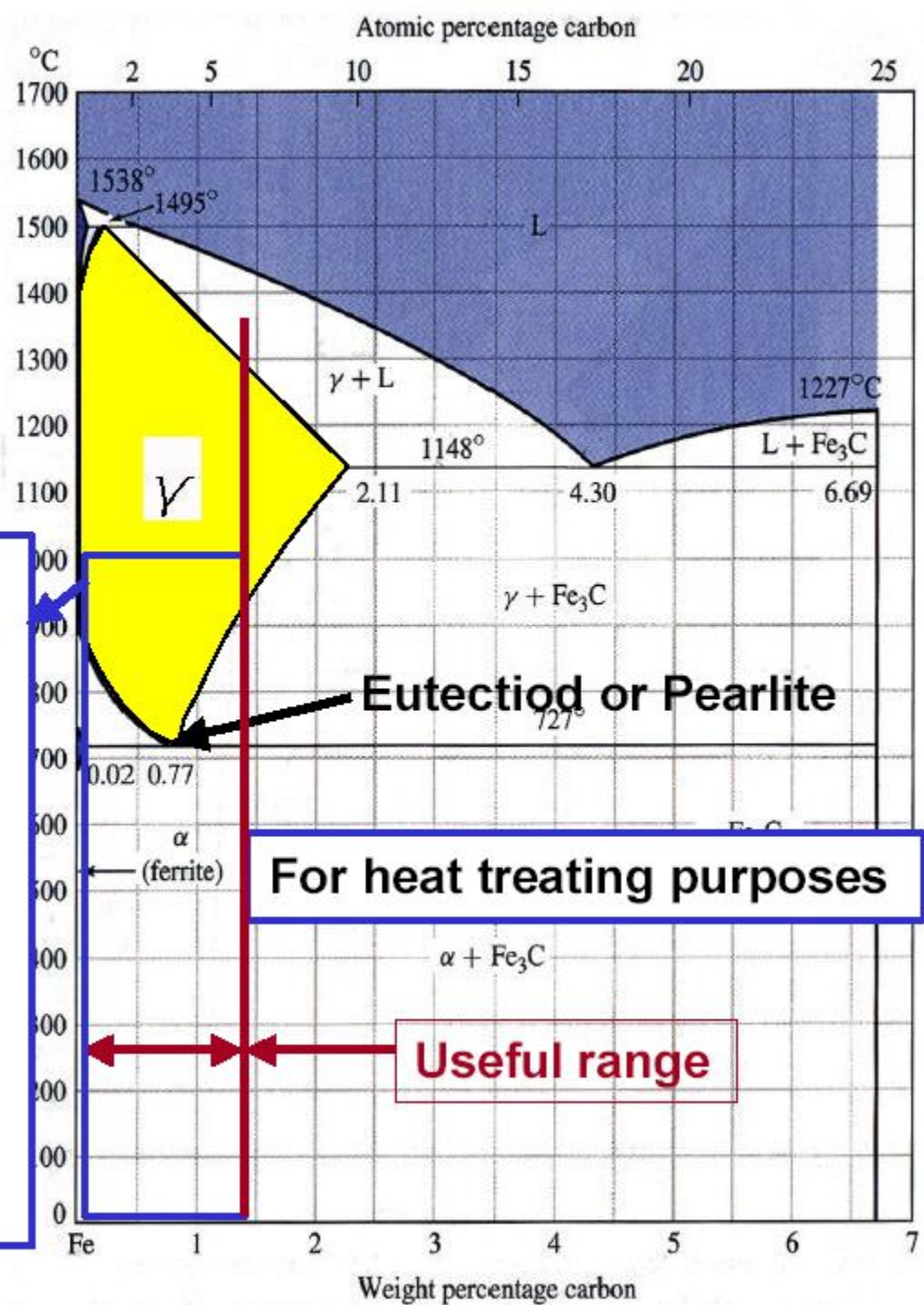
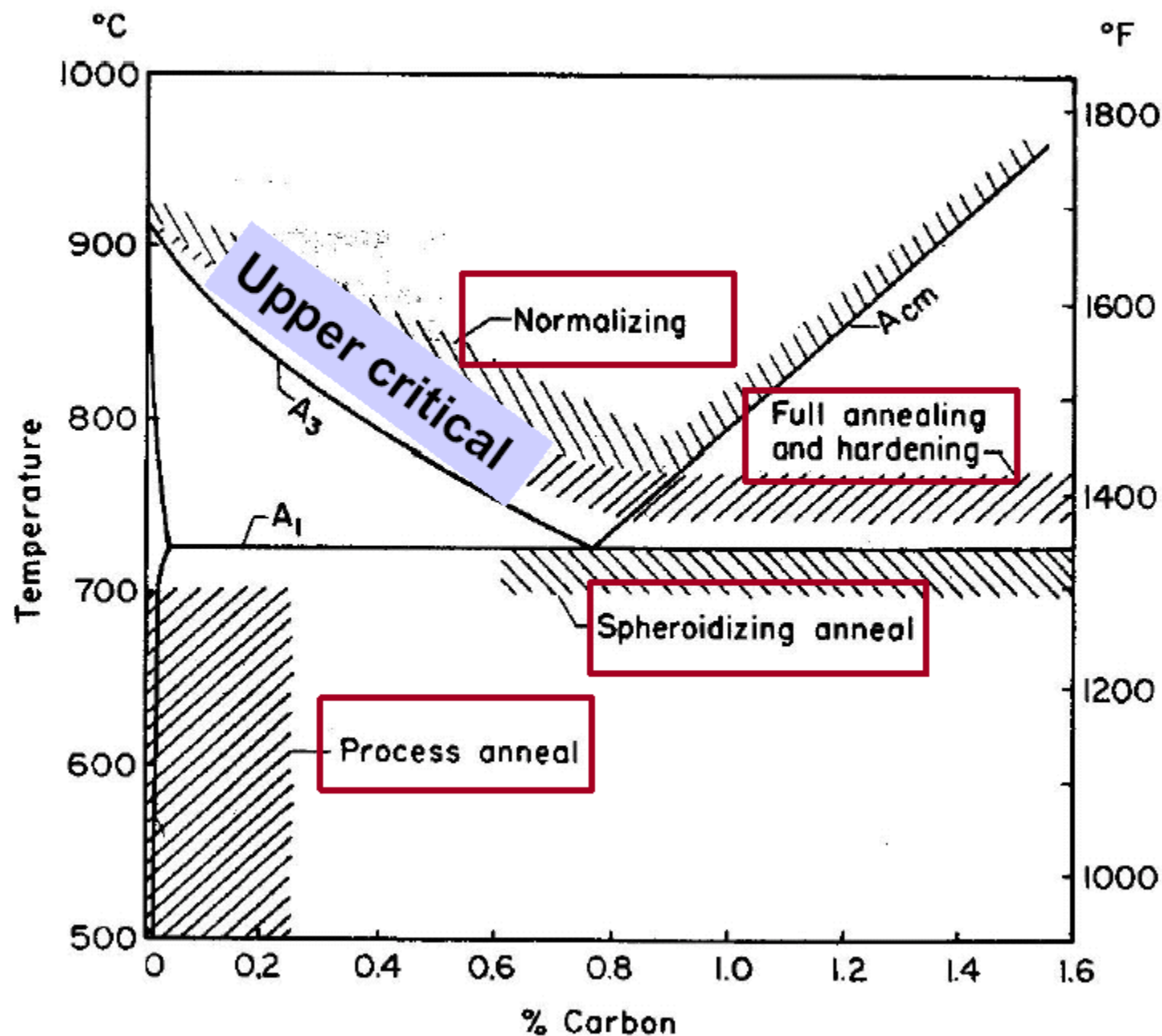


Figure 1 Microstructure of C26000 alloy after annealing: a) 1 hour at 450°C, b) 1 hour at 550°C, c) 2 hours at 750°C.

Iron Carbon Diagram



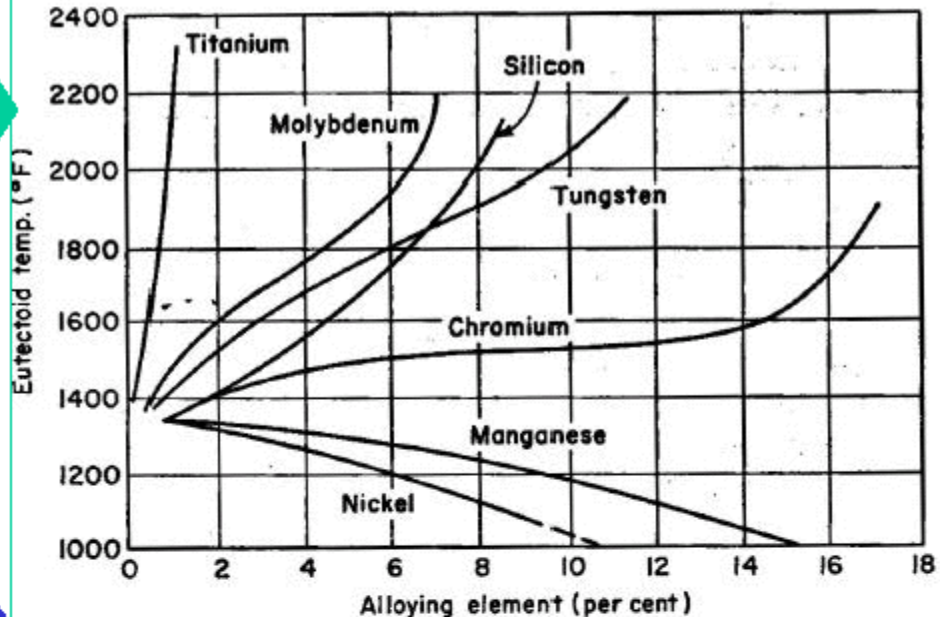
Heat treating temperature ranges for plain carbon ste



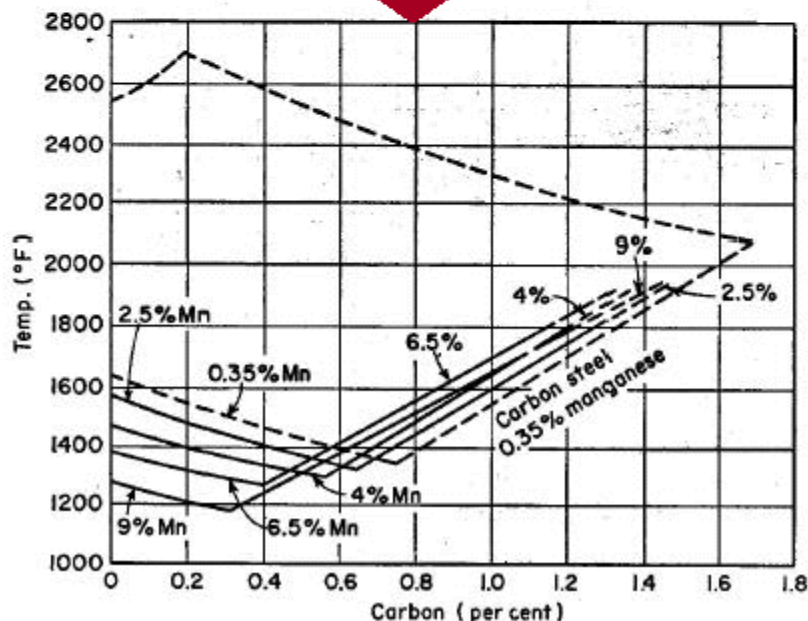
Alloying has an effect upon the Eutectoid Temperature

and upon the carbon content

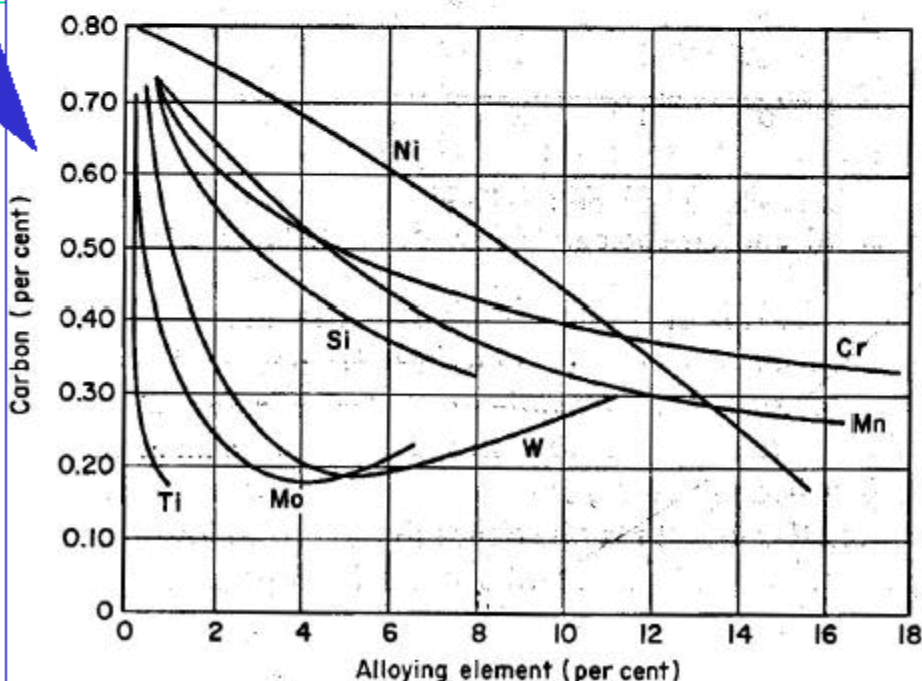
and upon the size of the austenitic zone



Effect of alloying elements in steel on the eutectoid temperature

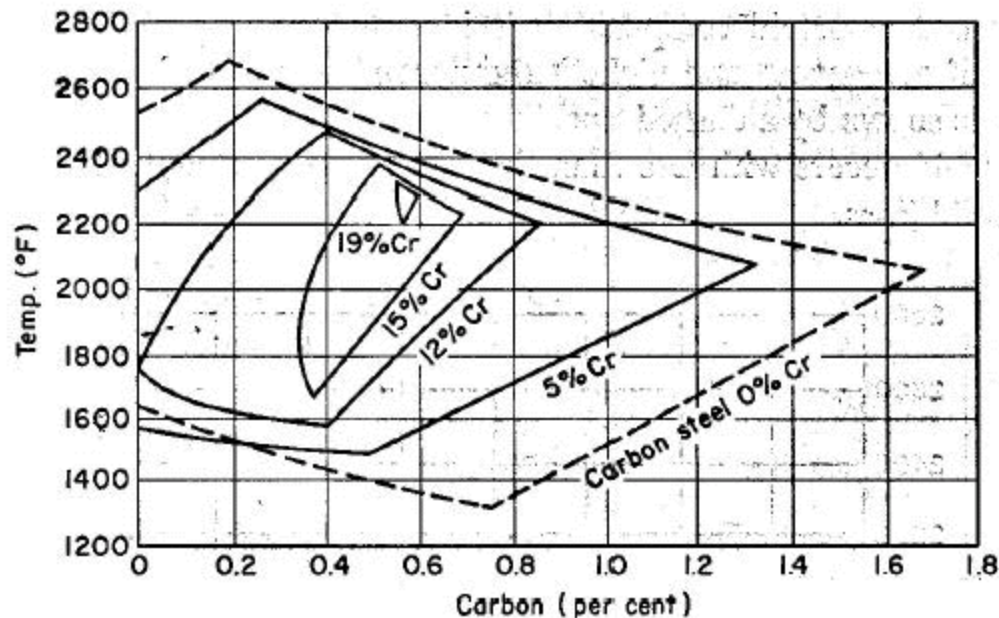


Effect of manganese on the austenite phase region.

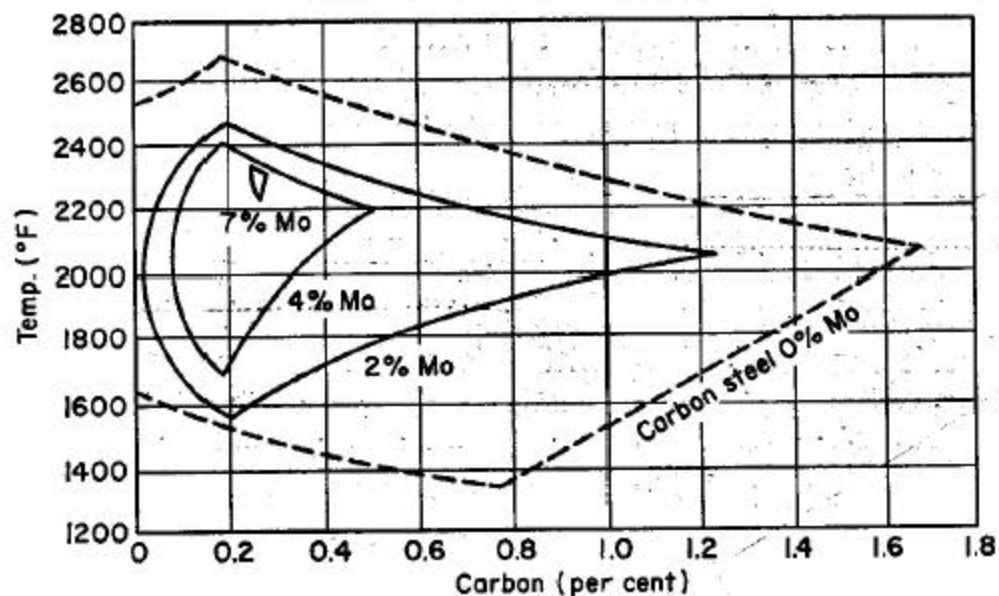


Effect of elements on the carbon content of the eutectoid.

Two Alloys which are used for either increasing hardenability or corrosion resistance or both, affect the austenitic zone as shown



Effect of chromium on the austenite phase region. (After Bain, *Alloying Elements in Steel*)



Effect of molybdenum on the austenite phase region. (After Bain, *Alloying Elements in Steel*)

TEMPLADO

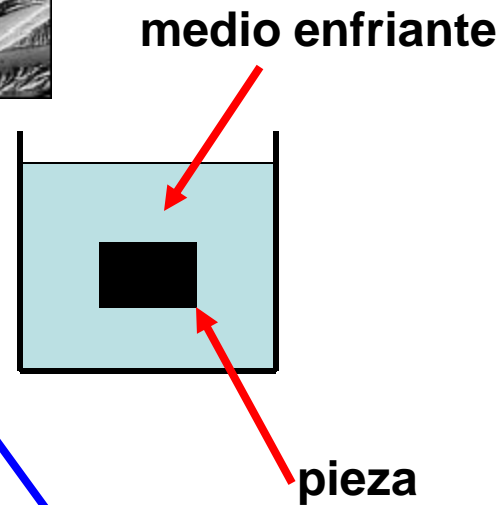
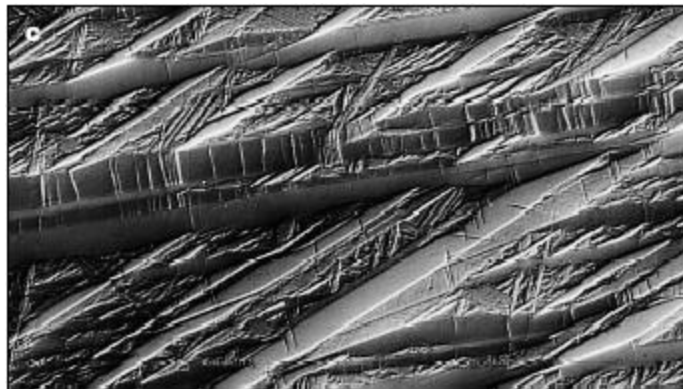
- **Consiste en calentar la pieza de acero a temperatura de austenita+50⁰C y después enfriarlo violentamente dentro de algun medio enfriante para obtener martensita:**
 1. Corriente de aire
 2. Agua
 3. Salmuera
 4. Aceite
 5. Metales fundidos

$>723^{\circ}\text{C}$

$\Theta^{\circ}\text{C}$

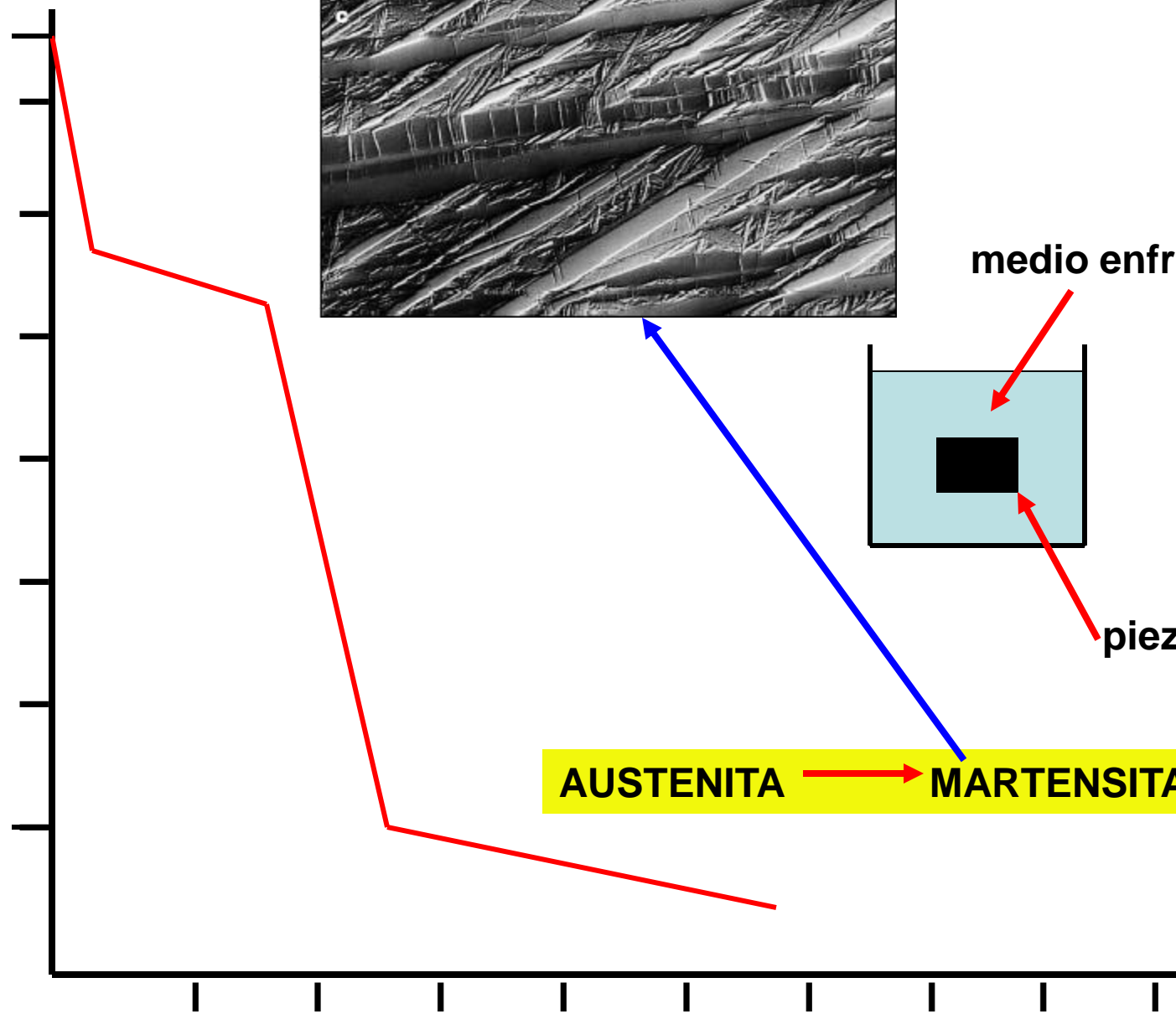
100°C

tiempo en seg



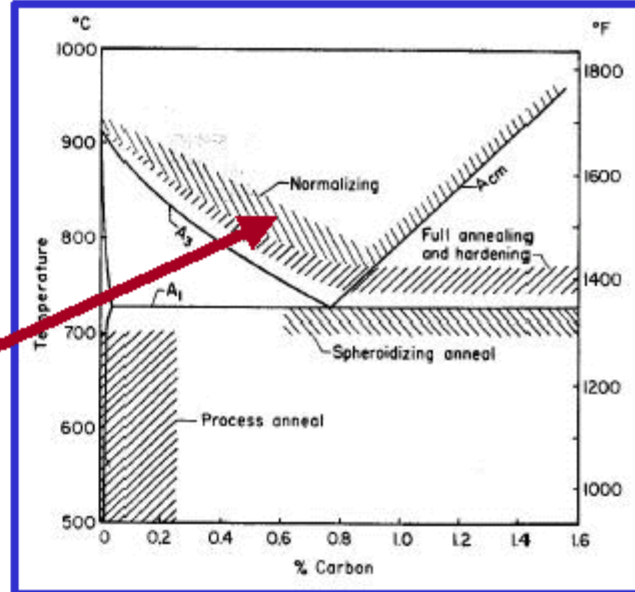
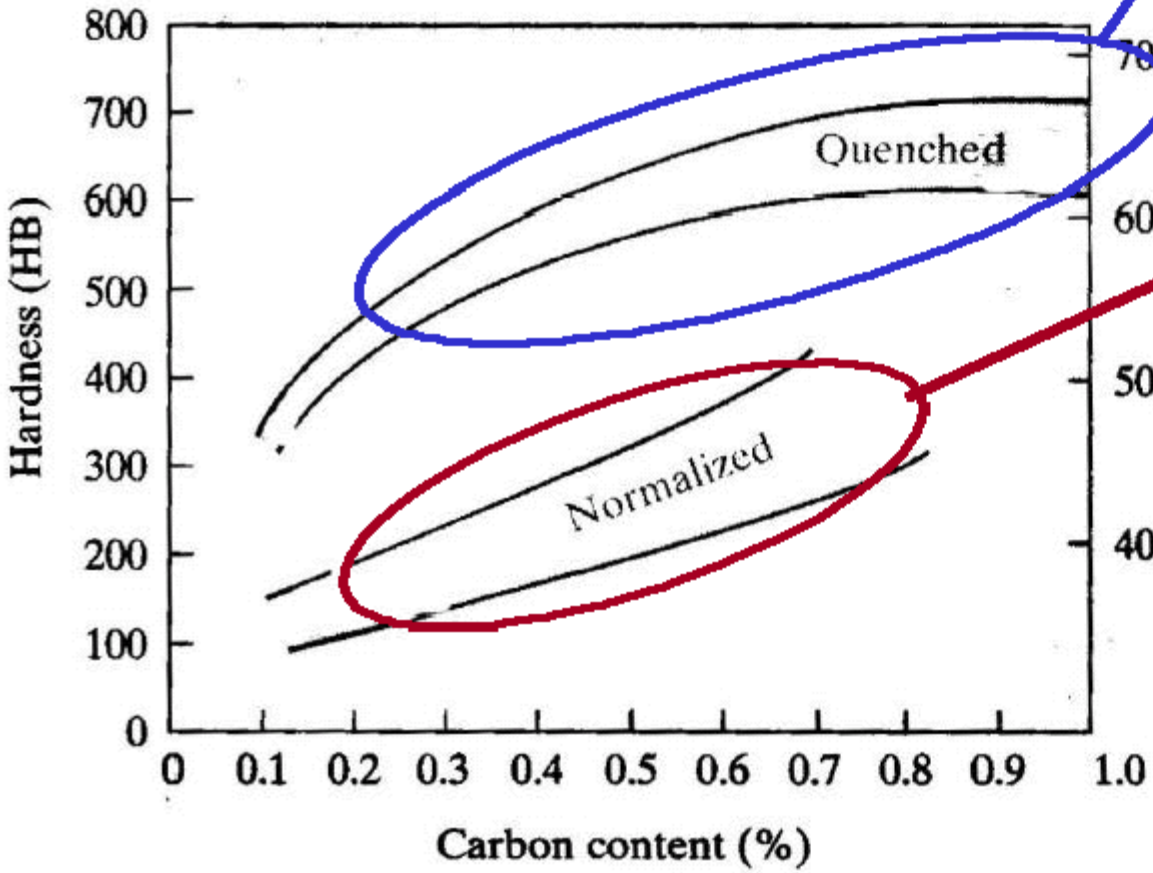
AUSTENITA

MARTENSITA



The rate of cooling can also have a large effect upon the microscopic structure of the steel

martensitic structure



Hardness of steels in the quenched and normalized conditions, as a function of carbon content.

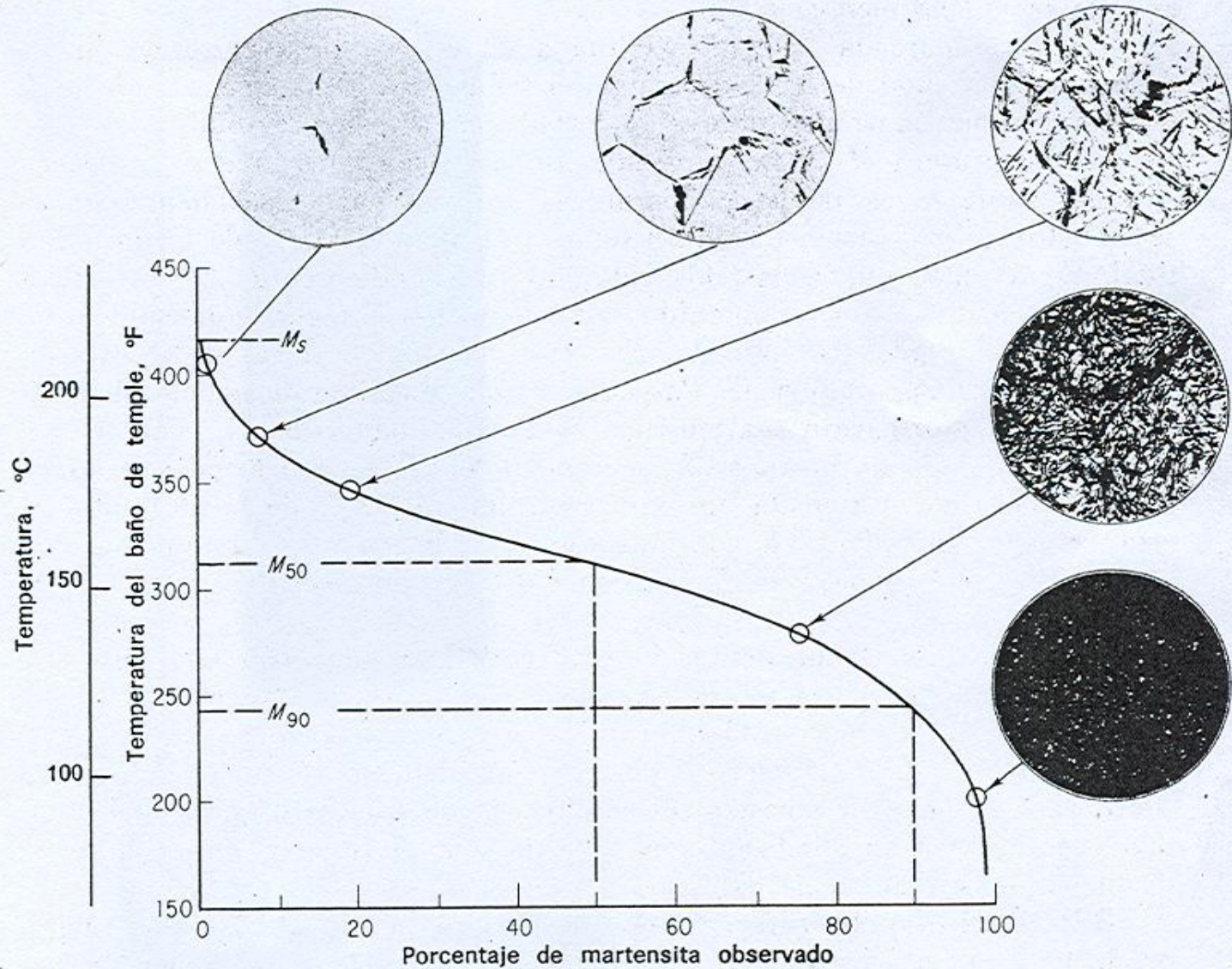
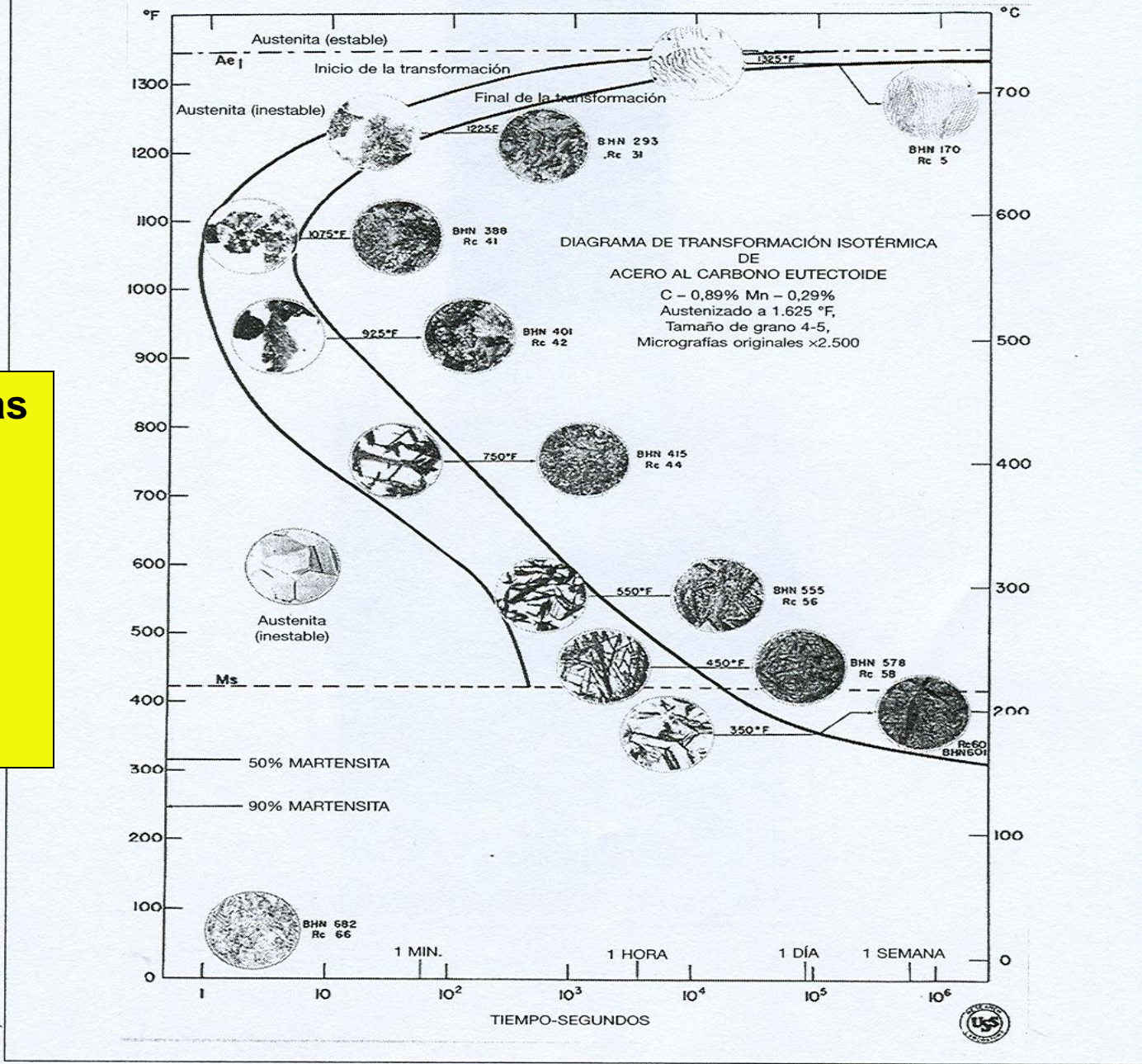


Fig. 8.15 Avance de la transformación de la austenita en martensita. Las microestructuras $\times 500$. (Tomado del "Atlas of Isothermal Transformation Diagrams", U. S. Steel Corporation.)

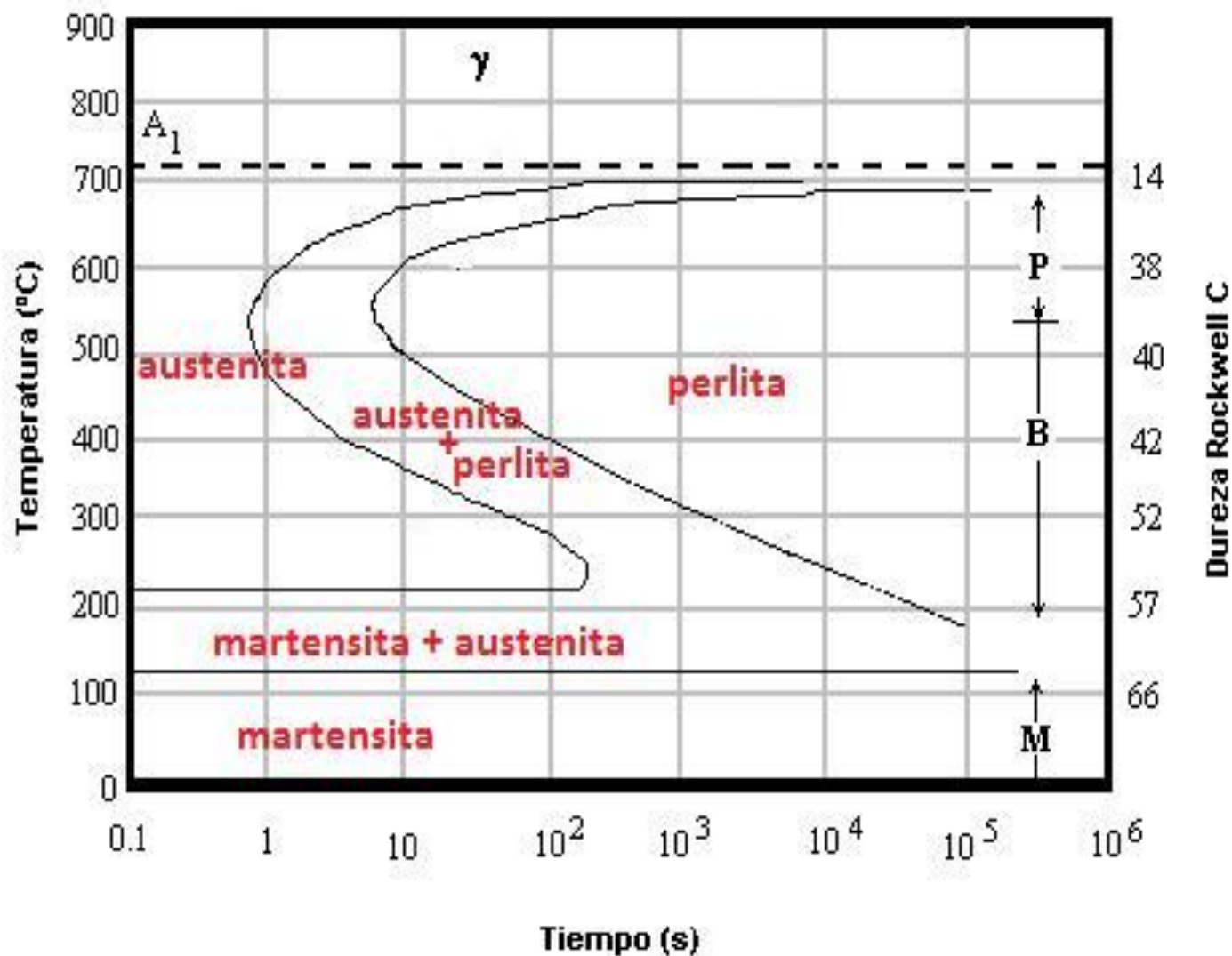
Diferentes estructuras que se pueden dar como resultado de la velocidad de enfriamiento en el proceso de templado

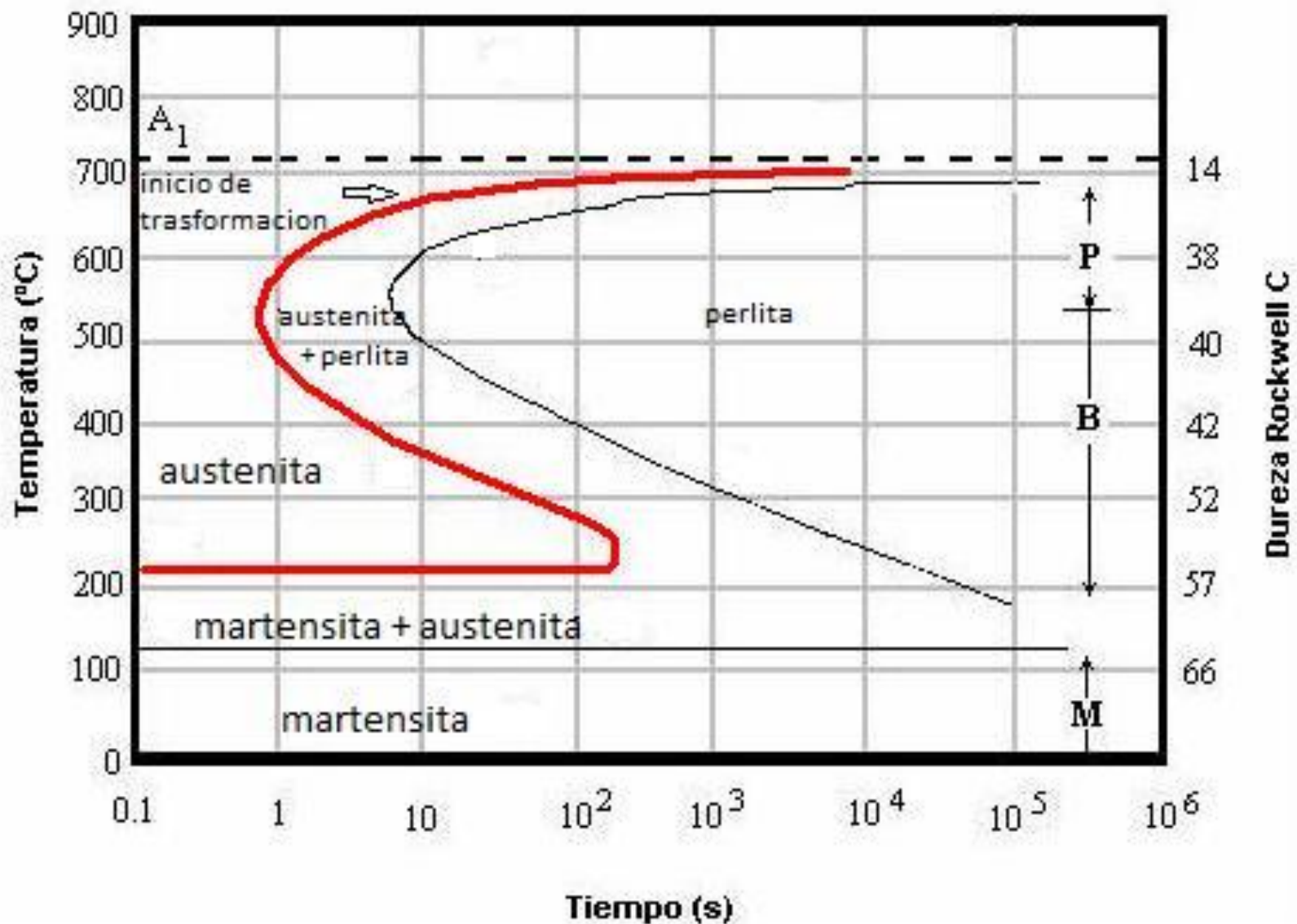


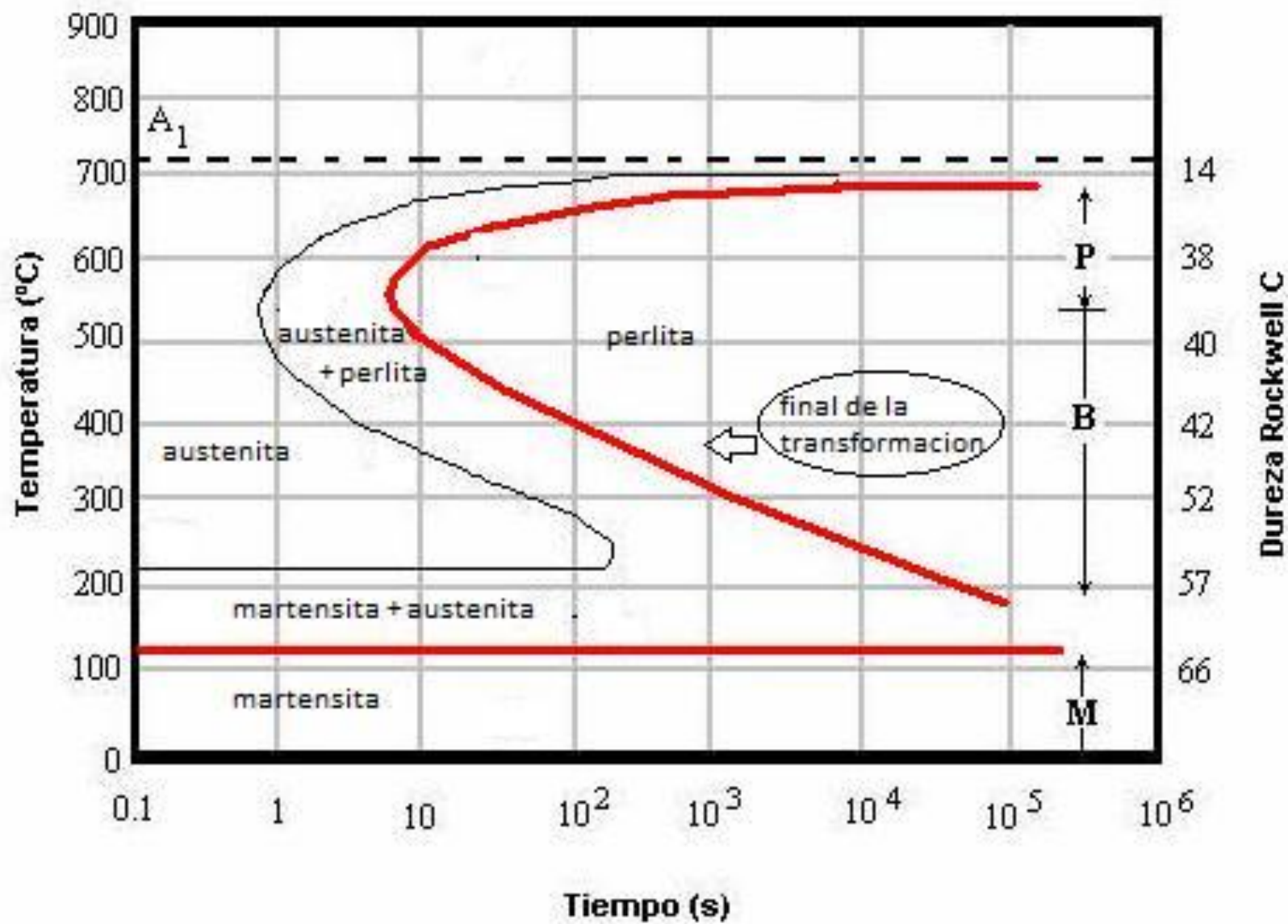
(Cortesía de United States Steel Corp., Research Laboratory.)

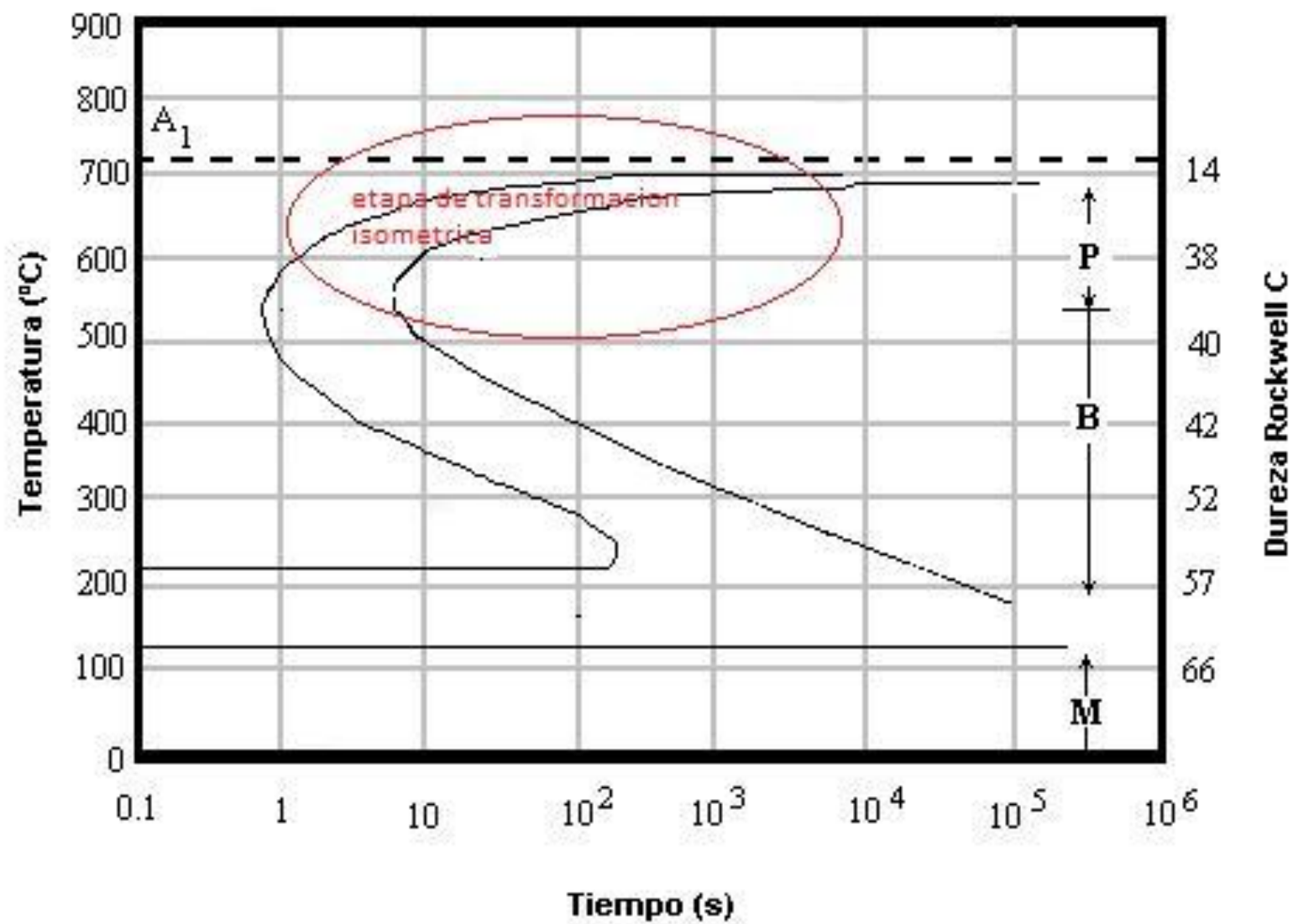
FIGURA 9.23. Diagrama de transformación isotérmica de un acero eutectoide.

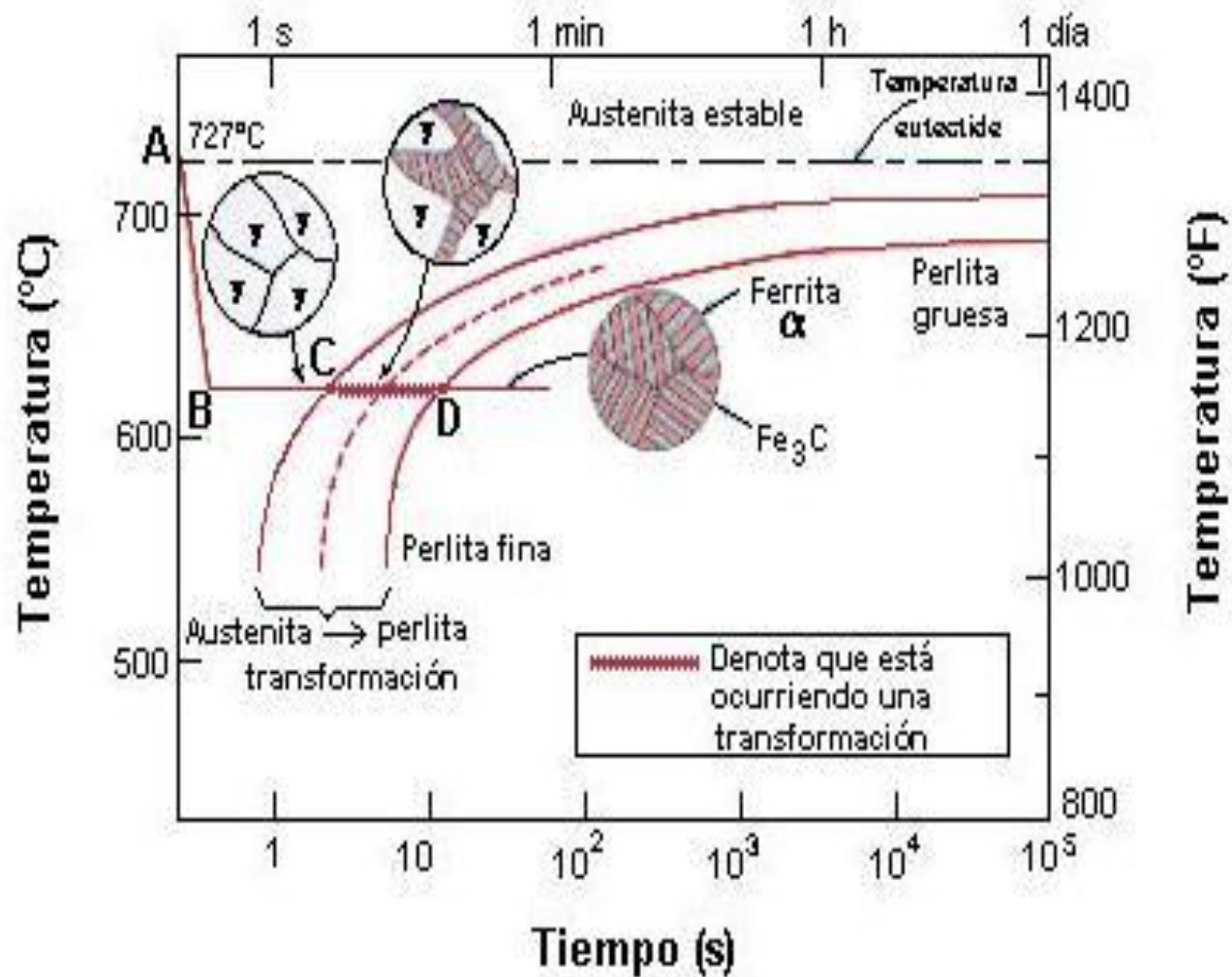
Algunos ejemplos de curvas de enfriamiento

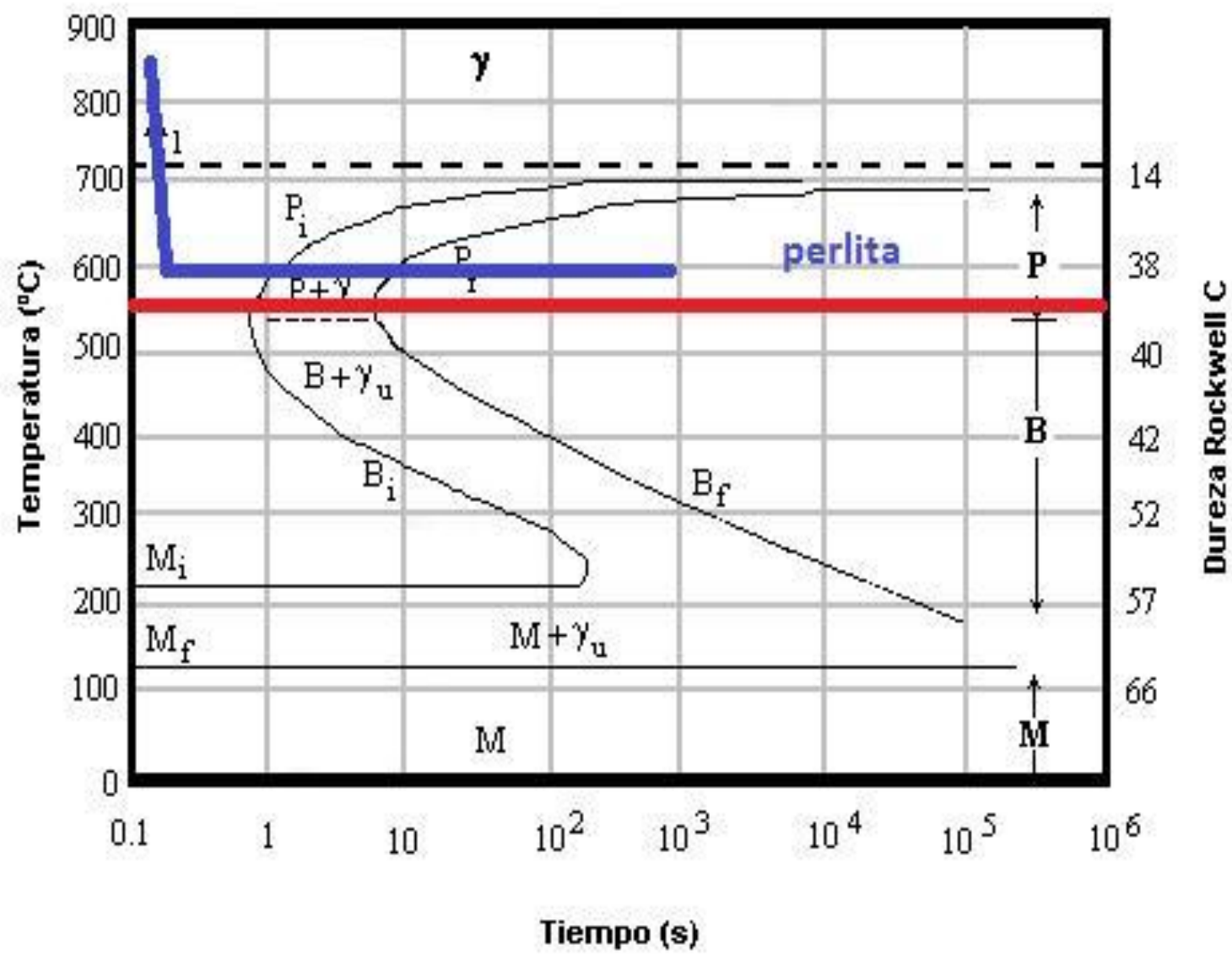


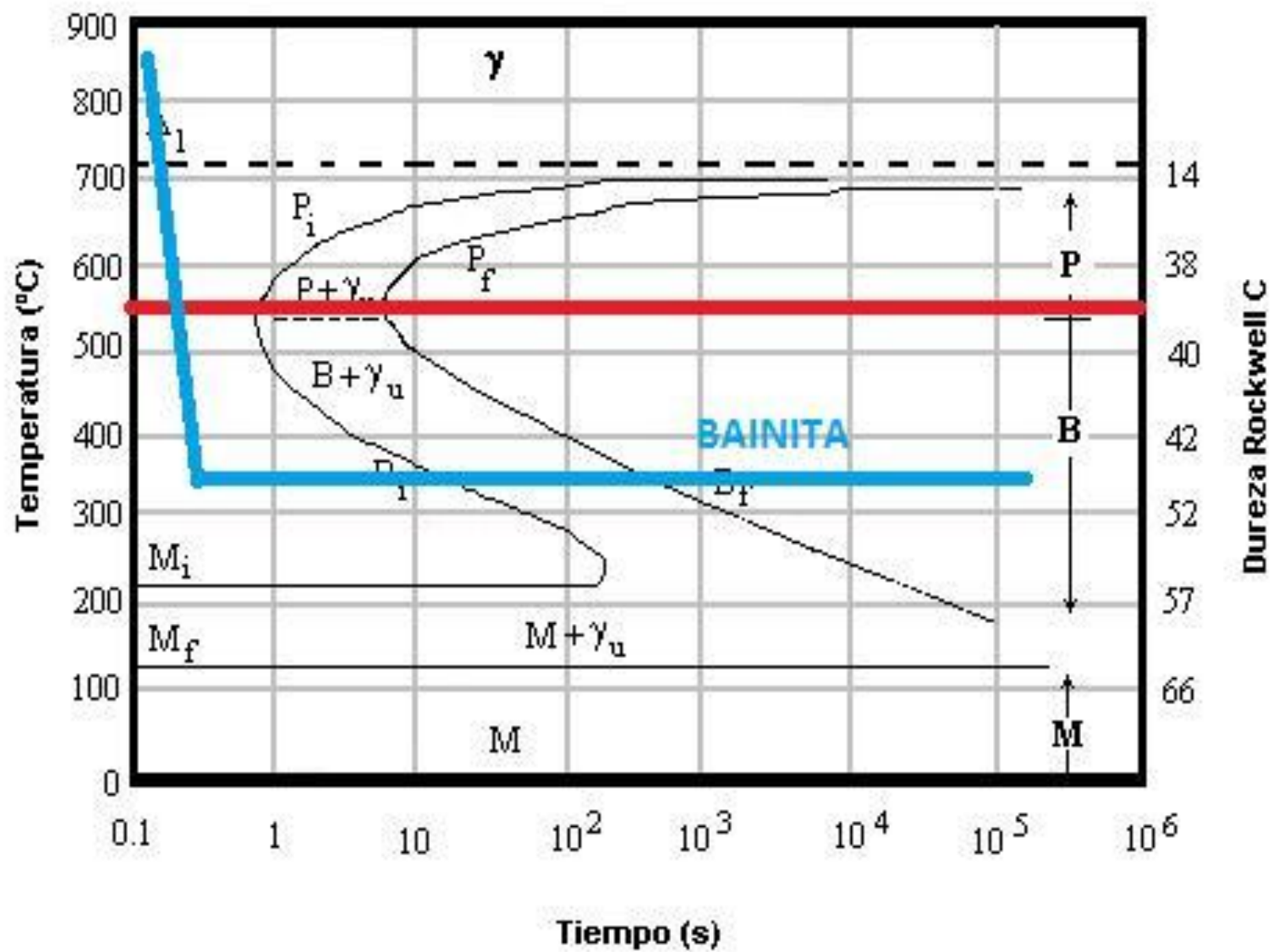


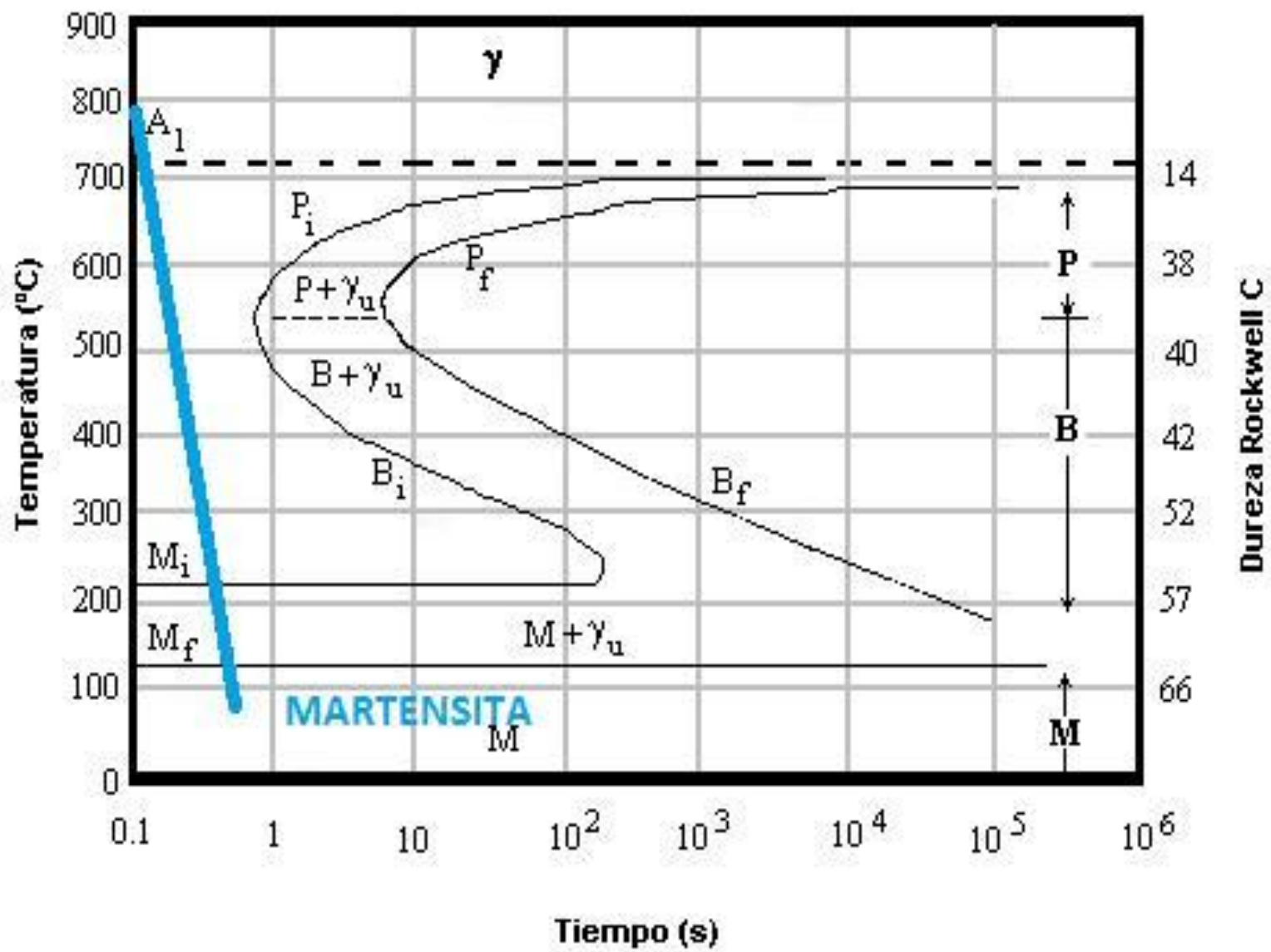












Nomenclatura de los aceros

- Existen diferentes clases de nomenclaturas.
- En Estados Unidos existen los sistemas de cuatro dígitos AISI y SAE.
- En AISI y SAE el método es numérico, los dos primeros números indican el tipo de aleación.
- Los dos últimos números indican el porcentaje de carbono.

1020

10 20

bajo contenido de C

0.20% de C

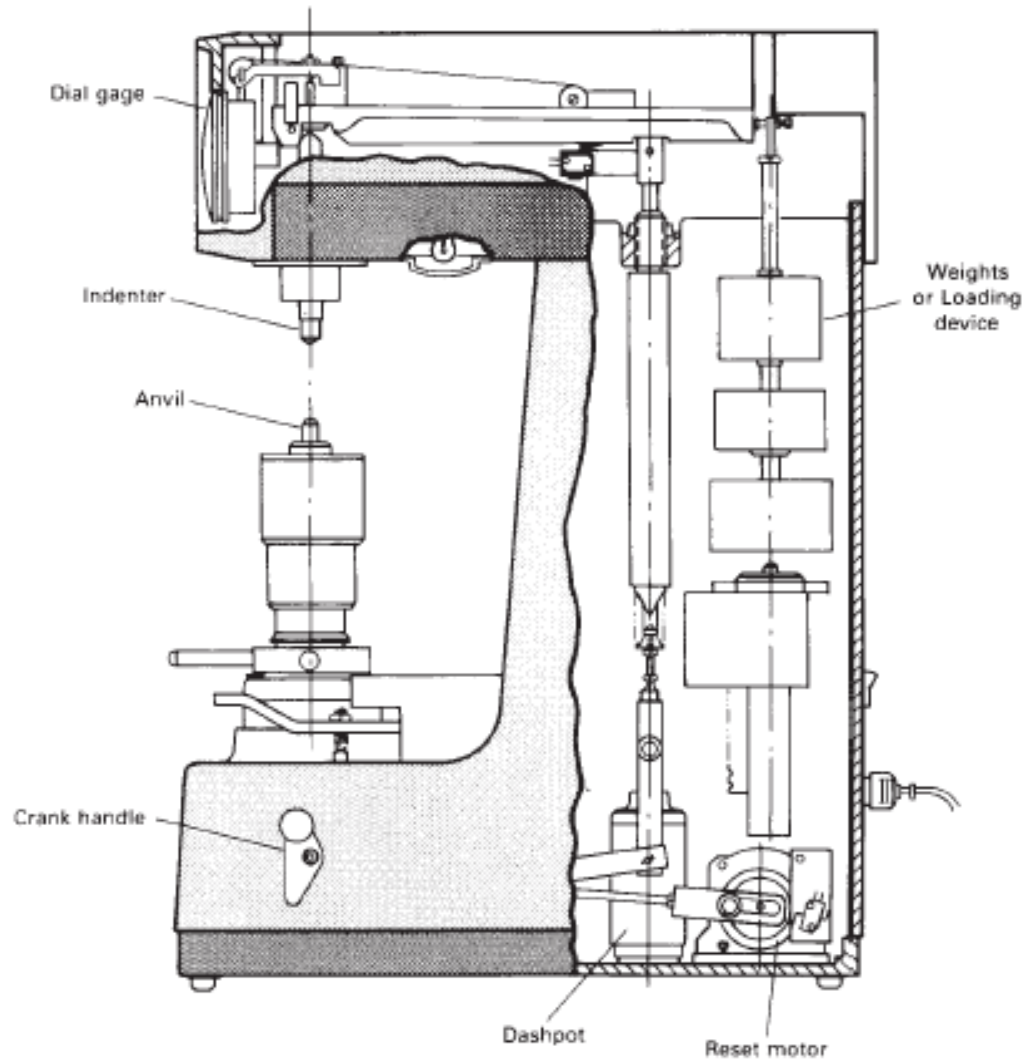
Examples of steels:

- 10xx Plain carbon
- 11xx Free-cutting carbon
- 13xx Manganese (1.75%)
- 2xxx Nickel (3.50 or 5.00%)
- 31xx Nickel (1.25%), chromium (0.65 or 0.80%)
- 33xx Nickel (3.50%), chromium (1.55%)
- 40xx Molybdenum (0.25%)
- 41xx Molybdenum (0.20%), chromium (0.95%)
- 43xx Molybdenum (0.25%), chromium (0.50 or 0.80%), nickel (1.80%)
- 46xx Molybdenum (0.25%), nickel (1.80%)
- 48xx Molybdenum (0.25%), nickel (3.50%)

xx indicates the carbon content

- 5xxx Chromium
- 5xxxx Chromium
- 61xx Chromium (0.80 or 0.95%), vanadium (0.10 or 0.15%)
- 86xx Nickel (0.55%), chromium (0.50%), molybdenum (0.20%)
- 87xx Nickel (0.55%), chromium (0.50%), molybdenum (0.25%)
- 92xx Silicon (2.00%), manganese (0.85%)
- 93xx Nickel (3.25%), chromium (1.20%), molybdenum (0.12%)
- 94xx Nickel (0.45%), chromium (0.40%), molybdenum (0.12%)
- 97xx Nickel (0.55%), chromium (0.17%), molybdenum (0.20%)
- 98xx Nickel (1.00%), chromium (0.80%), molybdenum (0.25%)

Durómetro



┆ Schematic of Rockwell testing machine

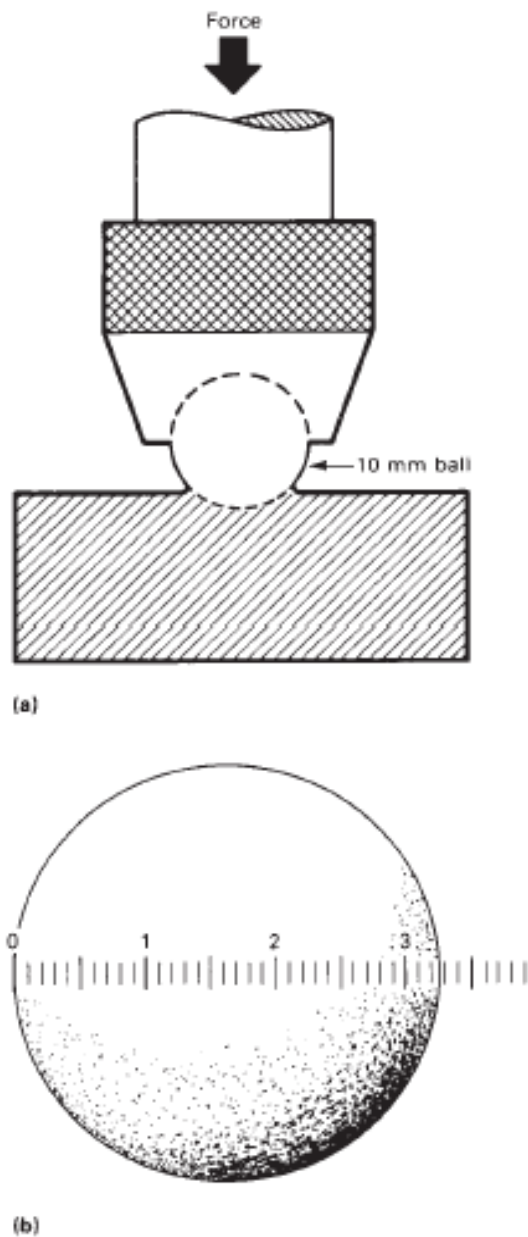


Fig. 12 Brinell indentation process. (a) Schematic of the principle of the Brinell indentation process. (b) Brinell indentation with measuring scale in millimeters

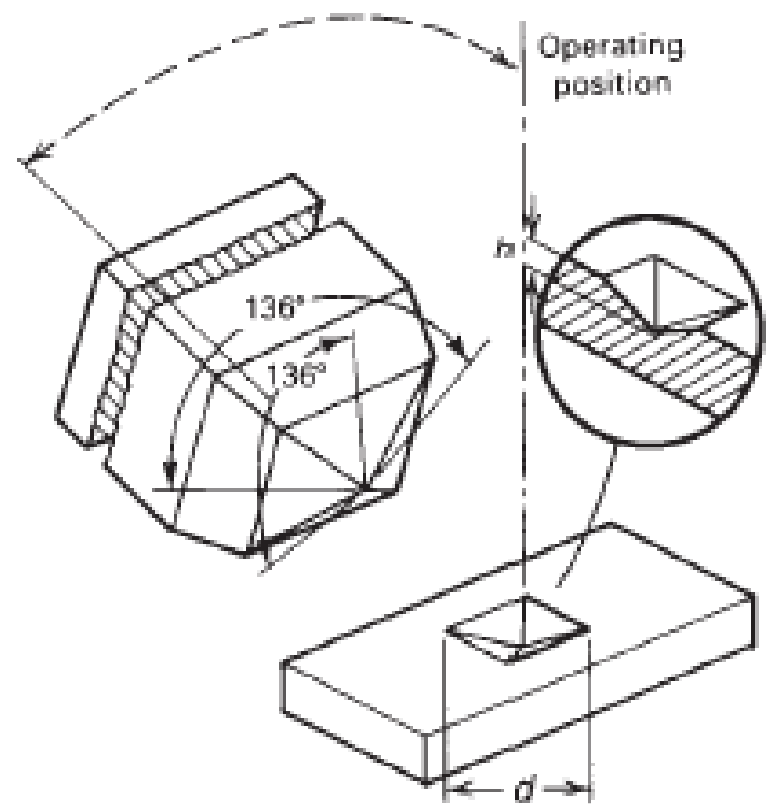


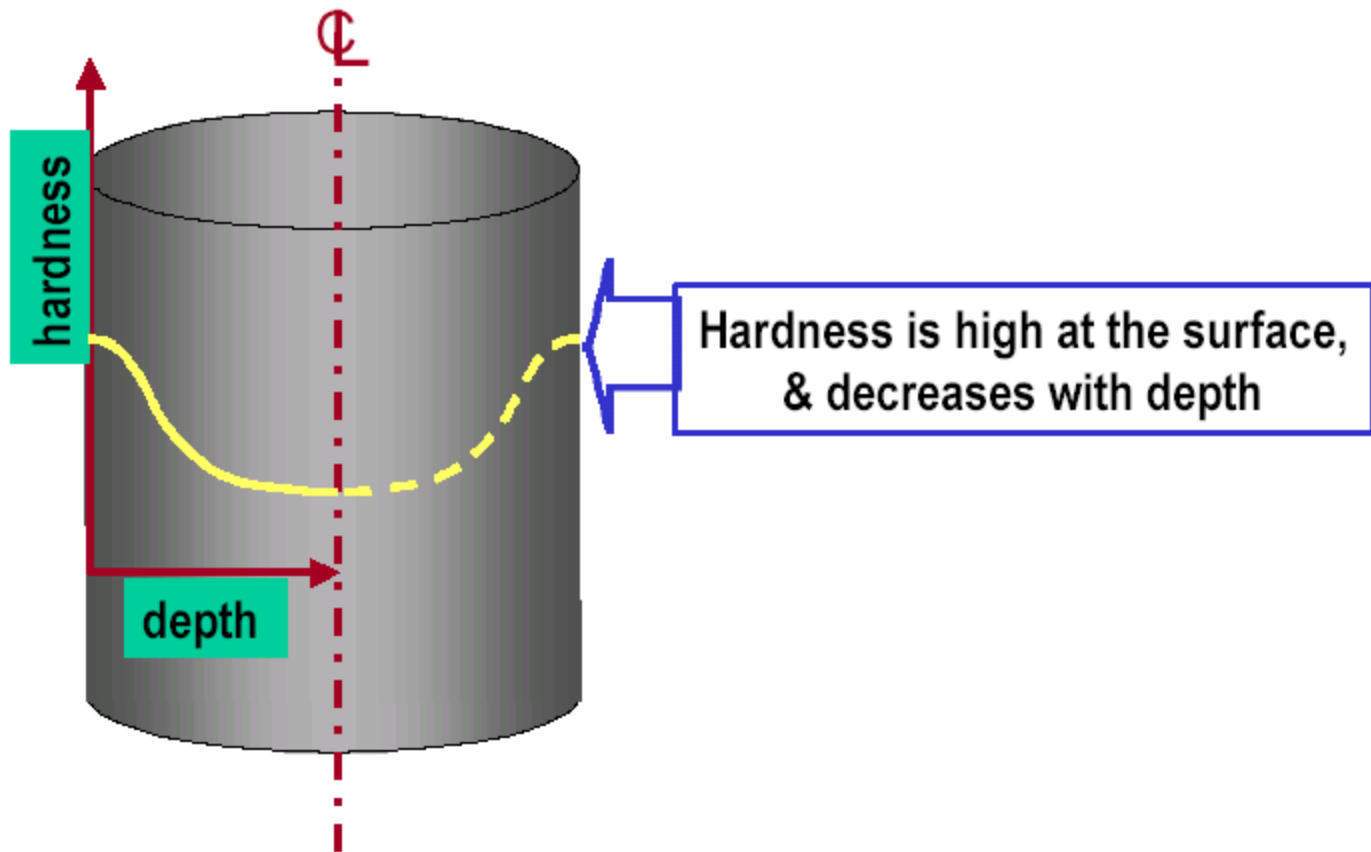
Fig. 21 Diamond pyramid indenter used for the Vickers test and resulting indentation in the workpiece. d , mean diagonal of the indentation in millimeters

templado/templabilidad

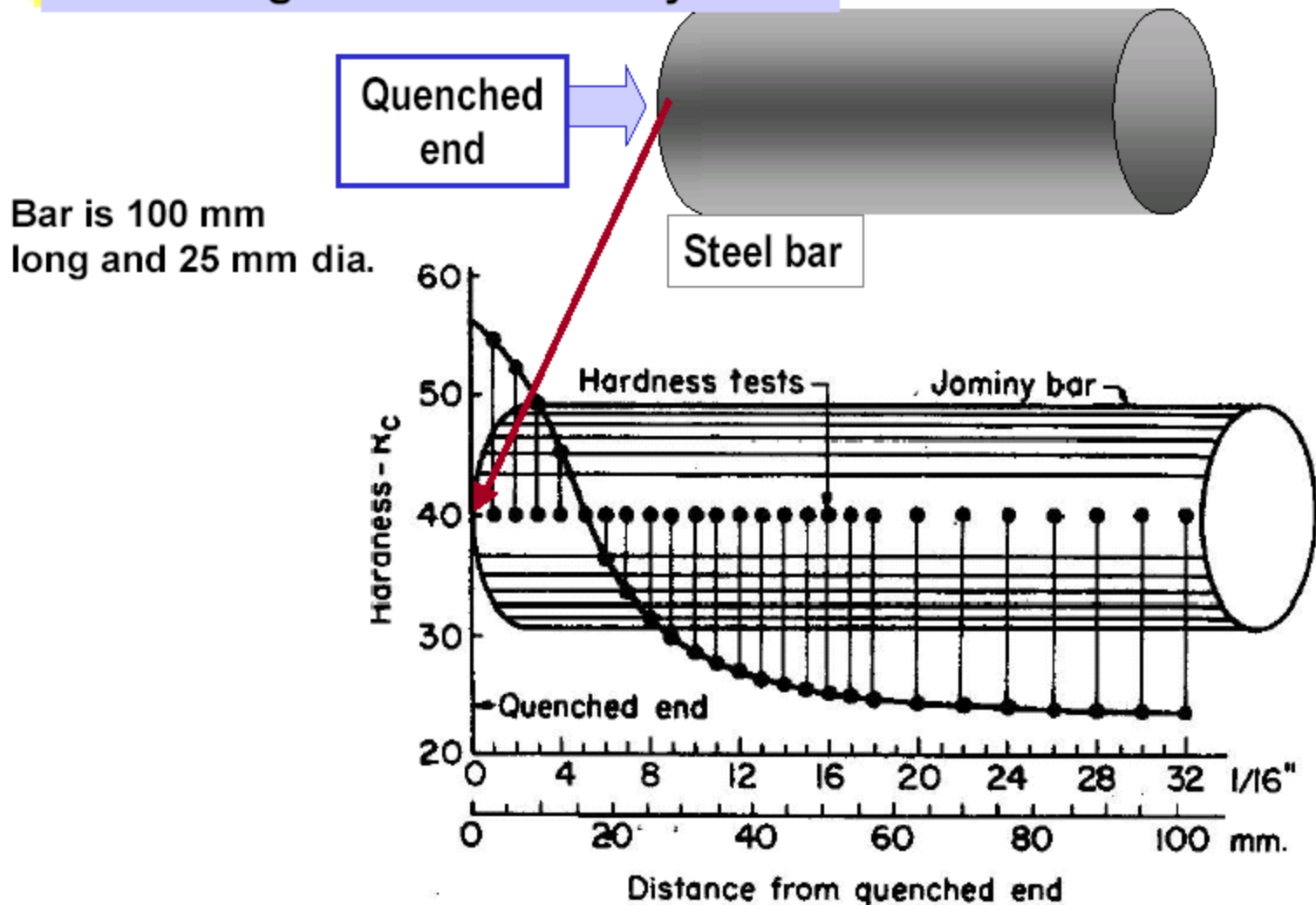
Definición:

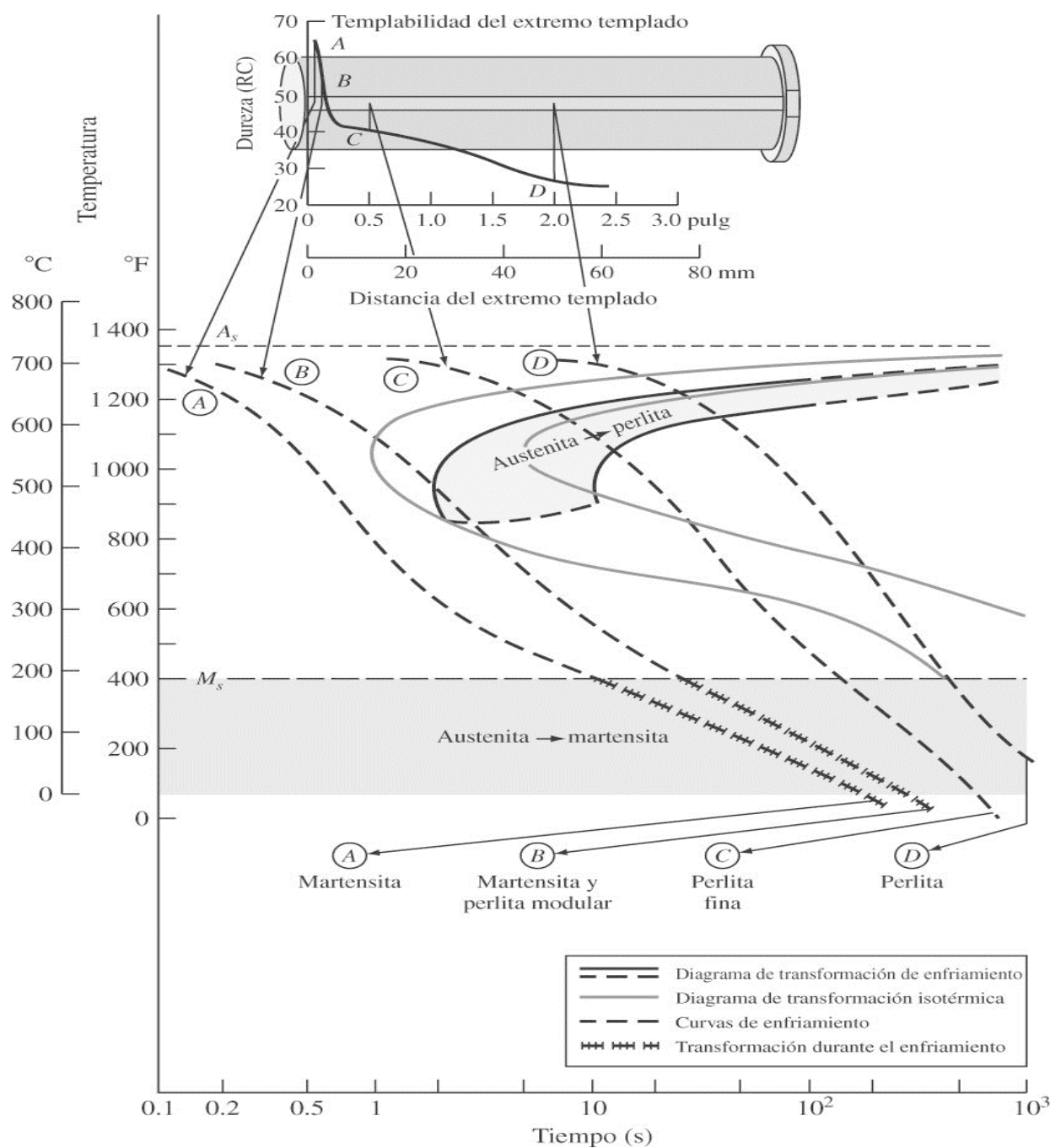
- **Templado:** es una propiedad mecánica que se manifiesta en la resistencia mecánica del acero y esta en función al contenido de carbono.
- **Templabilidad:** mide la profundidad de la dureza alcanzada en el templado, la variación de la dureza esta en función de la velocidad del enfriamiento en algún punto de la pieza.

Hardness and Hardenability



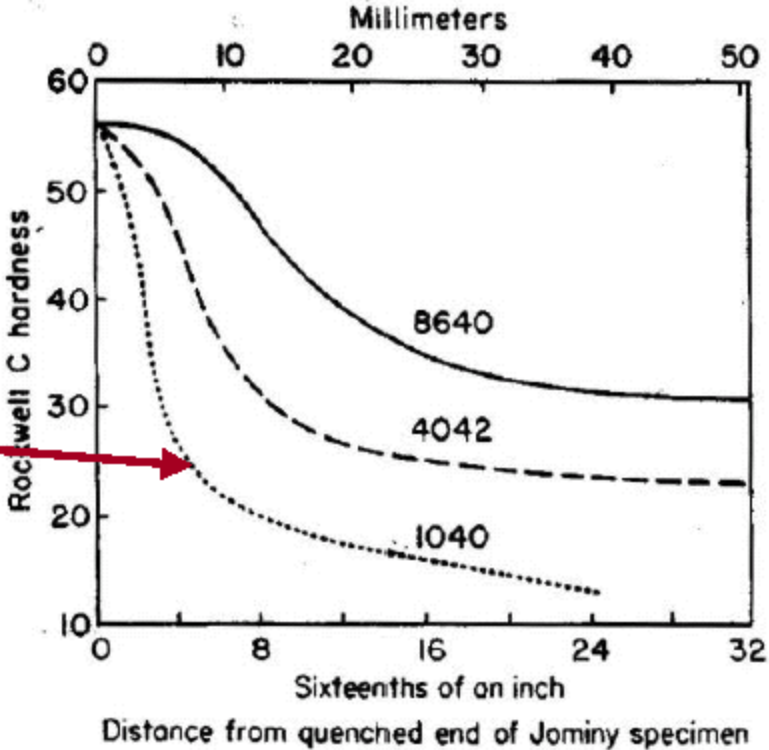
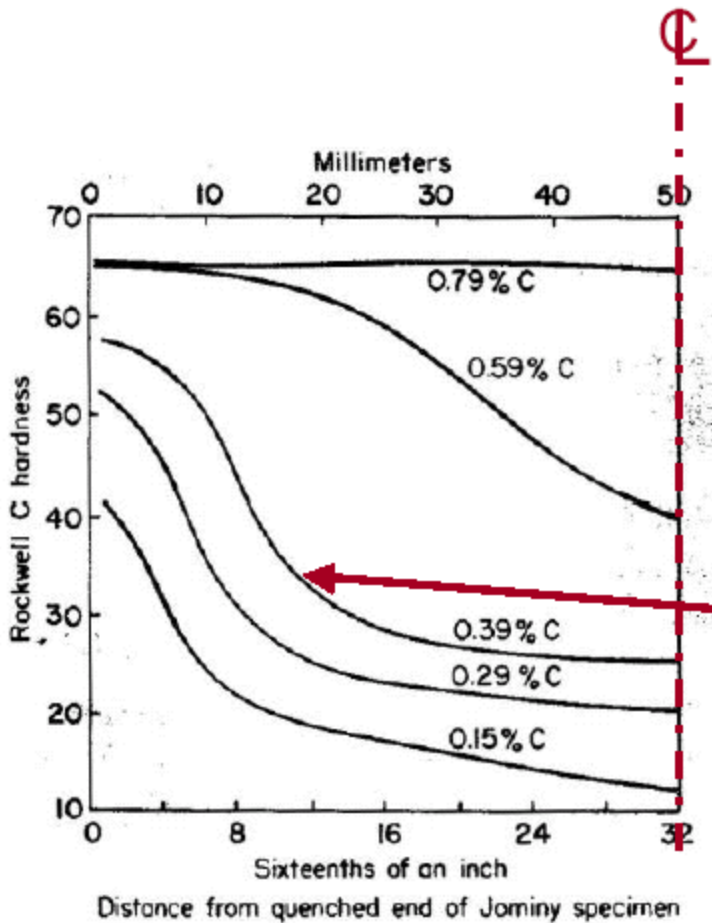
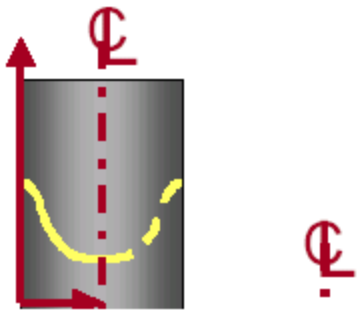
Quenching and Hardenability tests





Correlación del diagrama de transformación por enfriamiento continuo y los datos de la prueba de la capacidad de endurecimiento de extremo templado para acero al carbono eutectoide.

Hardenability can be influenced by alloying content



Induction hardened pinion gear,
macro-etch showing surface
hardened part

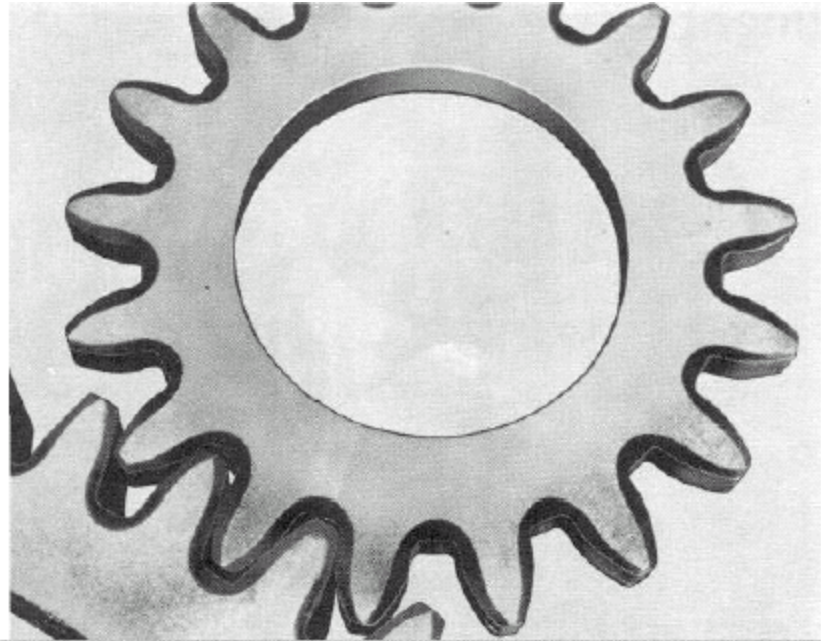


Table I — Chemical Compositions of Typical Gear Steels, wt %

AISI No.	C	Mn	Ni	Cr	Mo
4118	0.18-0.23	0.70-0.90	—	0.40-0.60	0.08-0.15
4320	0.17-0.23	0.45-0.65	1.65-2.00	0.40-0.60	0.20-0.30
4820	0.18-0.23	0.50-0.70	3.25-3.75	—	0.20-0.30
8620	0.18-0.23	0.70-0.90	0.40-0.70	0.40-0.60	0.15-0.25
9310	0.08-0.13	0.45-0.65	3.00-3.50	1.00-1.40	0.08-0.15

Revenido

- El acero se vuelve a calentar a temperatura inferior de la eutectiodes, para así lograr descomponer la martensita y transformarla, según el tiempo de exposición y la temperatura en las estructuras de:

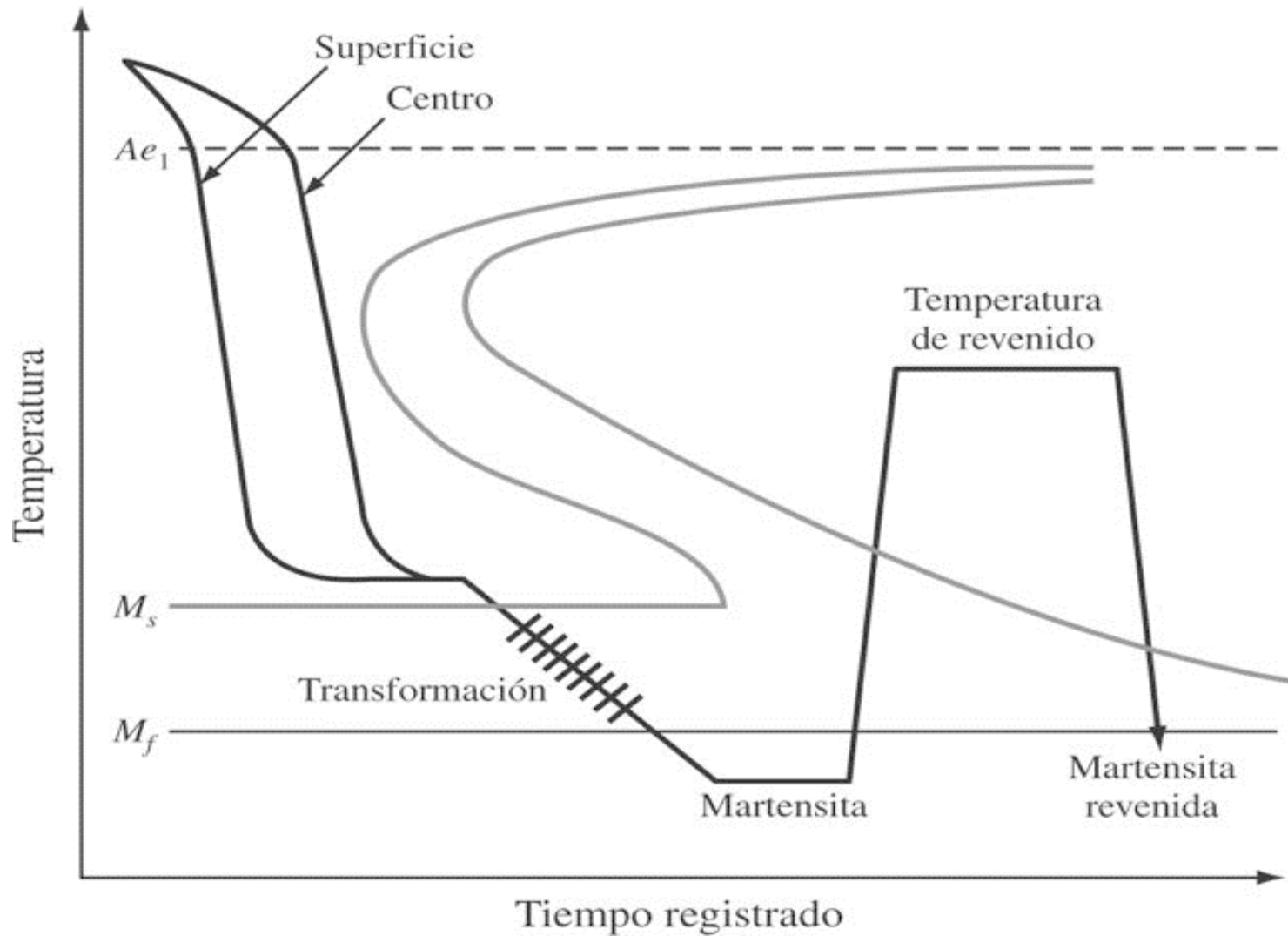
1. Bainita

2. Siderita

3. Sorbita

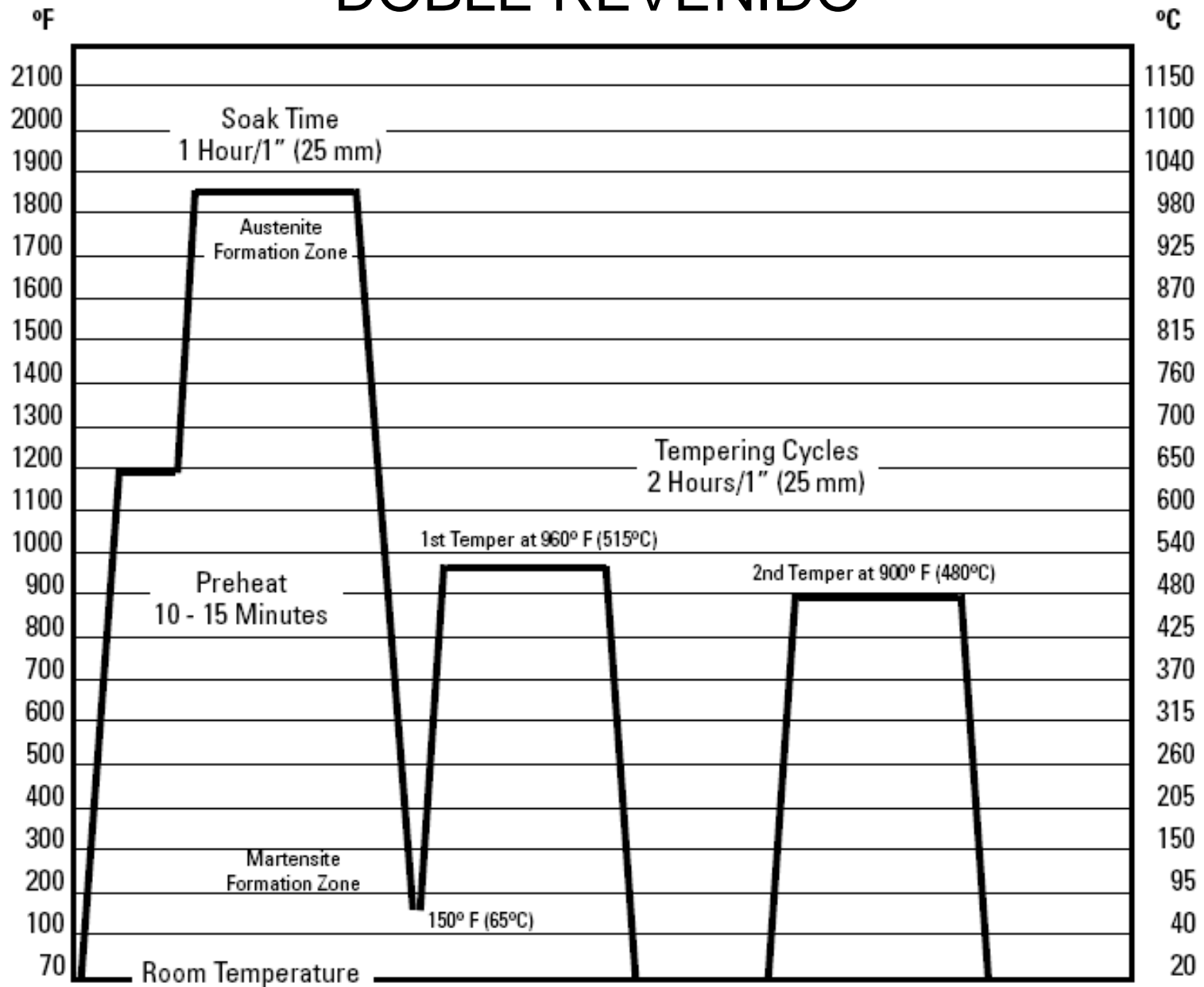
4. troostita





Curva de enfriamiento para el martemperizado (martemplado) sobrepuesta a un diagrama de acero al carbono simple eutectoide. La interrupción del templado reduce los esfuerzos que se crean en el metal durante ese proceso.

DOBLE REVENIDO



TIME →

(Time line is not to scale)

Doble Revenido

- **Proceso:**

- Temple
- 1er Revenido
- Enfriamiento
- 2do Revenido

- **Resultados:**

- 4 pts. Menos
Rockwell
- 25-30% resistencia al
desgaste

Tratamientos mecánicos

Julio Aguilar

Tratamientos mecánicos

- **En frío:**

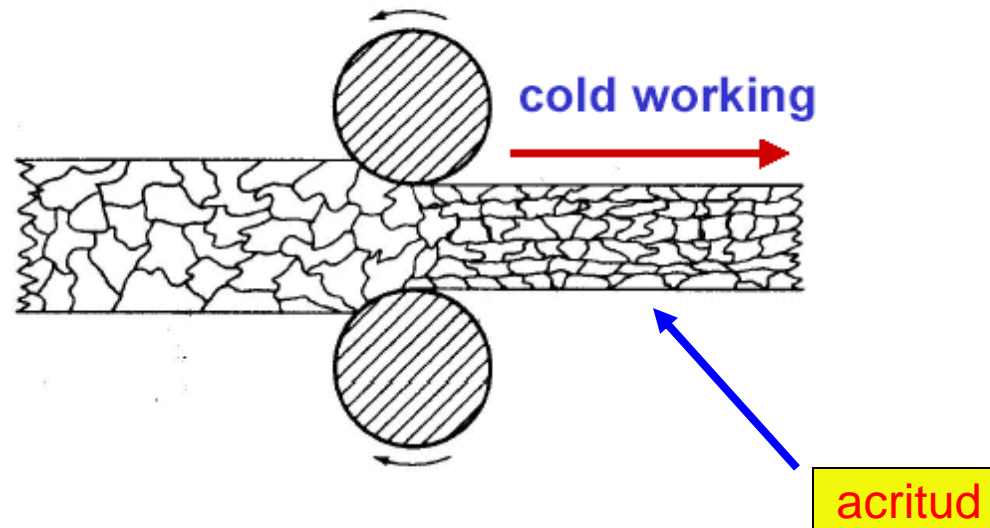
1. Laminado
2. Trefilado
3. Doblado
4. Estampado
5. Troquelado
6. Embutido
7. cortado

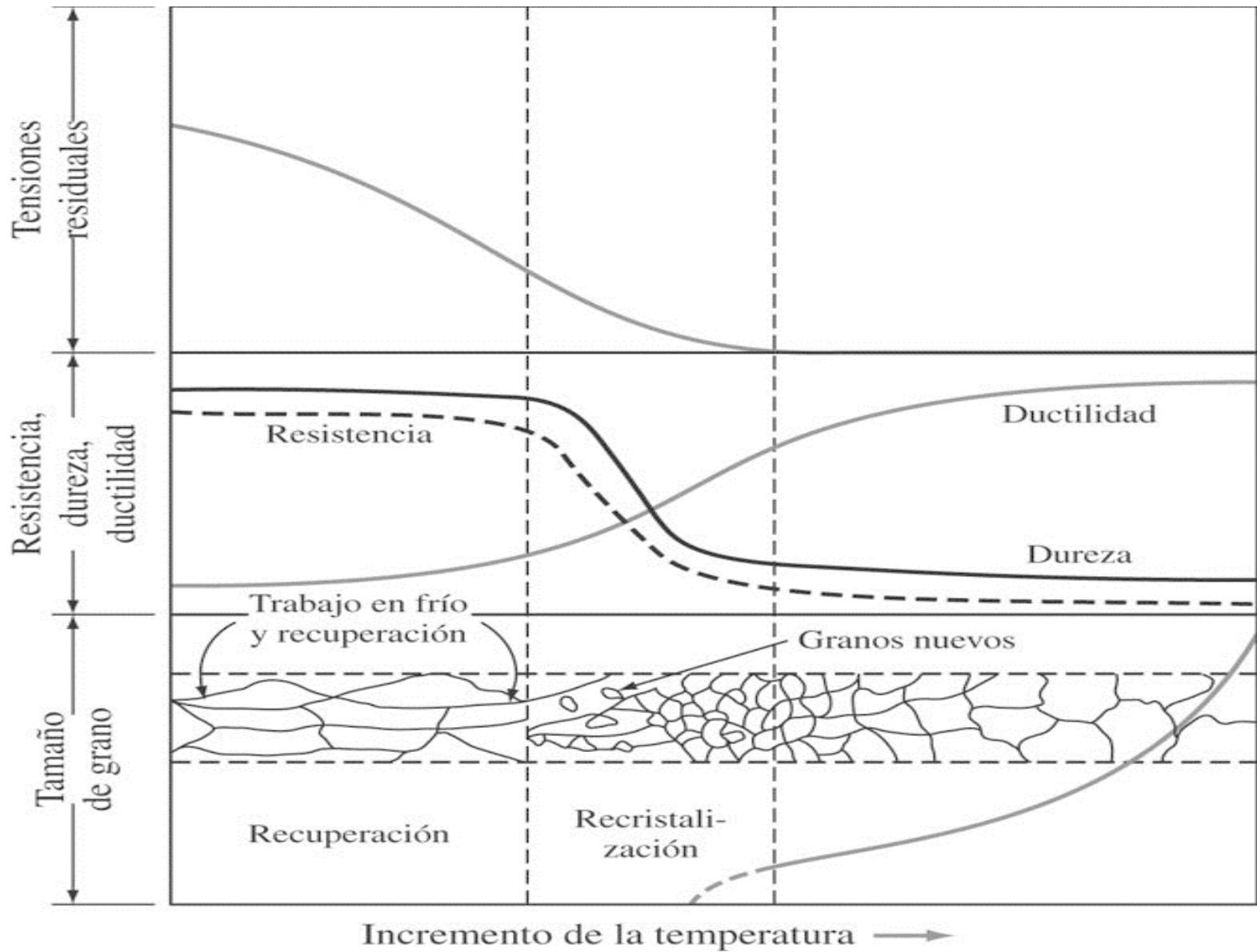
- **En caliente:**

1. Laminado
2. Forjado
3. Extrusión

Tratamientos mecánicos en frío

- Laminado: acritud

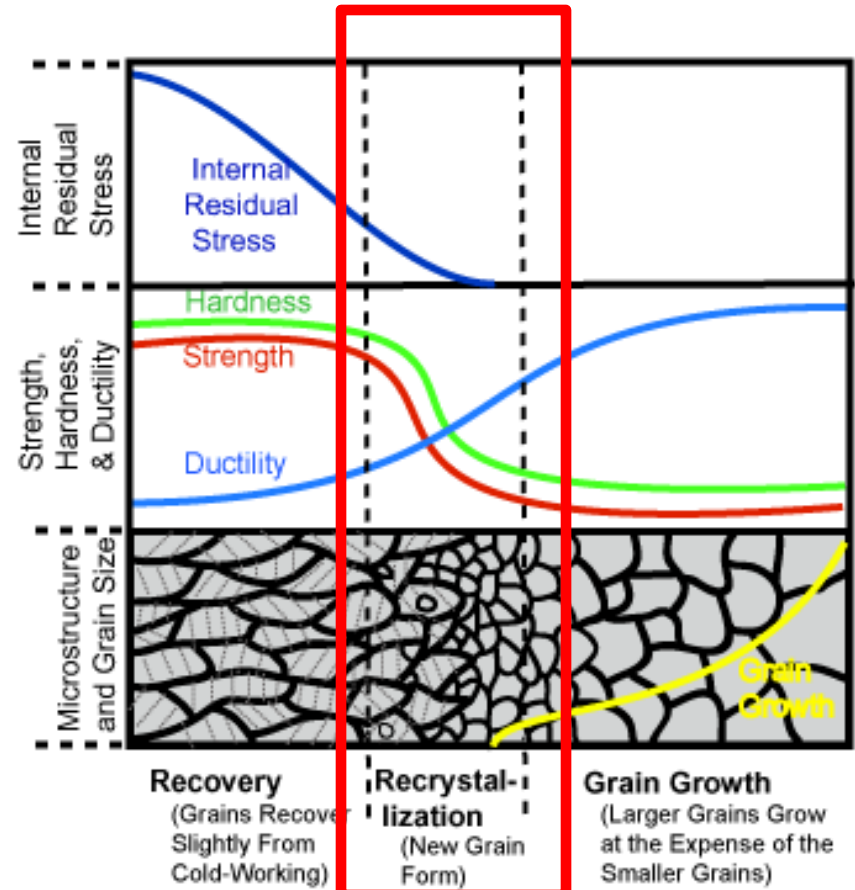
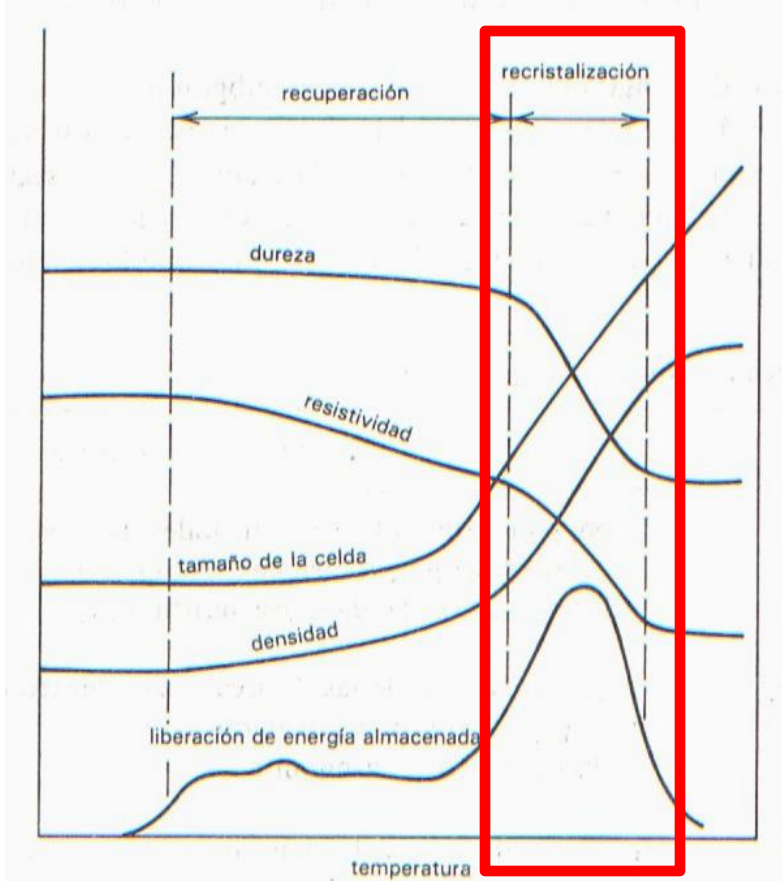


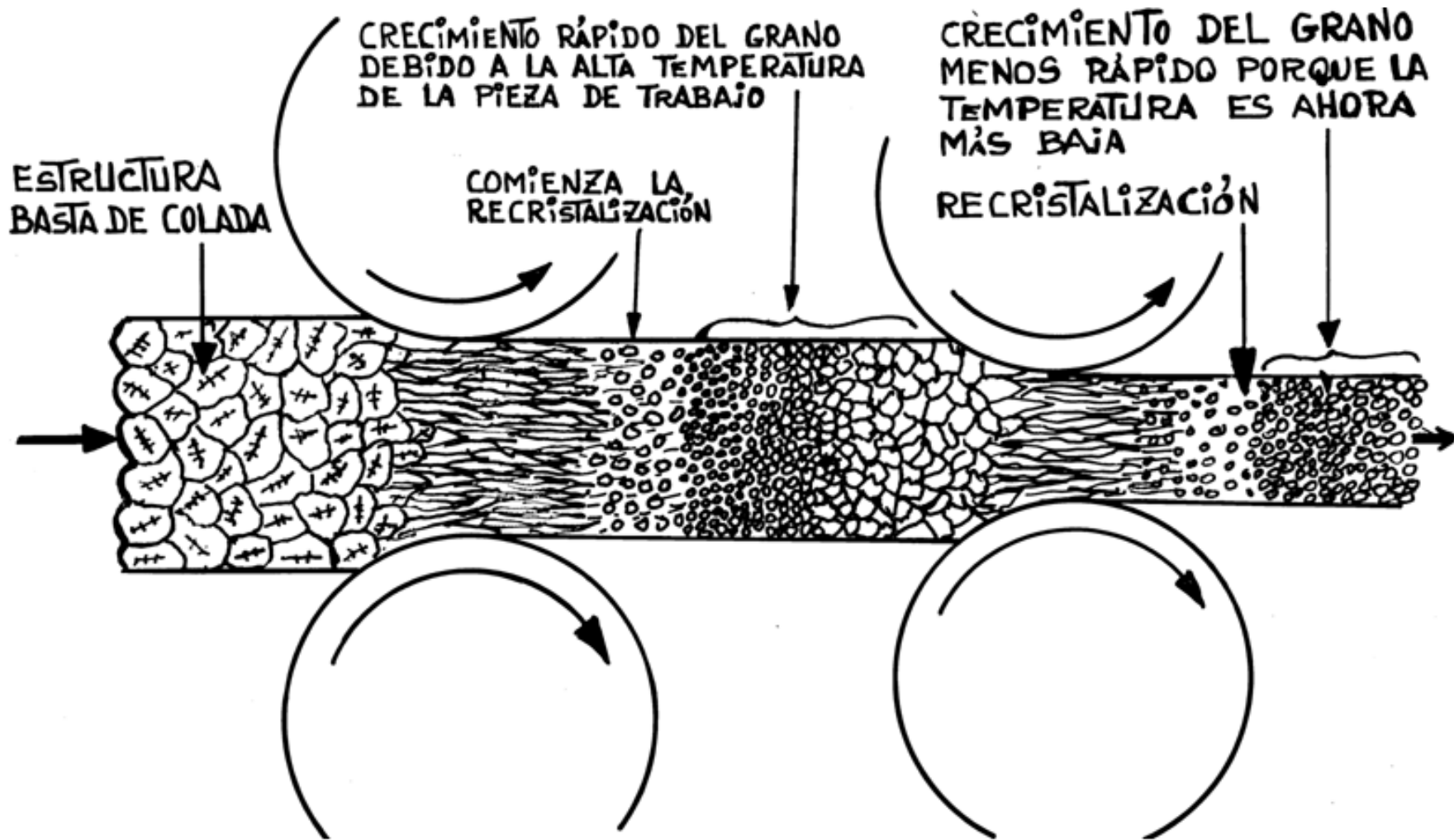


Efecto del recocido en los cambios sobre la estructura y las propiedades mecánicas de un metal trabajado en frío.

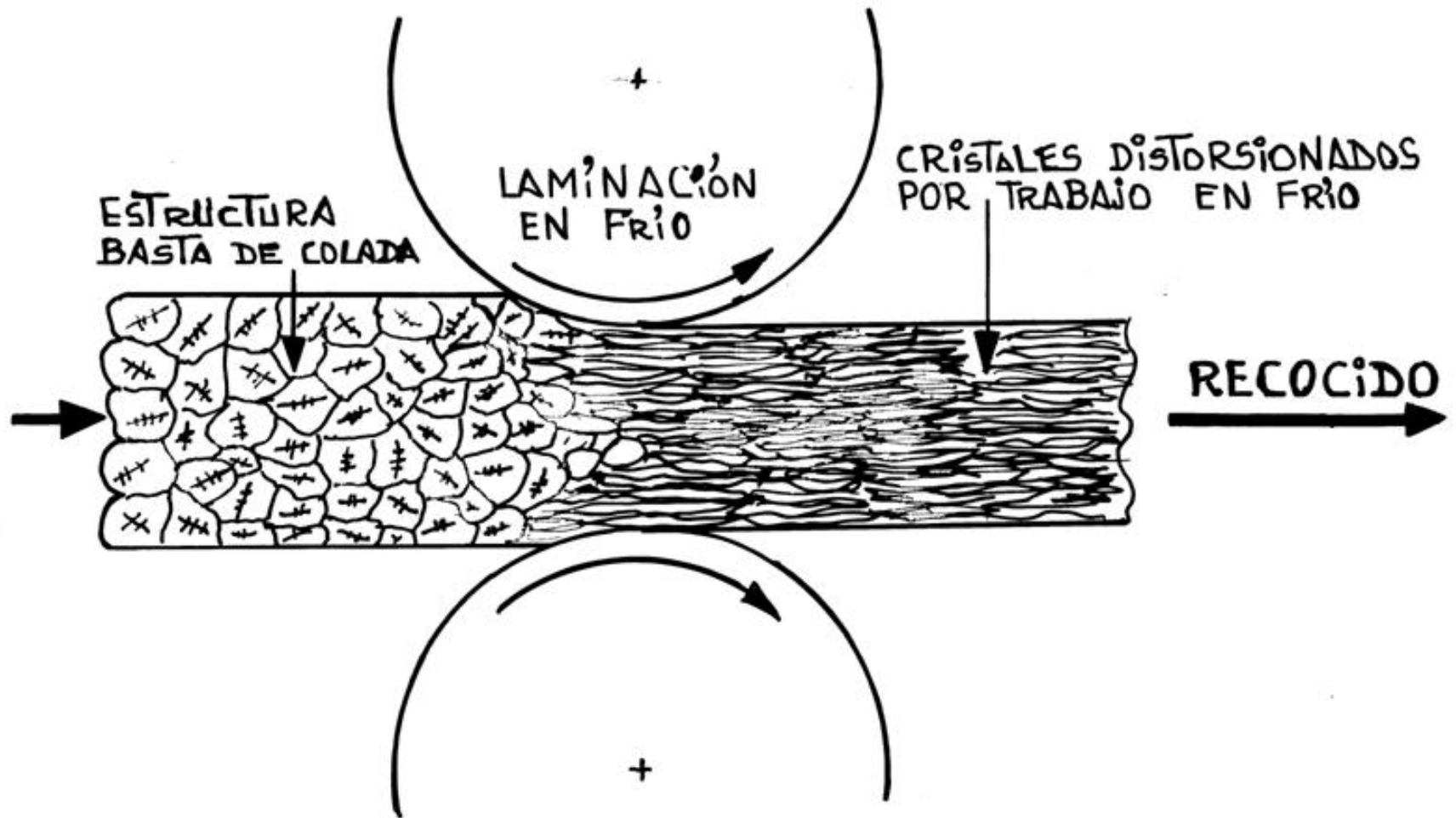
RECOCIDO / RECRISTALIZACIÓN

Es un proceso que se desarrolla por nucleación y crecimiento, los sitios preferenciales de nucleación de los nuevos granos son las regiones más deformadas, como bordes de grano, planos de deslizamiento, y en zonas de alta energía como precipitados de segunda fase y, también, en torno a inclusiones no metálicas

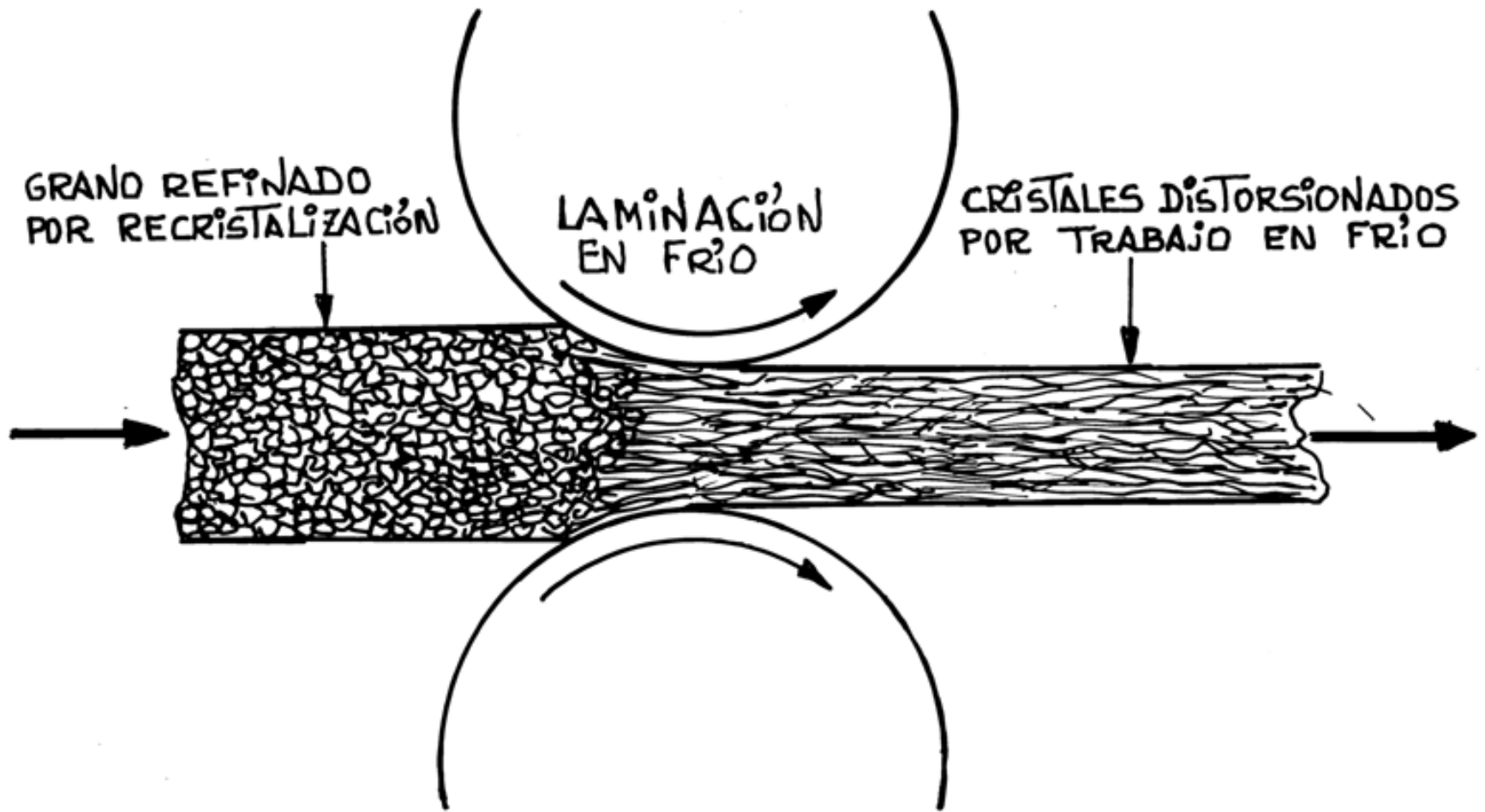




Laminación en caliente.

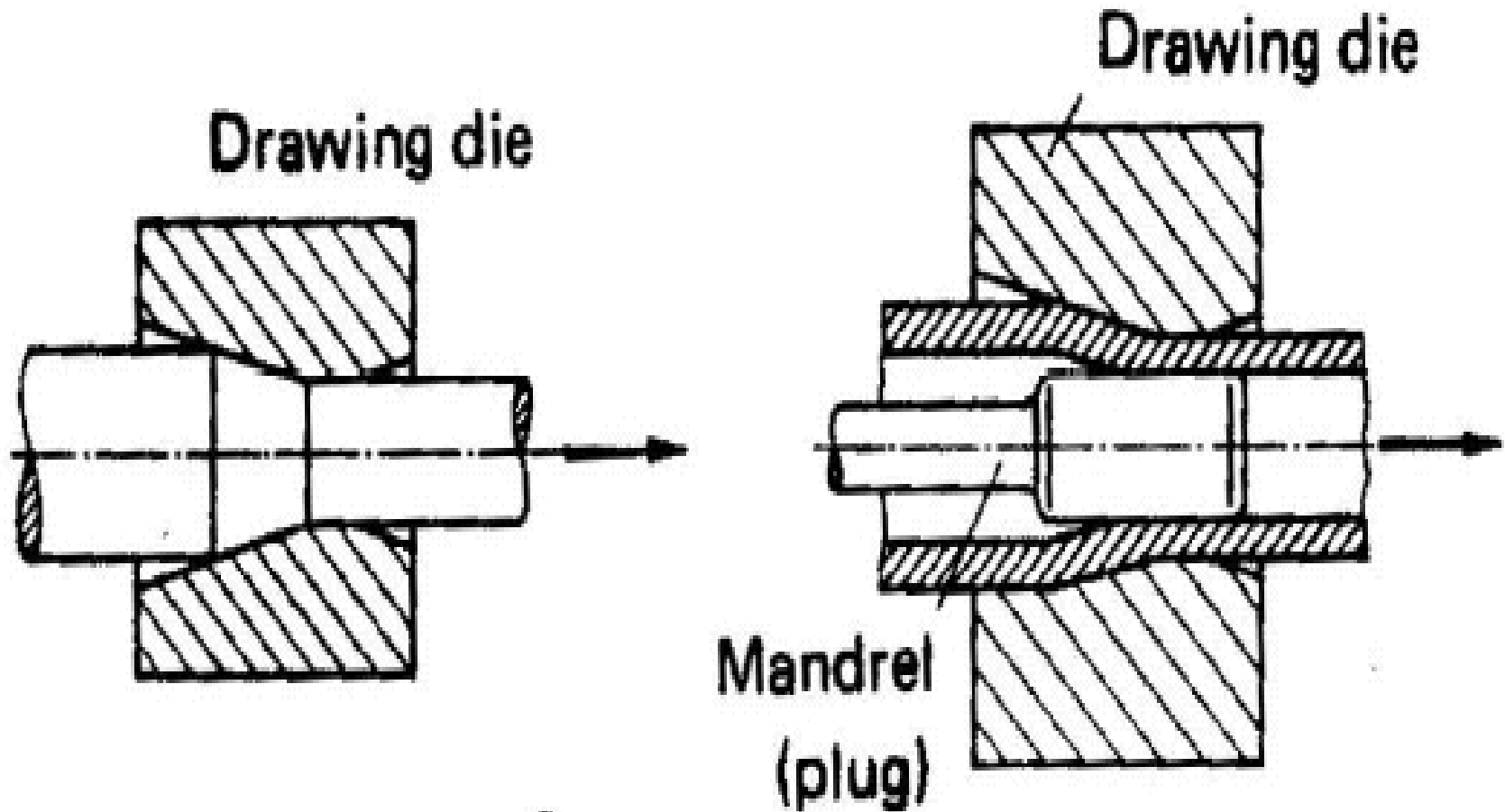


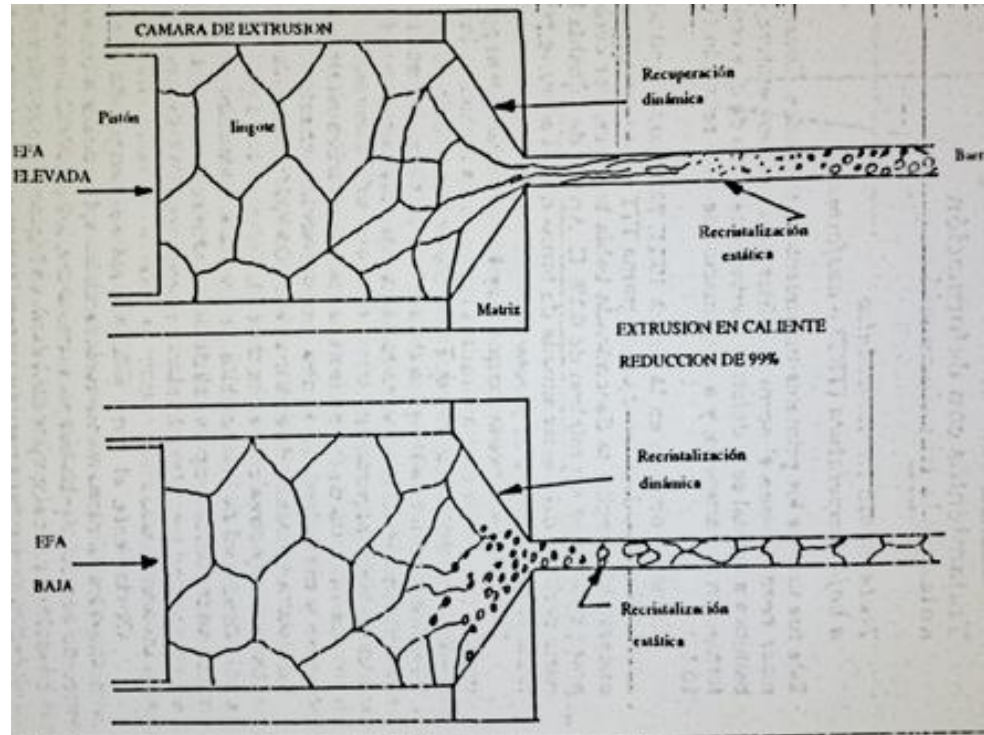
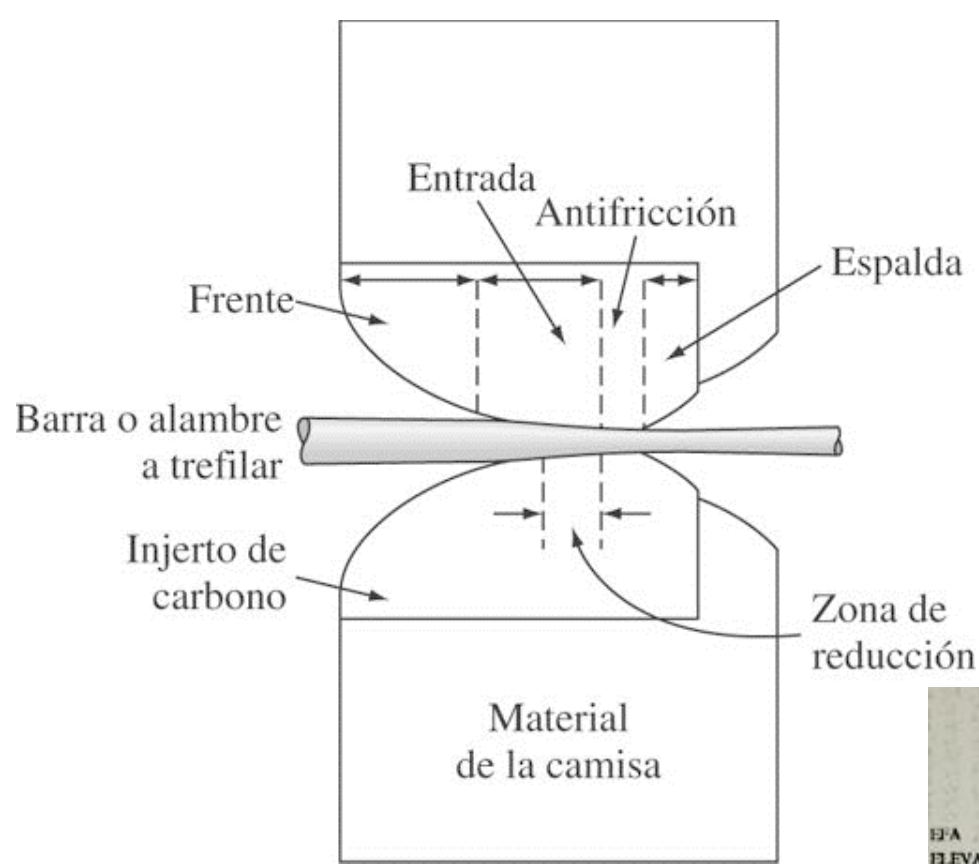
Laminación en frío y recocido (fase1)



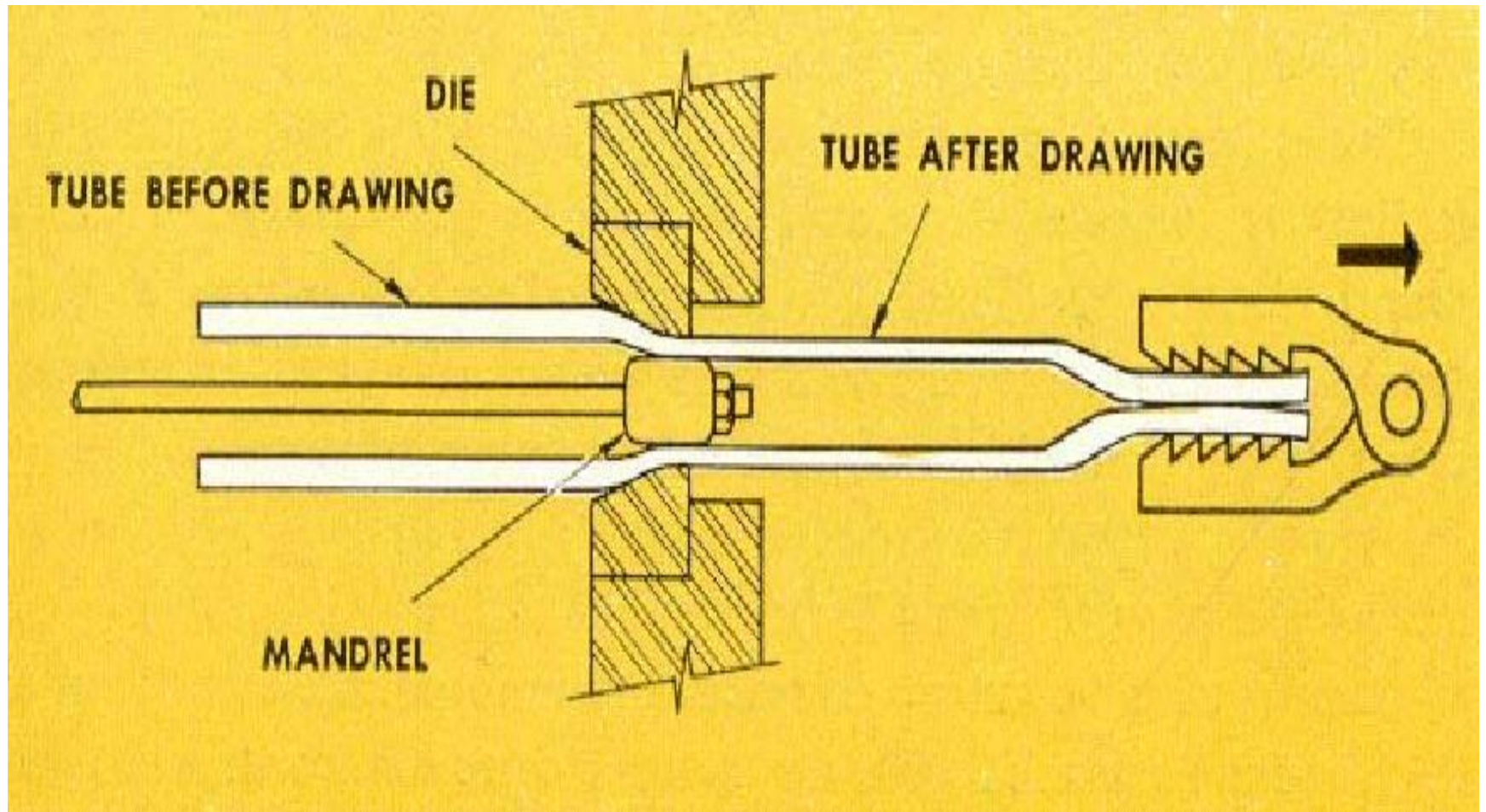
Laminación en frío y recocido (fase 2).

Trefilado/estirado



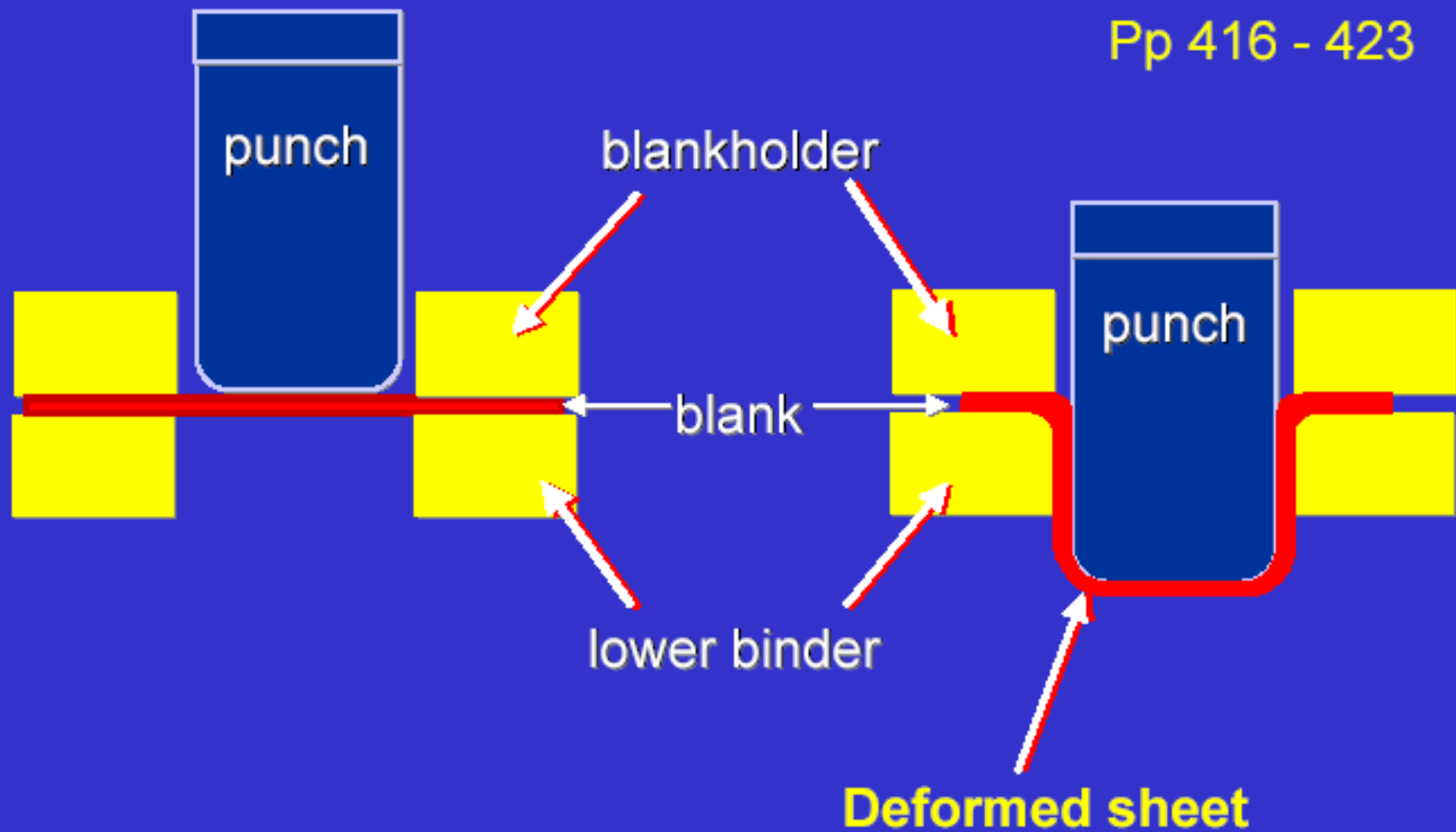


Trefilado/estirado



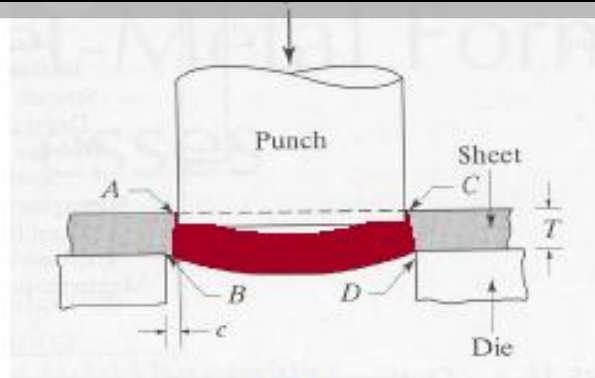
Conventional Deep-Drawing

Pp 416 - 423

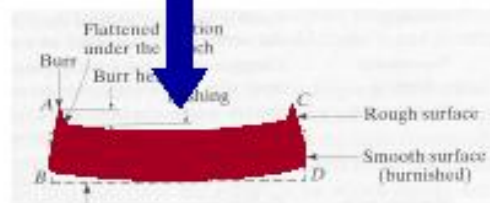
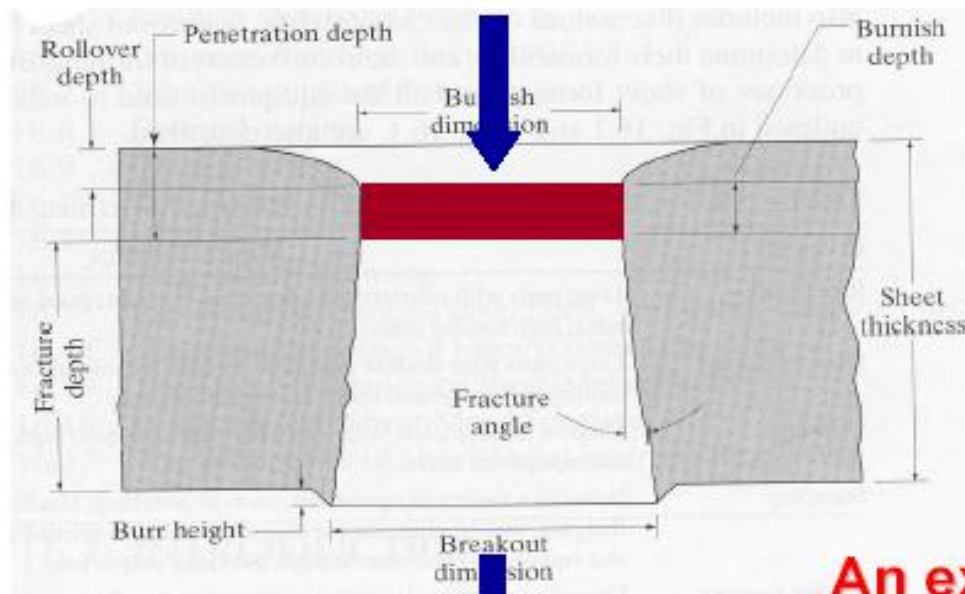


CORTE EN FRIO

See figure 16.2



Burrs due to Shearing/Blanking



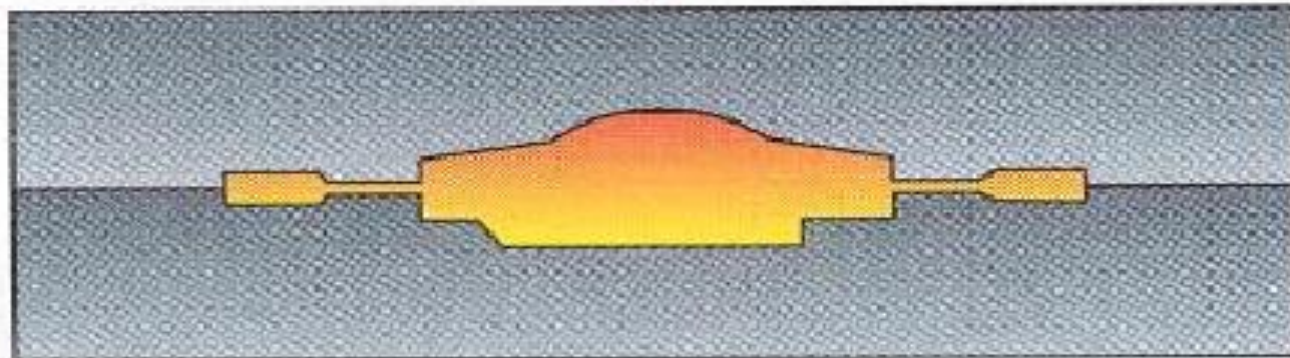
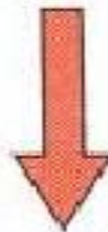
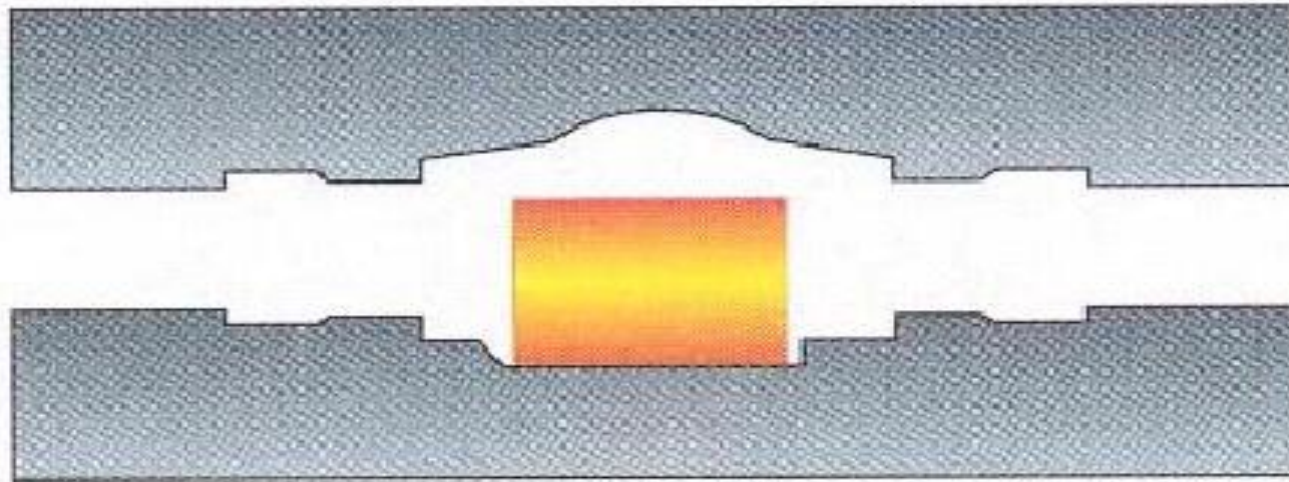
An example of building a Blanking machine tool follows

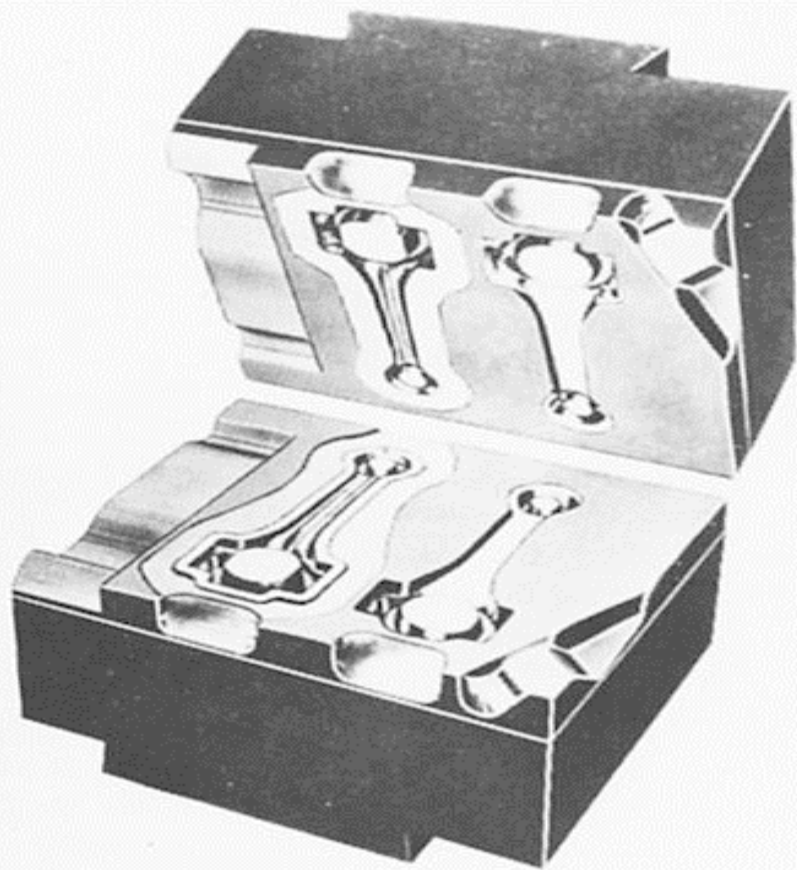


LAMINADO EN CALIENTE

Tratamientos mecánicos en caliente

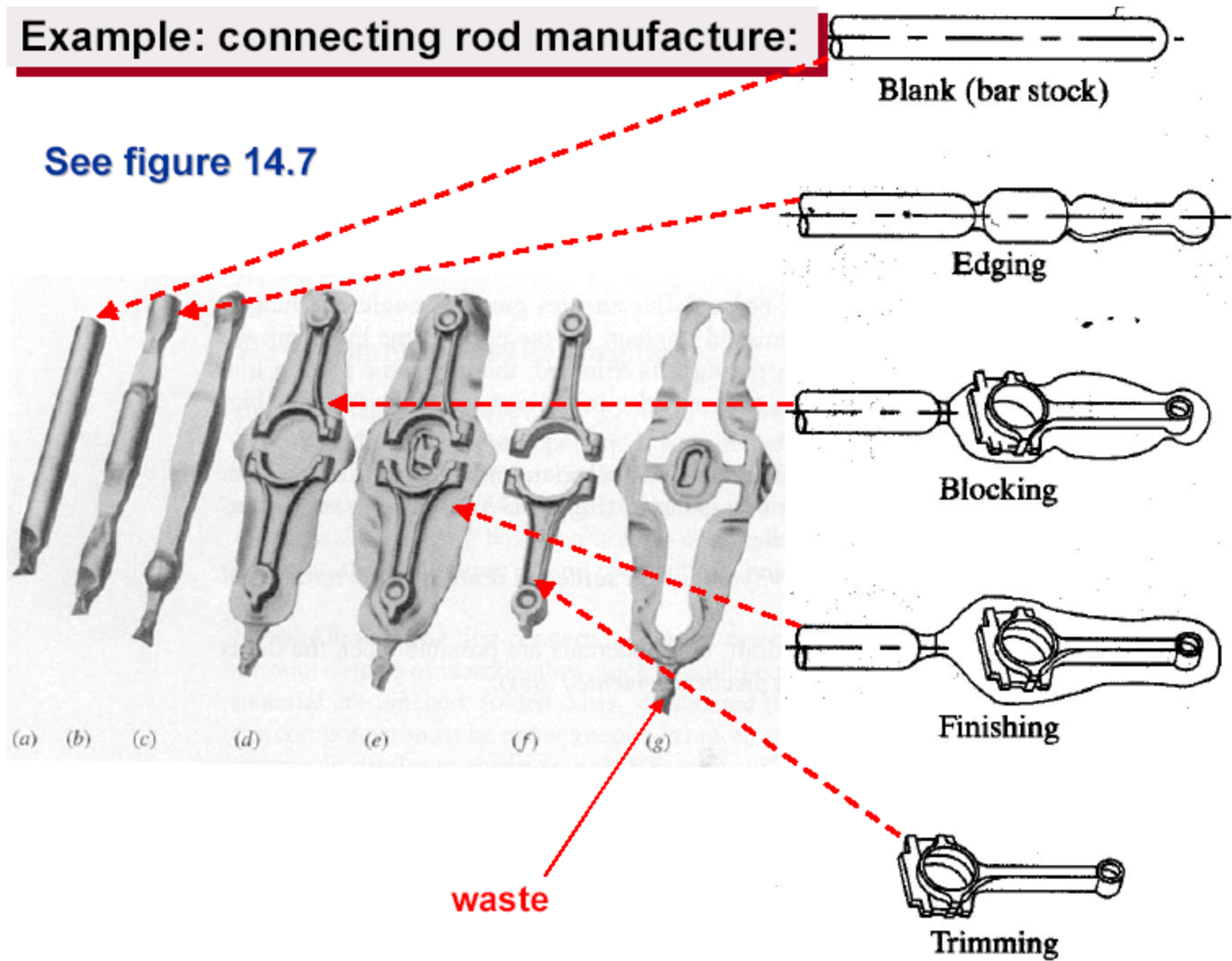
Forja en matriz cerrada



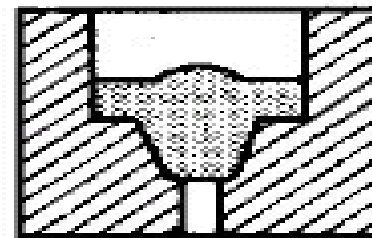
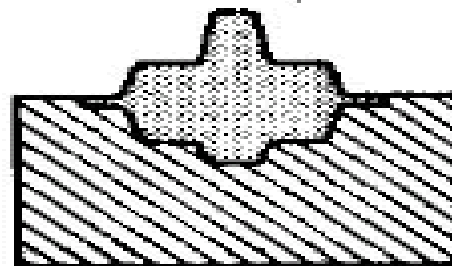
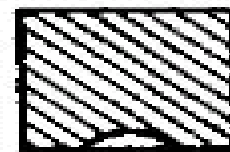
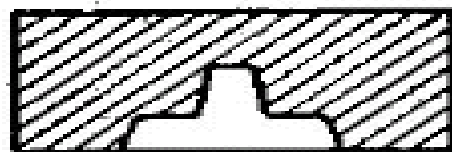
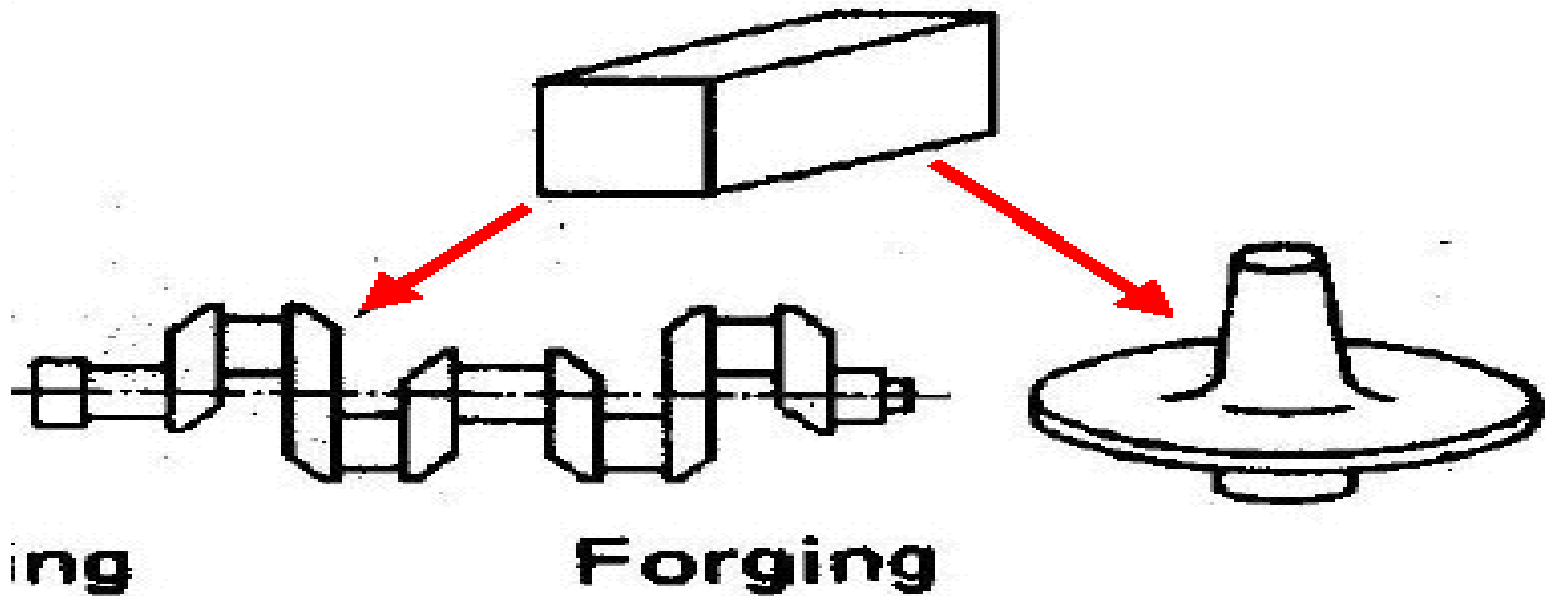


Example: connecting rod manufacture:

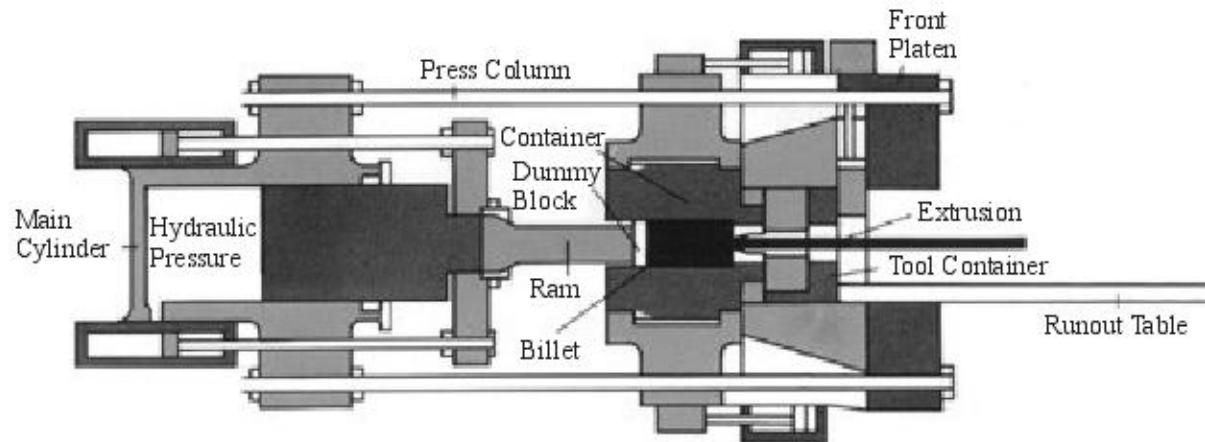
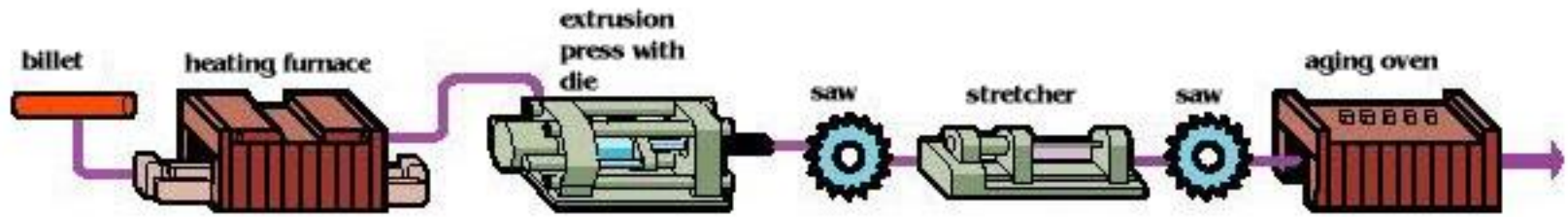
See figure 14.7



Forja en caliente

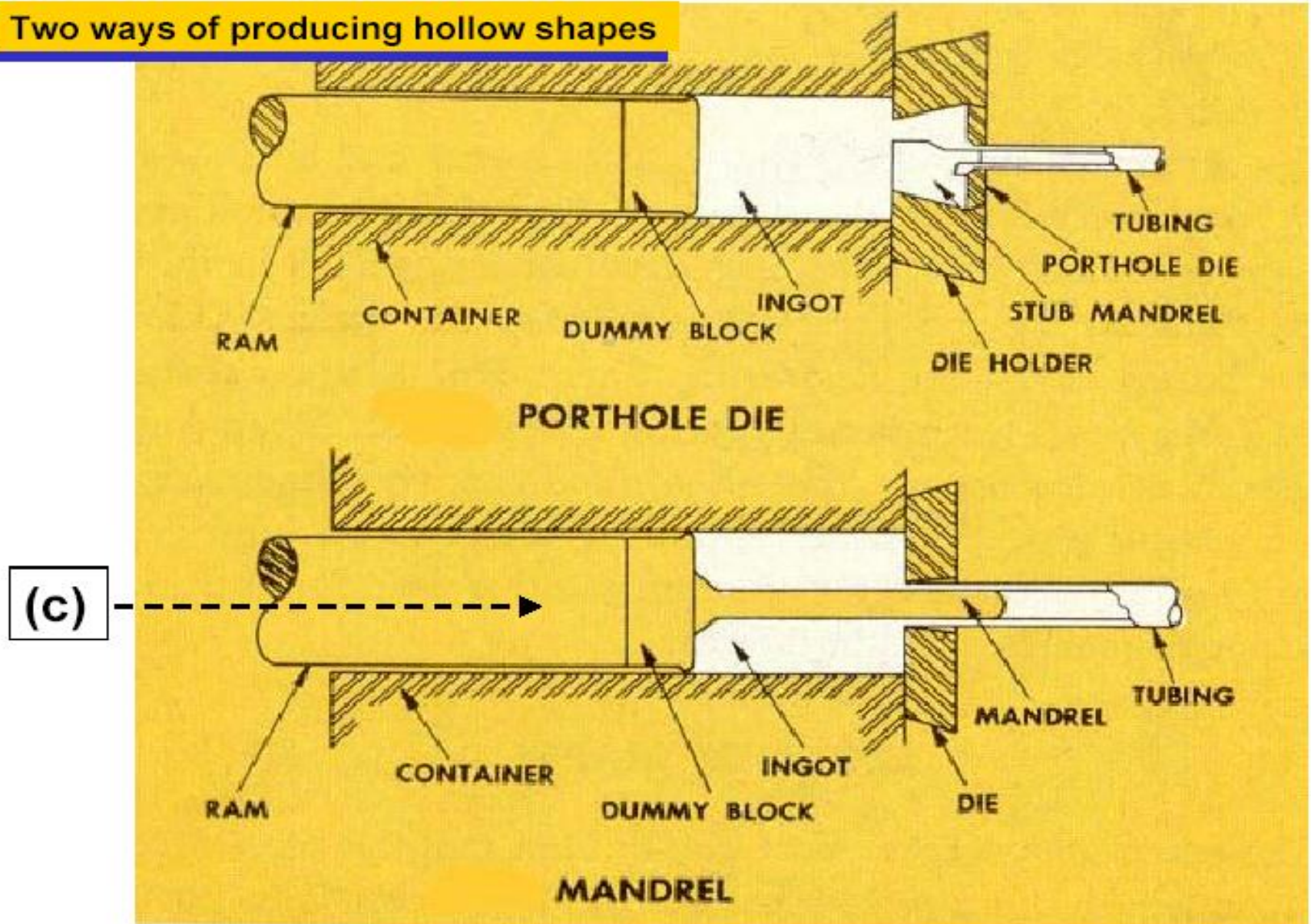


Extrusión en caliente

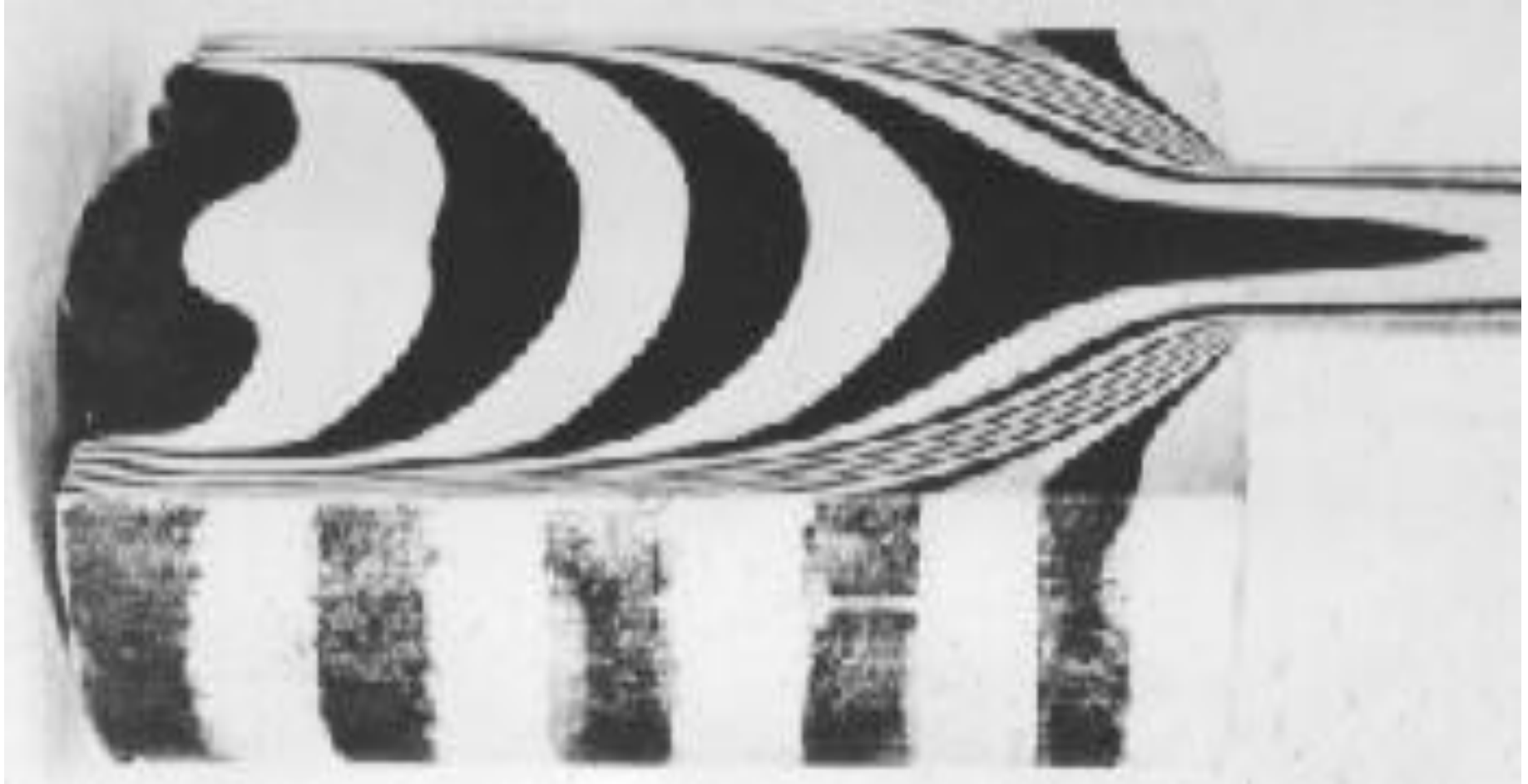


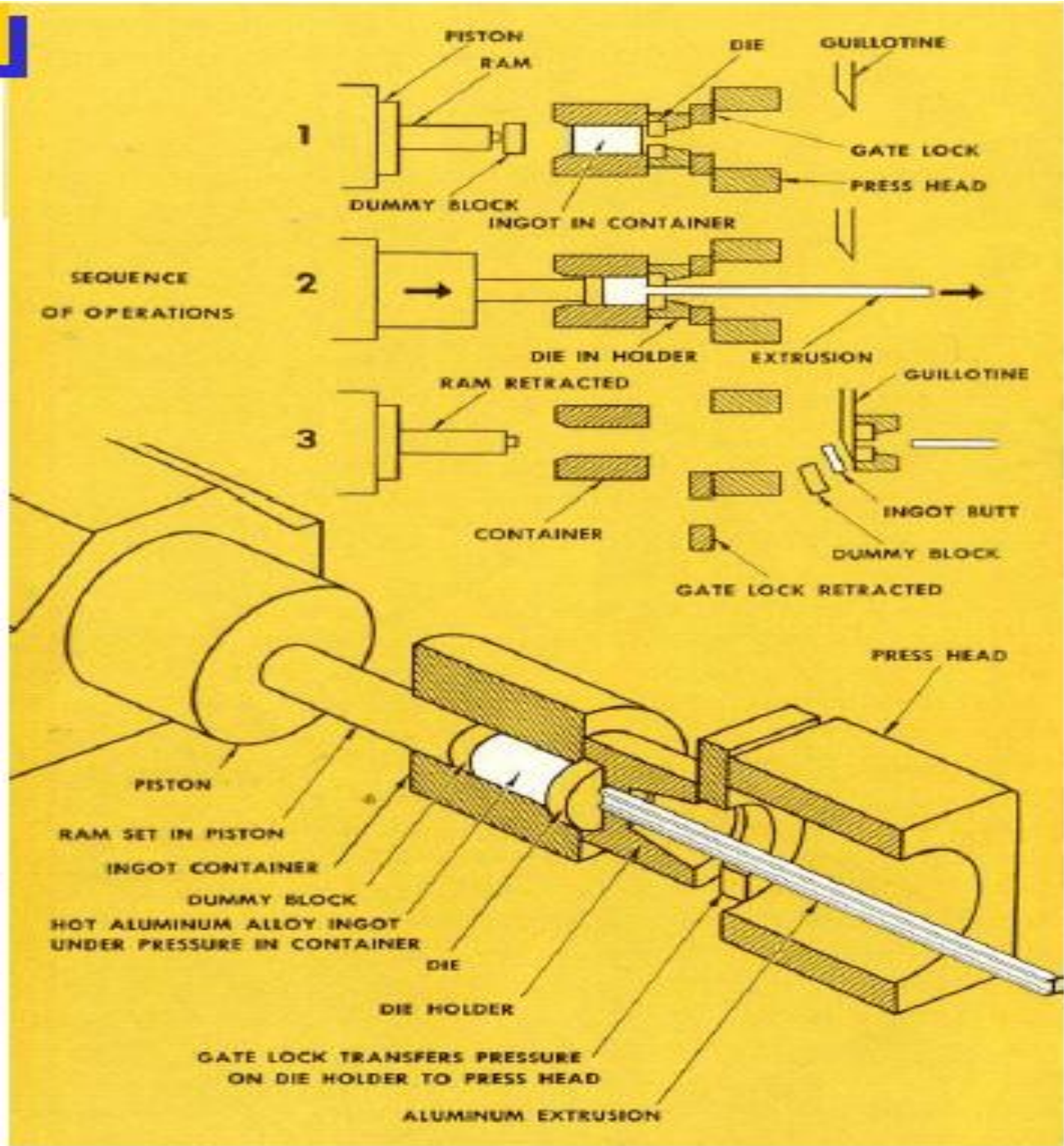
Extrución en caliente

Two ways of producing hollow shapes



Flujo del metal en el proceso de extrusión

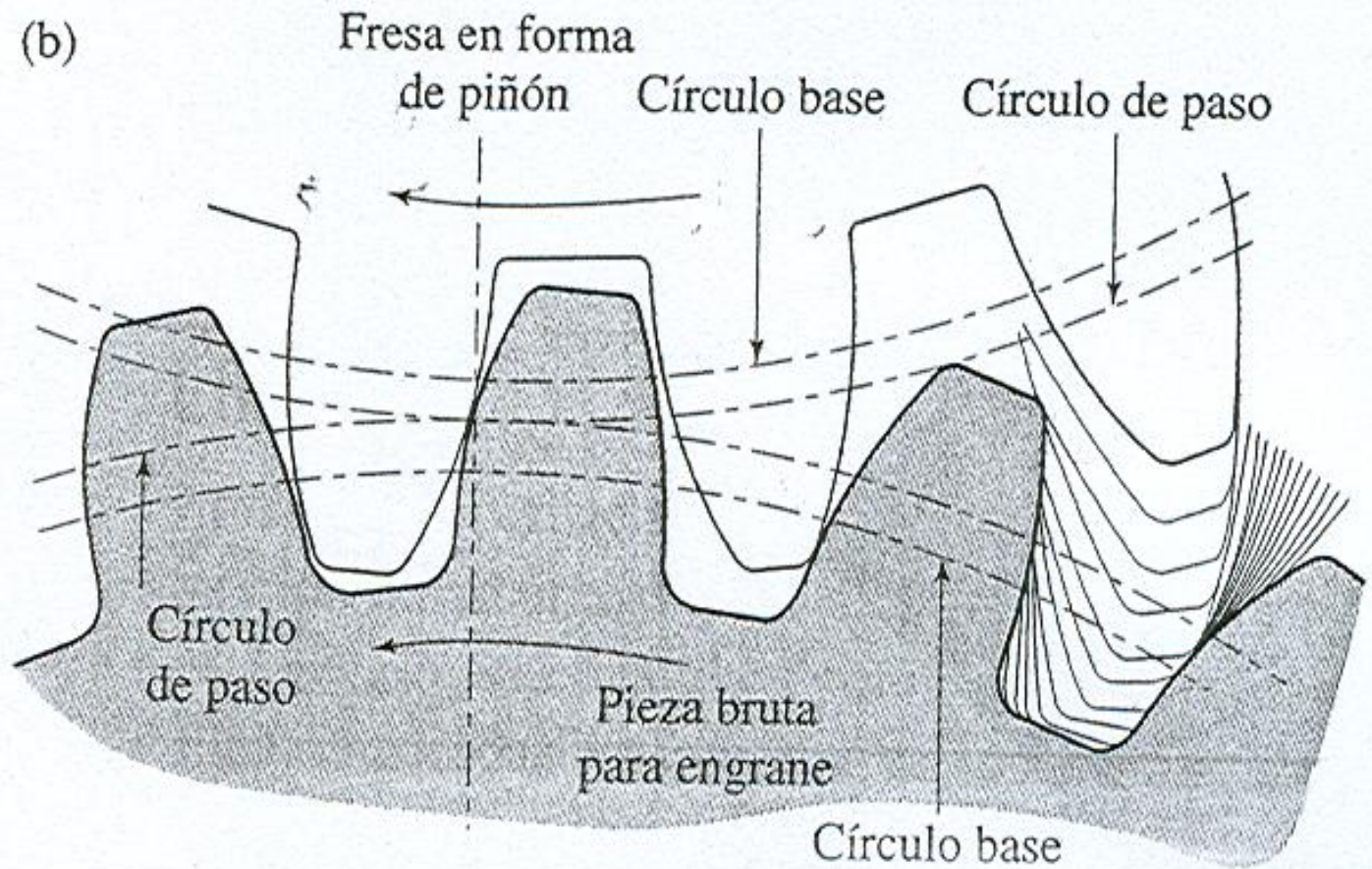




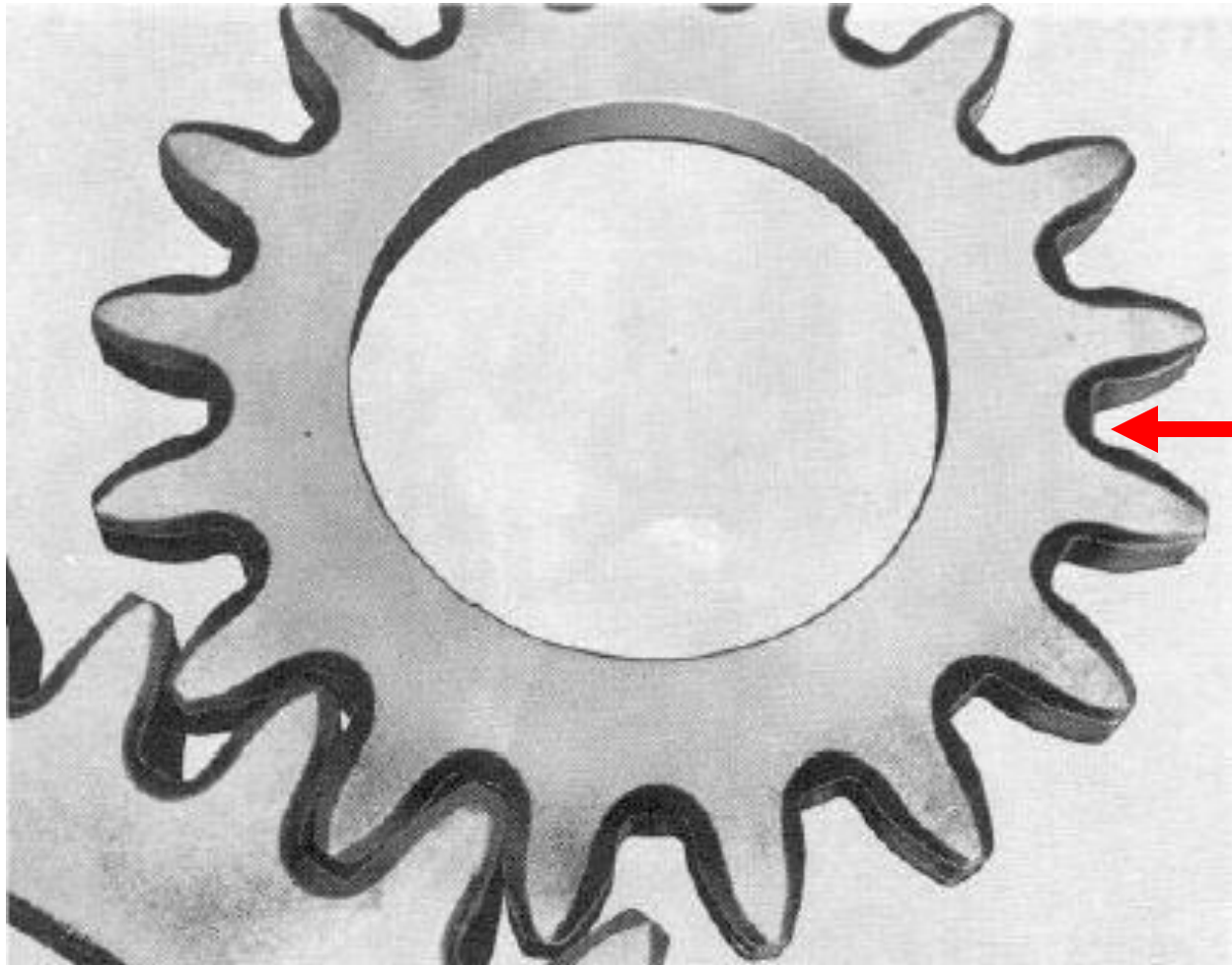
Tratamientos termoquímicos

- Cementación: Fe_3C
- Nitruración: Fe_2N , Fe_4N
- Cianuración: Fe_3C Fe_2N , Fe_4N
- Carbonitruración:
 Fe_3C , Fe_2N , Fe_4N
- Titanuración: Ti_2N , Ti_4N
- Boruración: Fe_2B

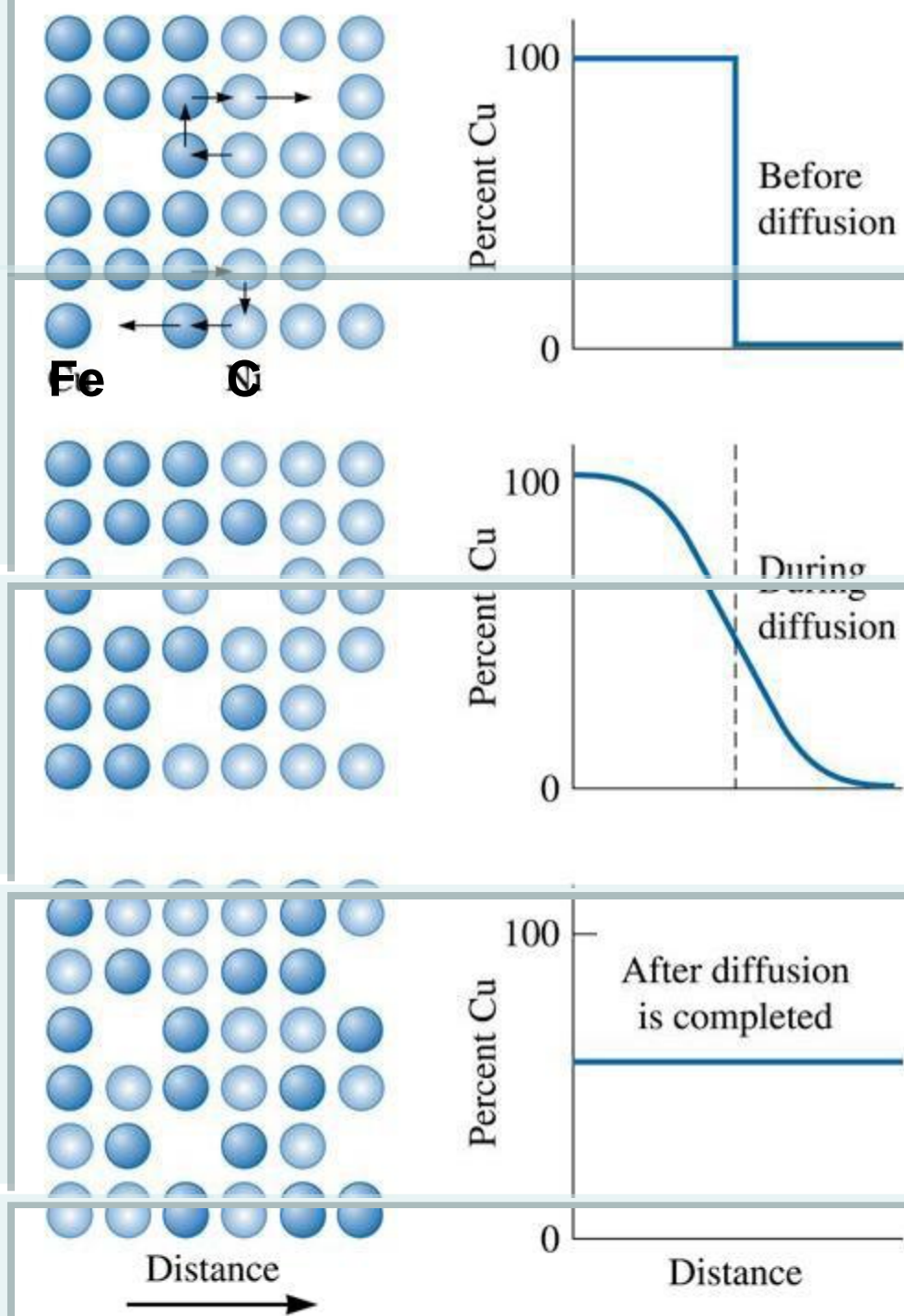
(b)



Cementación



Fe₃C

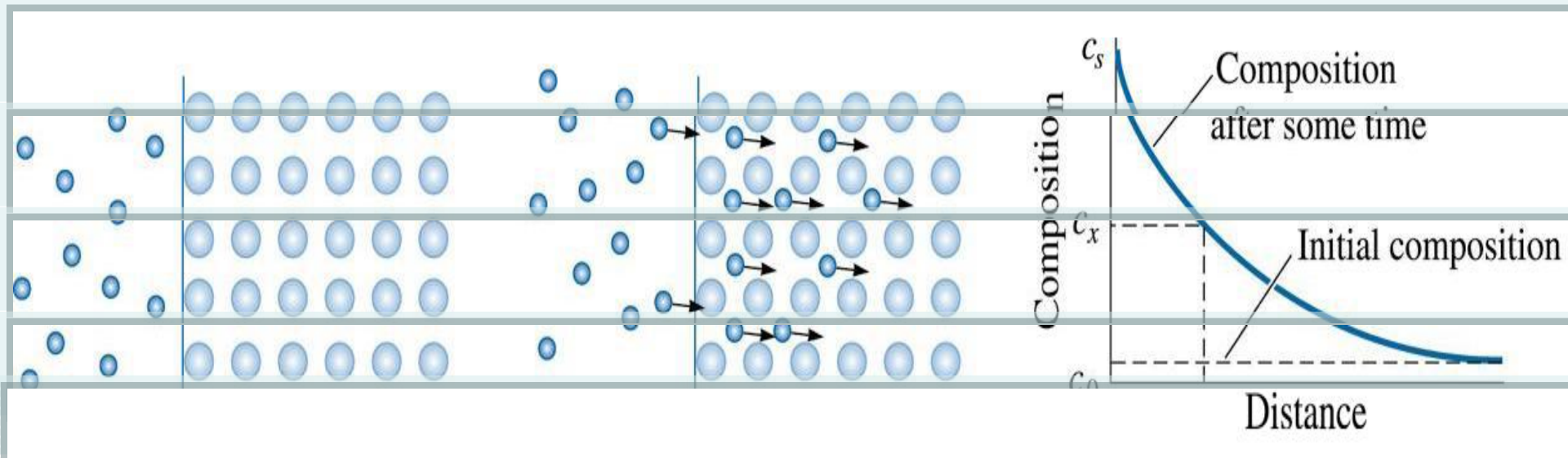


Difusión

Etapas de difusión de átomos de C en Fe.

A alta temperatura los átomos de C se difunden en forma gradual por el Fe formando Fe_3C .

Difusión de átomos en la superficie de un material



Cementación:

- Temperatura: 850-950 C
- Espesor: 0.5-1.5mm
- Dureza: 60 a 65 RHC
- Cementantes:
 - Sólidos
 - Líquidos
 - gaseosos

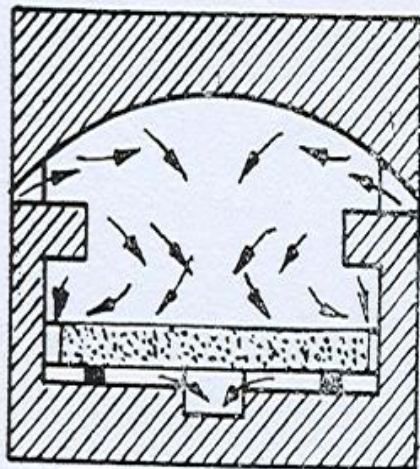


Fig. 32-9. — Horno de cámara abierta.

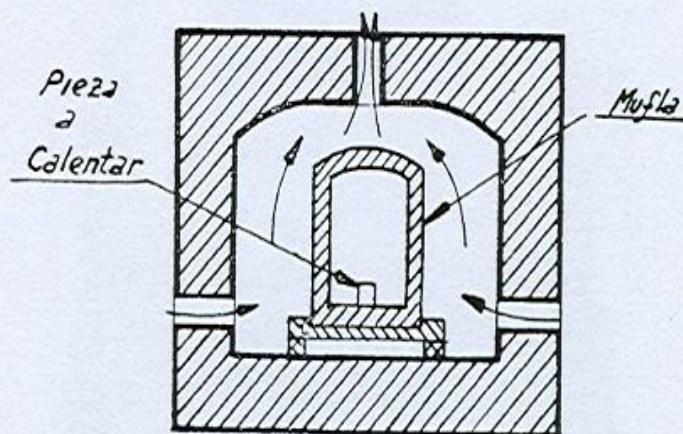


Fig. 32-10. — Horno de mufla.

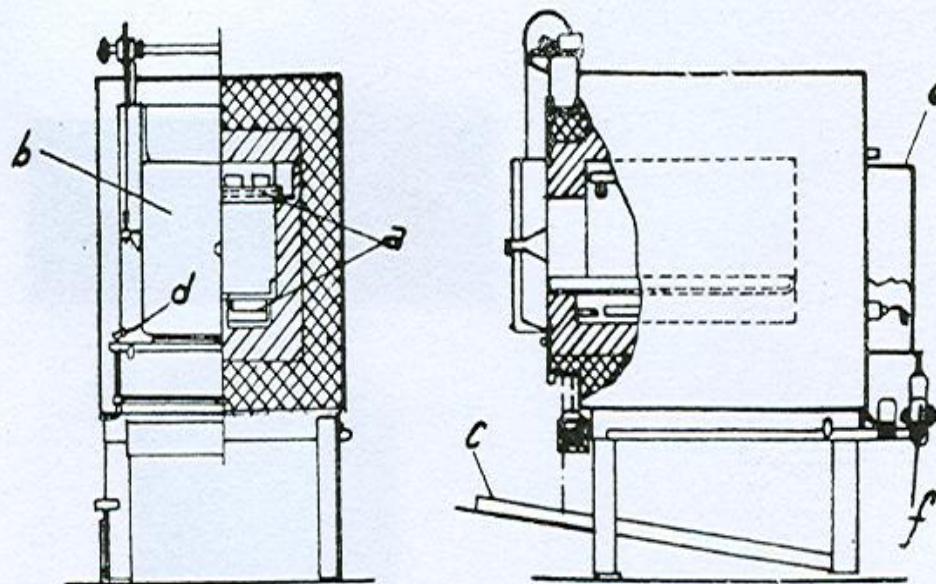


Fig. 32-11. — Horno eléctrico: a), resistencia calentadora; b), puerta; c), pedal de accionamiento de la puerta; d), lámpara piloto; e), caja de bornas; f), mezclador de gas para preparación de atmósferas controladas.

Cementantes sólidos:

- 60% de carbón vegetal y 40% BaCO₃
- Temperatura 900°C



Cementantes líquidos:

Temperatura: 900⁰C

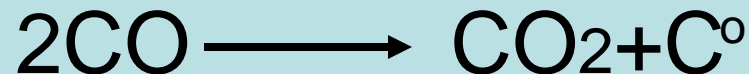
Espesor: 0.2 a 3.00 mm

- Espesor: 0.2-1.5mm:
 - Cianuro sódico 20%
 - Cloruro bórico 30%
 - Cloruro sódico 25%
 - Carbonato sódico 25%

- Espesor: 1.5-3.0mm:
 - Cianuro sódico 10%
 - Cloruro bórico 55%
 - Cloruro sódico 20%
 - Carbonato sódico 15%

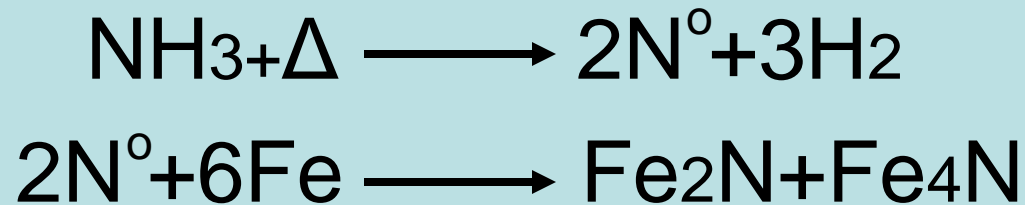
Cementantes gaseosos

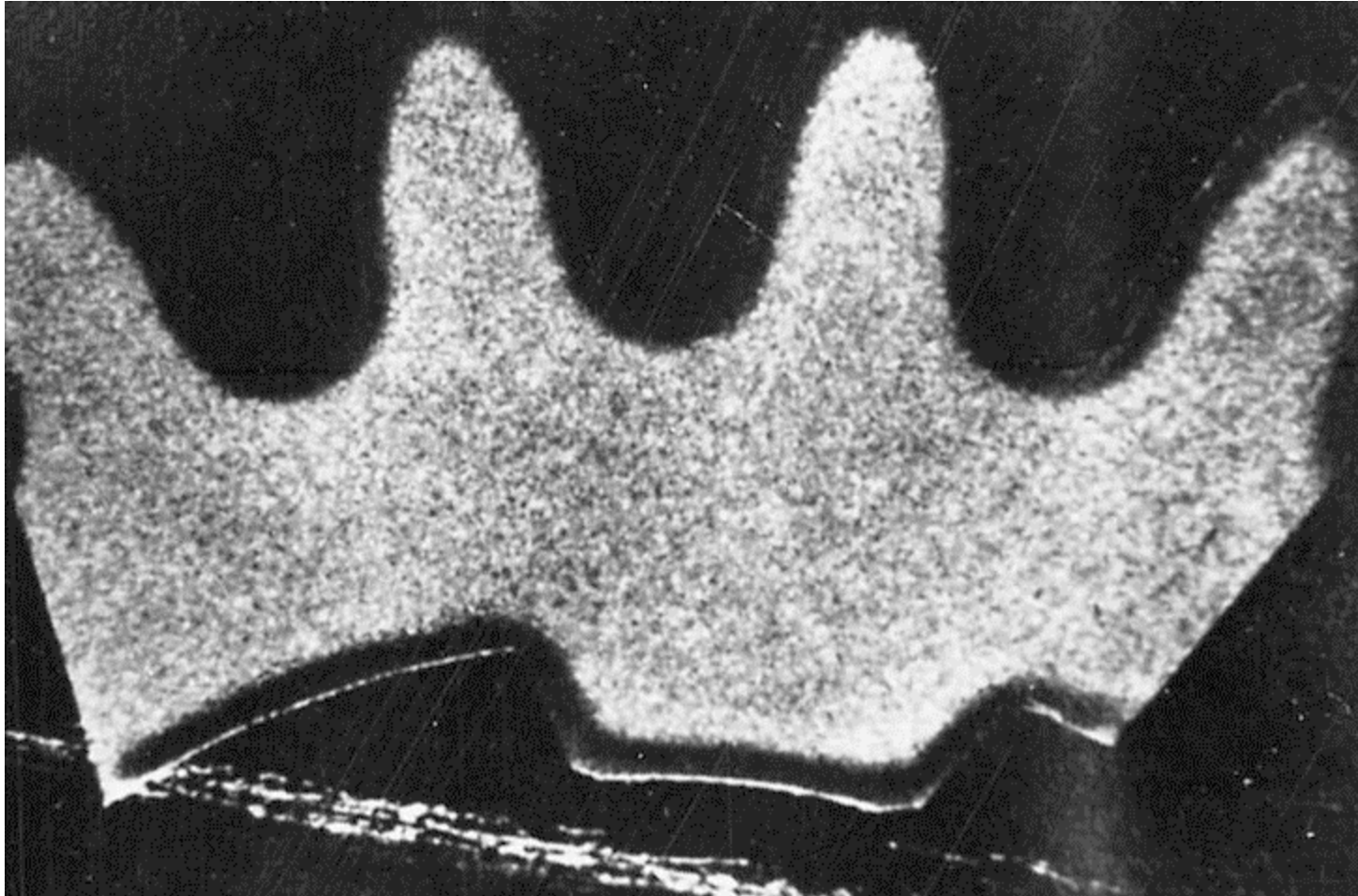
- Temperatura: 850⁰C a 900⁰C
- Gases: CO, CO₂, H₂O y CH₄



Nitruración

- Temperatura: 500°C
- Espesor: 0.20-0.70mm
- Gases: NH₃ (amoníaco)





Macrosección de un piñón de un engranaje SAE 8620
carburizado con nitrógeno-metanol.

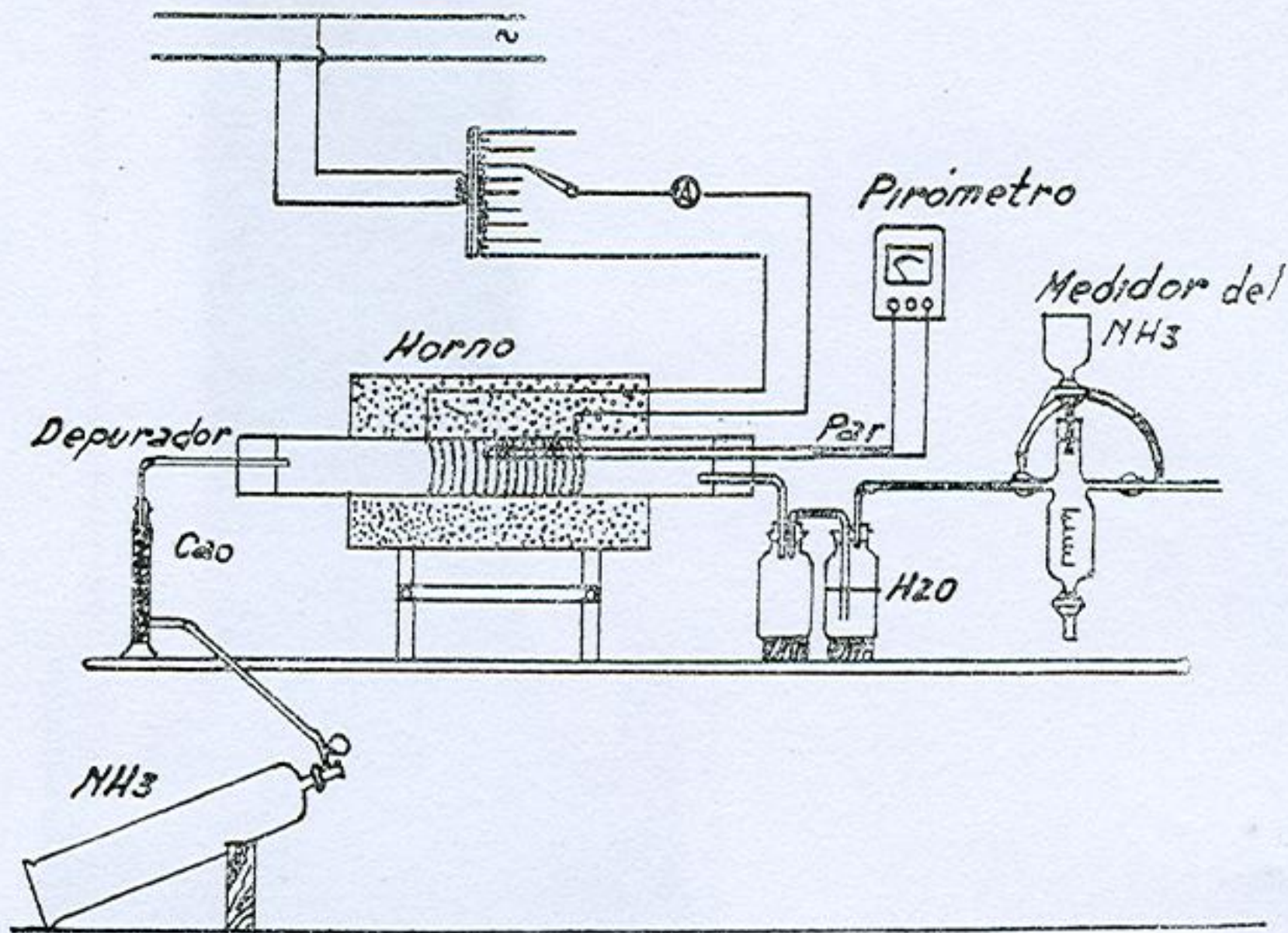


Fig. 31-2. — Instalación para nitruración de aceros

Carbonituration (liquids)

- Temperatura: 750°C a 950°C
- Espesor: 0.30mm
- Dureza >78RHC



Carbonituration (gases)

- Temperatura: 650°C-690°C
- Dureza: 57-63 RHC
- Espesor: 0.10-0.50mm
- Gases:
- CO 21%
- H₂ 40%
- N₂ 35%
- CH₄ 1%
- Resto CO₂, O₂, vapor de agua

Boruración

Fe_2B

- El electrolito utilizado estaba compuesto por K_2CH_3 , $\text{C}_3\text{H}_5(\text{OH})_3$, B_4C (en polvo) y H_2O .

Esquema del proceso

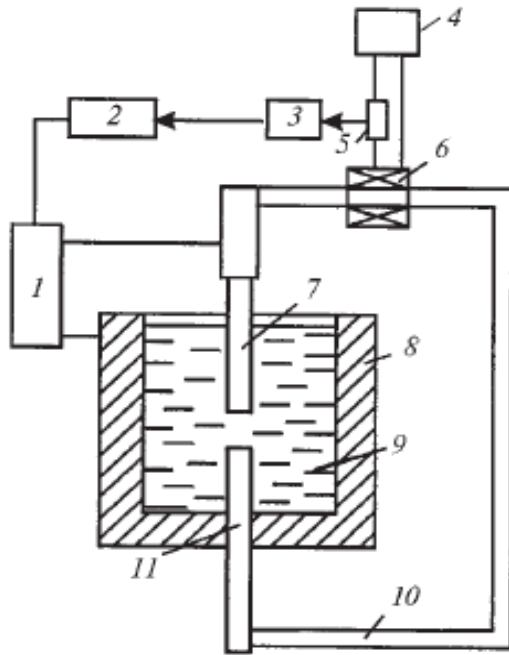


Fig. 1. The experimental plant: 1, 4) DC and AC sources; 2) feedback device; 3) recorder; 5) additional resistor; 6) induction coil; 7) workpiece; 8) bath; 9) electrolyte; 10) magnetic circuit; 11) ferromagnetic rod.

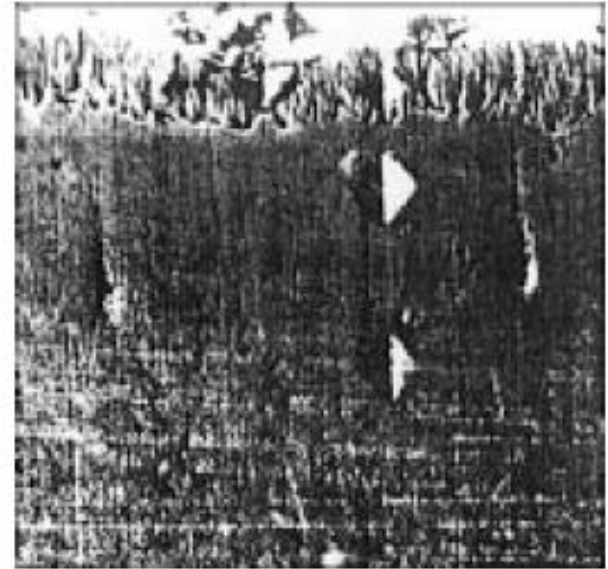
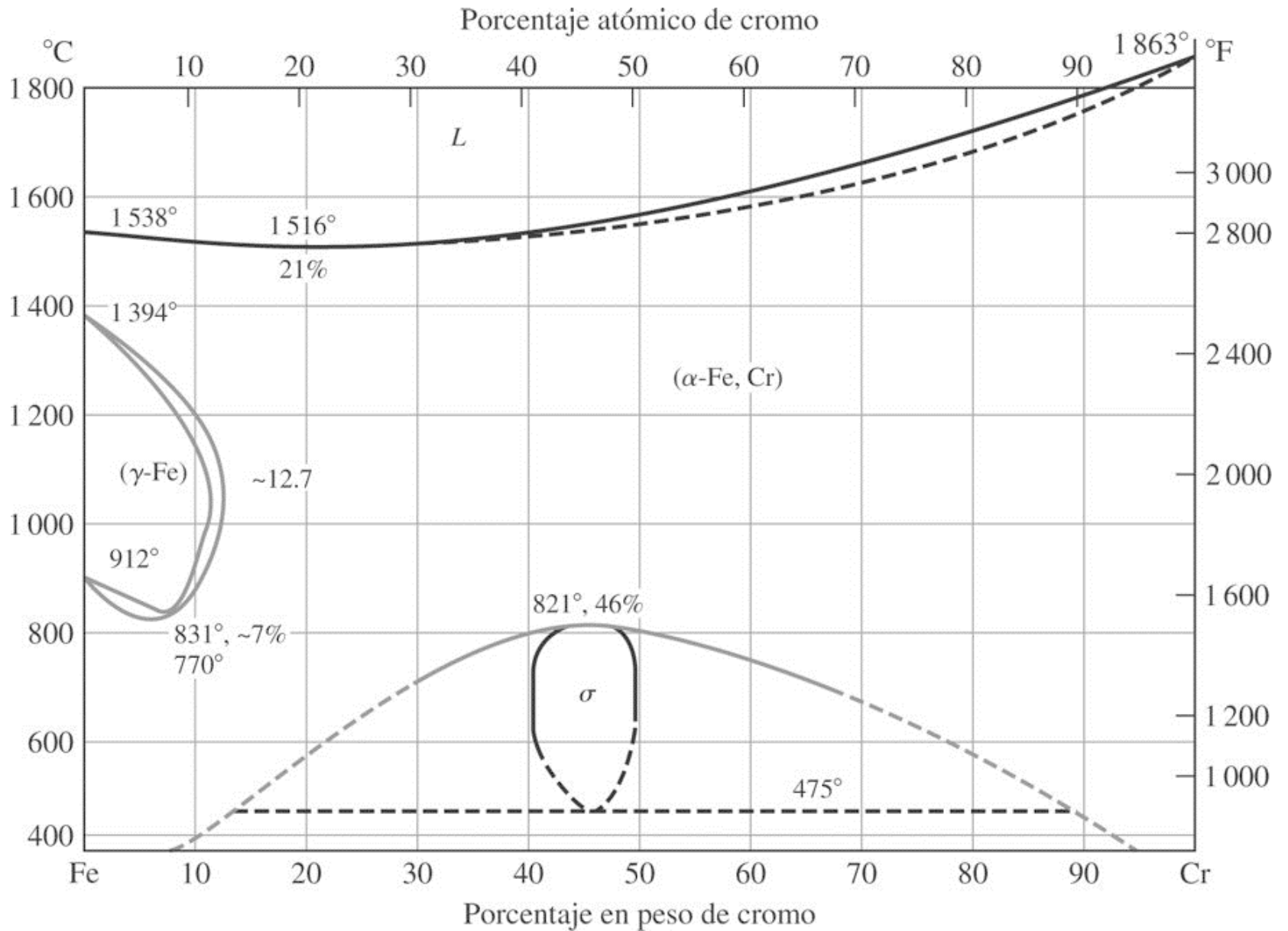


Fig. 2. Microstructure of boride layer on steel 45 from electrolytic plasma treatment ($\times 500$).

ACEROS INOXIDABLES



Cromado duro y metalización

Cromado duro

- Con el nombre de cromado duro se designa un recubrimiento galvánico que se realiza sobre metales con arreglo a una técnica especial que mejora algunas de las propiedades del metal base.
- El cromado duro mejora sobre todo la resistencia al desgaste, el rayado, a la penetración, a la corrosión y mejora también, en general, el coeficiente de rozamiento del metal base.

Algunas características del cromado duro

- **Metales que pueden cromarse:**

1. Acero
2. Fundición de hierro
3. Aluminio
4. Latón
5. Cobre

- **Espesor de la película de cromo:**

1. En el cromado duro industrial de:
0.05 a 0.10 mm.
2. En el cromado decorativo en general 0.001 mm.

Recubrimientos superficiales

Función de los recubrimientos

1. **Protección contra la corrosión**
2. **Mejorar el aspecto (textura) superficial del producto**
3. **Aumentar la resistencia al desgaste y/o reducir la fricción**
4. **Aumentar la conductividad o la resistencia eléctrica**
5. **Reconstruir superficies gastadas**

Recubrimientos por inmersión o por vía electroquímica

ELECTRODEPOSICIÓN O RECUBRIMIENTO ELECTROQUÍMICO

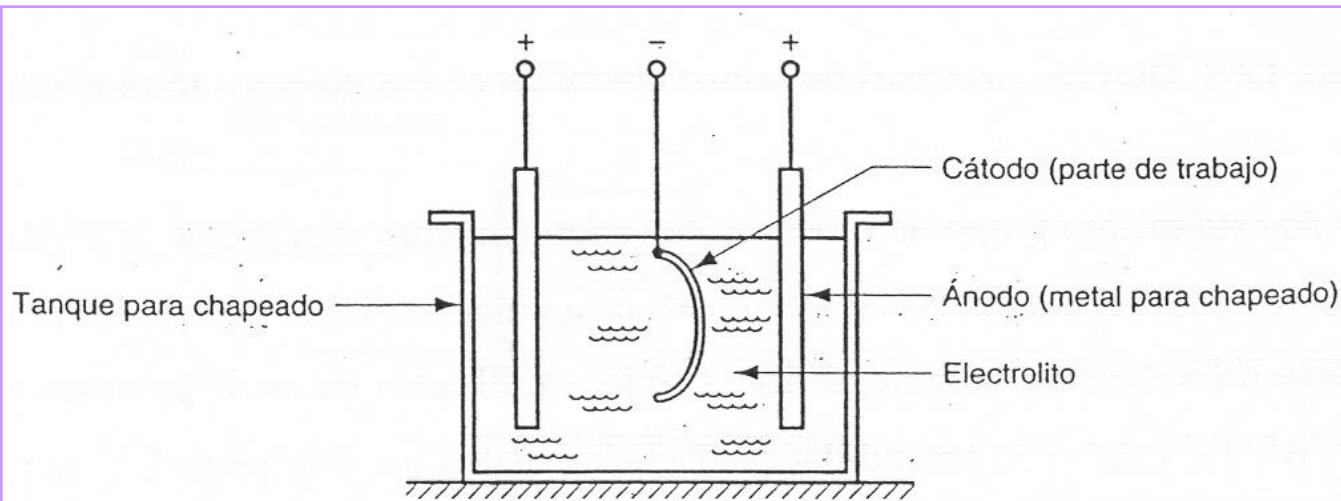


Figura 12.2. Electrodeposición



El volumen de metal depositado es directamente proporcional a la intensidad de corriente circulante y al tiempo

Metales más comunes:

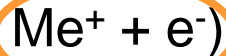
Zn (sobre acero: galvanizado), Ni, Cr, Cu, Sn (sobre acero: hojalata) Au, Ag y Pt

Recubrimientos por inmersión o por vía electroquímica

ANODIZADO

Proceso electrolítico de protección ambiental de las aleaciones de Al y Mg, que consiste en la formación de un óxido protector, que aísla al producto del medio ambiente y de este modo dificulta la corrosión posterior del mismo

En este caso la pieza a recubrir constituye el ánodo de la celda (Me →



Los cationes metálicos forman el correspondiente óxido en presencia de un medio oxidante

Recubrimientos por inmersión o por vía electroquímica

INMERSIÓN EN CALIENTE

Se sumerge la pieza en un baño fundido de un segundo metal.

Al extraer la pieza, el segundo metal solidifica sobre la superficie del primero.

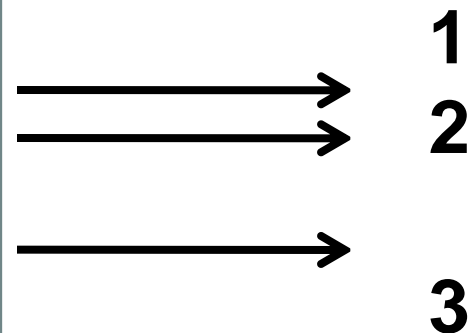
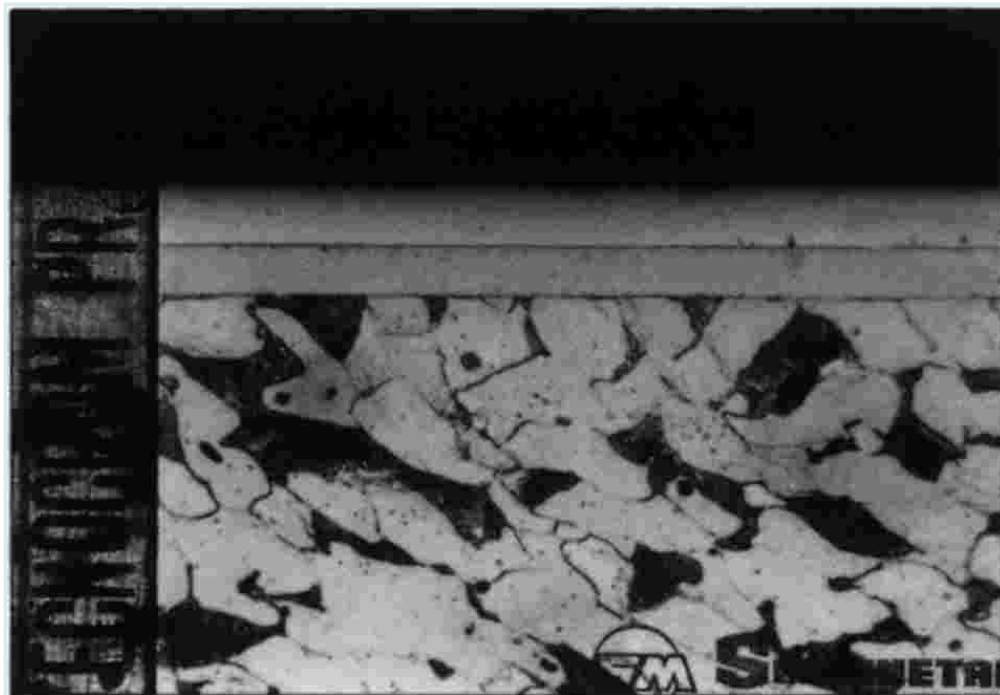
El tiempo de inmersión controla el espesor de la capa ($40\mu\text{m} < e < 100\mu\text{m}$)

Metales más comunes:

Zn, Al, Sn y Pb

Se obtiene una excelente adherencia ya que la difusión que opera necesariamente a las temperaturas del tratamiento lleva a la formación de compuestos intermetálicos de transición





1- CAPA CROMO
DURO

$e = 0,20 \text{ m/m}$

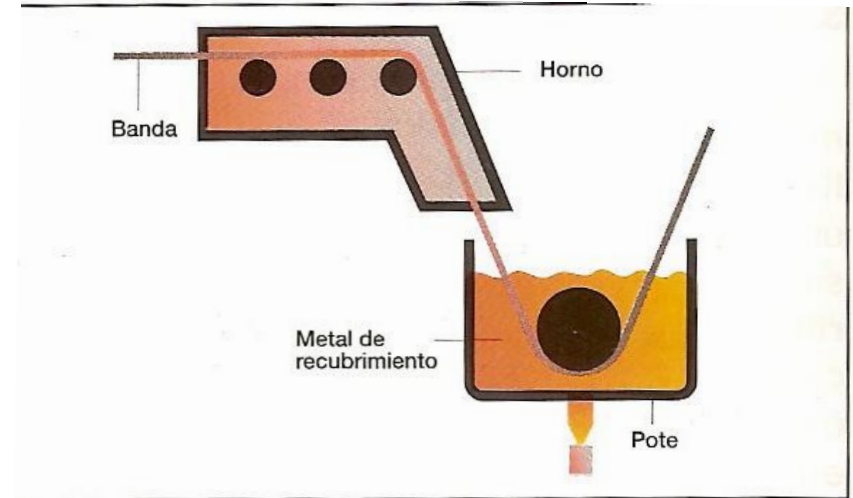
2- CAPA NIQUEL
QUIMICO

$e = 0,015 \text{ m/m}$

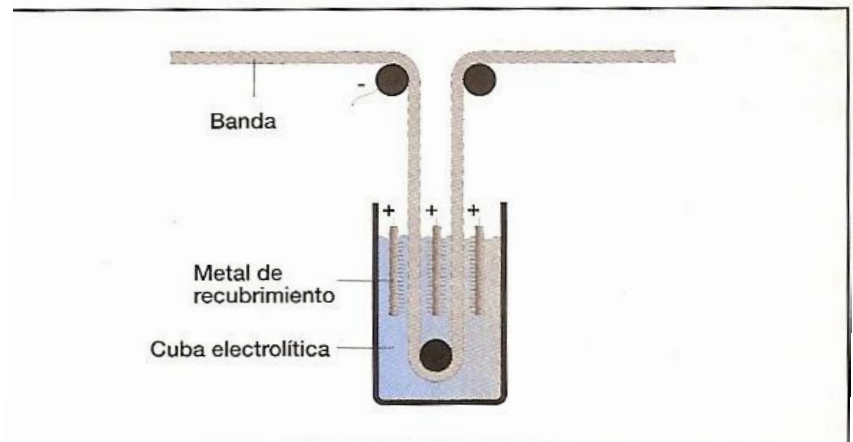
3- SUBSTRATO

RECUBRIMIENTO DE LOS ACEROS (zincado y/o estañado)

- Mediante metales protectores.
- Recubrimiento por inmersión.
- Recubrimiento por electrólisis:
disolución de sal del metal protector.



Recubrimiento por inmersión.



• MÉTODOS

metalización

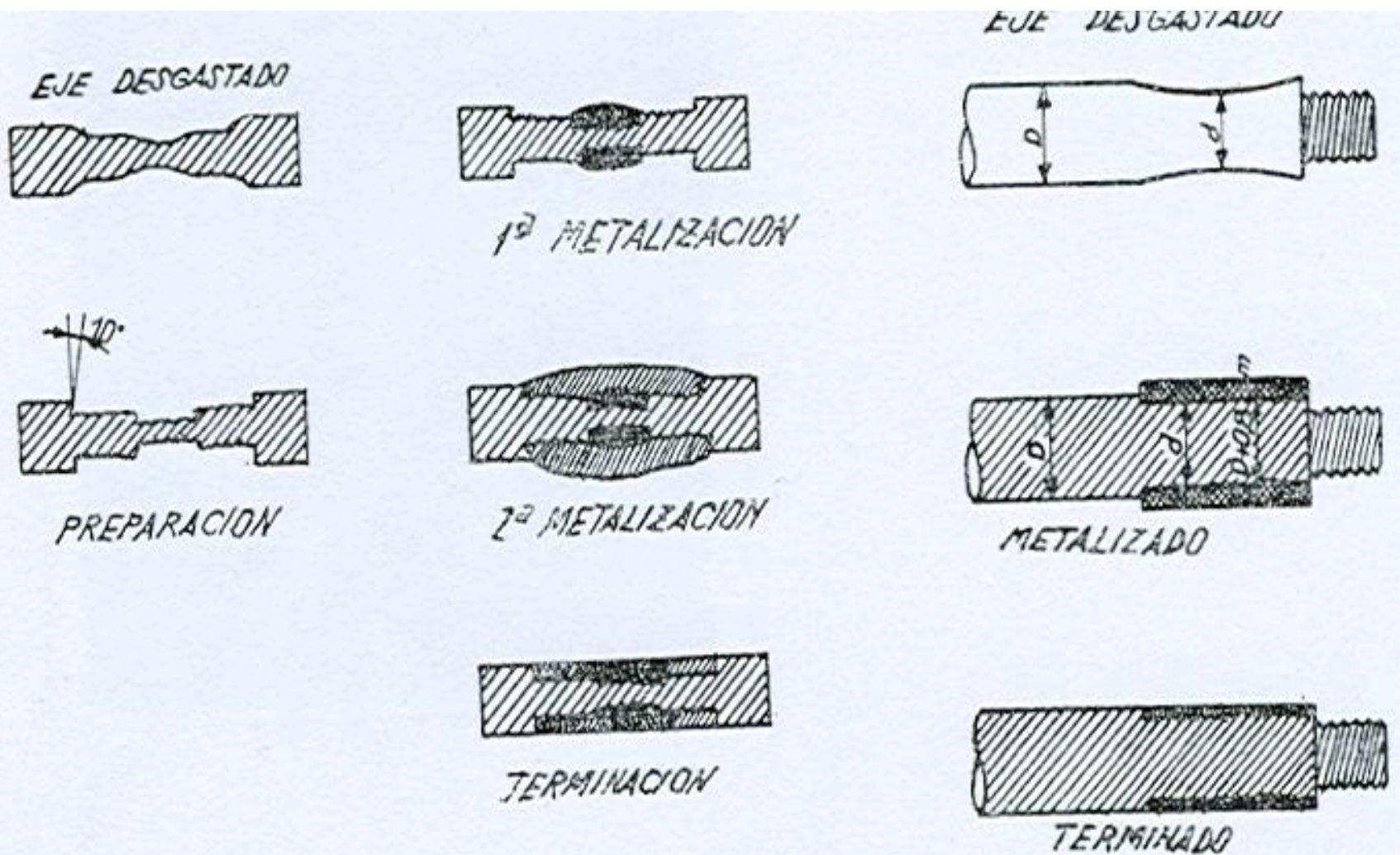


Fig. 33-10. — Preparación y metalización de un eje irregularmente desgastado

Tecnología de Metalizado

Fundamentos

- Sistema genérico compuesto de:
 - Material a depositar: bobinas de alambre, micropolvos metálicos, carburos, cerámicas y plásticos
 - Unidad de proyección: procesa fuente de energía, incorpora material a depositar
 - Fuente de energía: puede ser gases (oxígeno y acetileno), energía eléctrica para producir arco plasma o cortocircuito

Clasificación de los Procesos

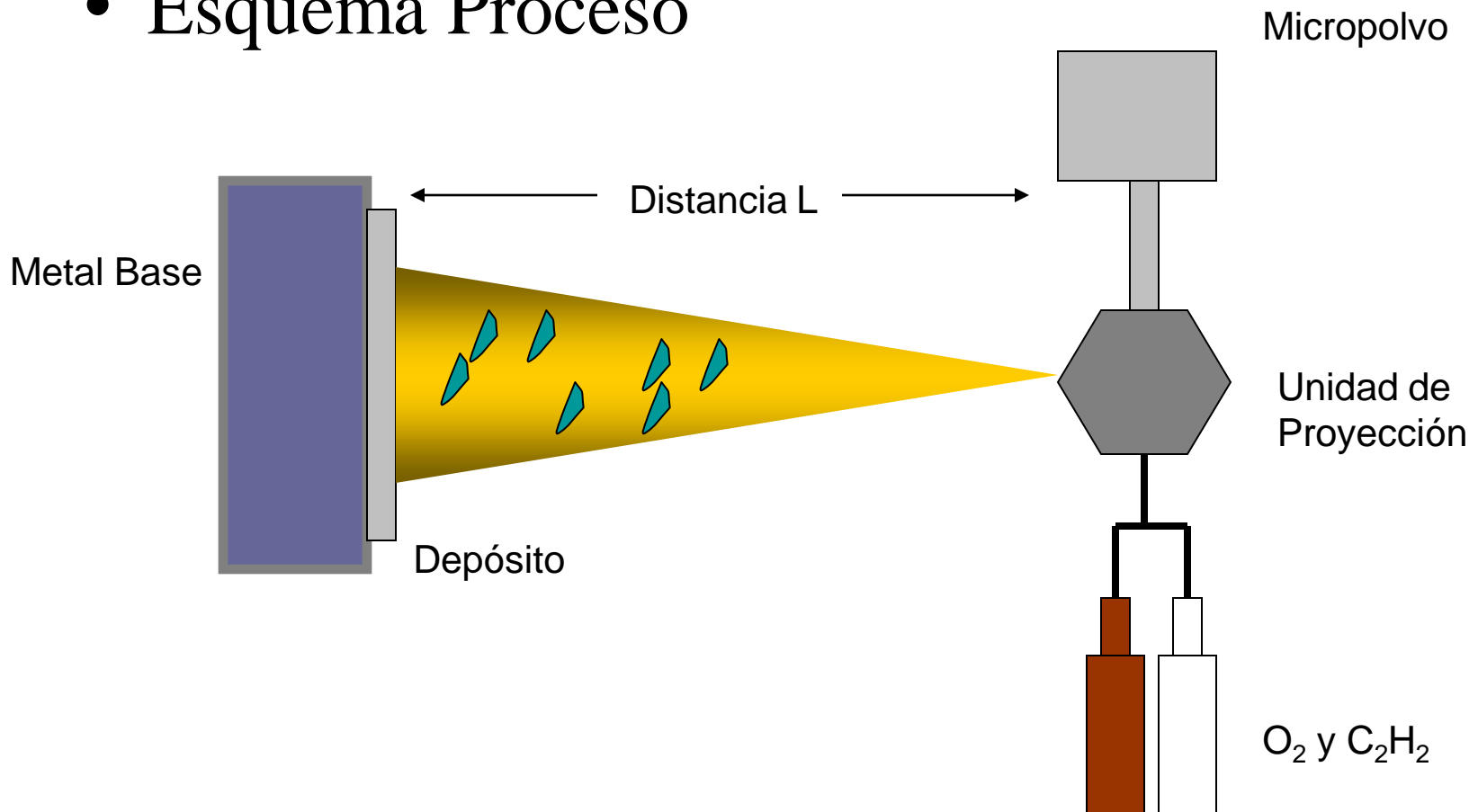
- Se clasifican en función del tipo de adherencia con metal base:
 - Metalizado: adherencia mecánica, sin difusión atómica entre aleación y metal base
 - Fusión: adherencia metalúrgica entre aporte y metal base

Proceso de Metalizado

- Características
 - Aplicable en cualquier tipo de metal o aleación metálica a excepción de Cu puro
 - Temperatura metal base no excede 250° C
 - Depósitos de porosidad controlada, entre 1 a 6%
 - Buena resistencia al desgaste friccional, abrasivo y erosivo
 - En general, depósitos no admiten acción de carga puntual
 - Rango de durezas entre 70 Rb y 60 Rc

Proceso de Metalizado

- Esquema Proceso



Sistemas de Metalizado

- Sistema ROTOTEC
 - Deposito de aleaciones micropulverizadas sobre piezas cilíndricas sometidas a desgaste. Fuente térmica llama oxiacetilénica
 - Equipamiento básico
 - Cilindros y reguladores estándar de O₂ y Acetileno
 - Pistola para metalizado
 - Aleaciones micropulverizadas de base y recubrimiento final
 - Herramienta calzada de carburo de tungsteno
 - Lápices térmicos de 100 y 250°C
 - Presiones de trabajo: 0.5 kg/cm² (7 psi) Acetileno y 1.0 kg/cm² (14 psi) O₂

Sistemas de Metalizado

- Sistema ROTOTEC
 - Debe emplearse una aleación de liga entre el material base y el micropolvo de revestimiento
 - Aplicaciones:
 - Reconstrucción de superficies cilíndricas desgastadas por fricción
 - Abrasión o erosión de ejes de bombas
 - Muñones de ejes de levas
 - Descansos
 - Ejes de ventilador
 - Pistones hidráulicos
 - Áreas de sellado
 - Áreas de empaque
 - Ajustes de precisión
 - etc

Aplicaciones Típicas



Industria: Papel, Pulpa
Pieza: Rotor de bomba
Producto: ProXon 19132
Incremento vida útil 200%



Industria: Textil
Pieza: Cigüeñal
Producto: ProXon 19122
Incremento vida útil 200%



Industria: Utilitaria
Pieza: Camisa de rodillo
Producto: ProXon 19132
Incremento vida útil 300%



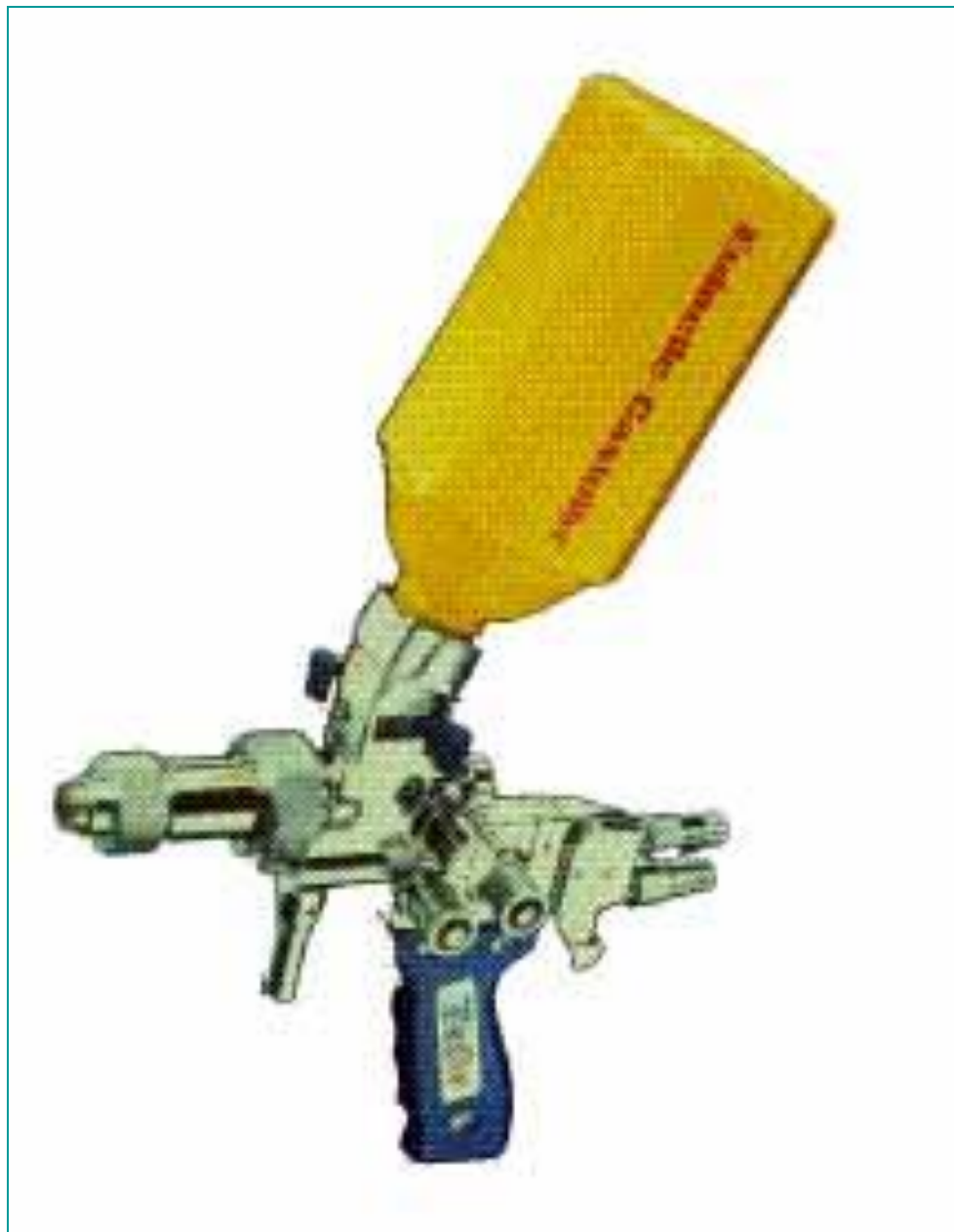
Industria: Taller
Pieza: Eje
Producto: ProXon 19121
Incremento vida útil 300%



Industria: Impresión
Pieza: Rodillo impresión
Producto: ProXon 19132
Incremento vida útil 250%



Industria: Química
Pieza: sello de bomba
Producto: ProXon 19132
Incremento vida útil 200%



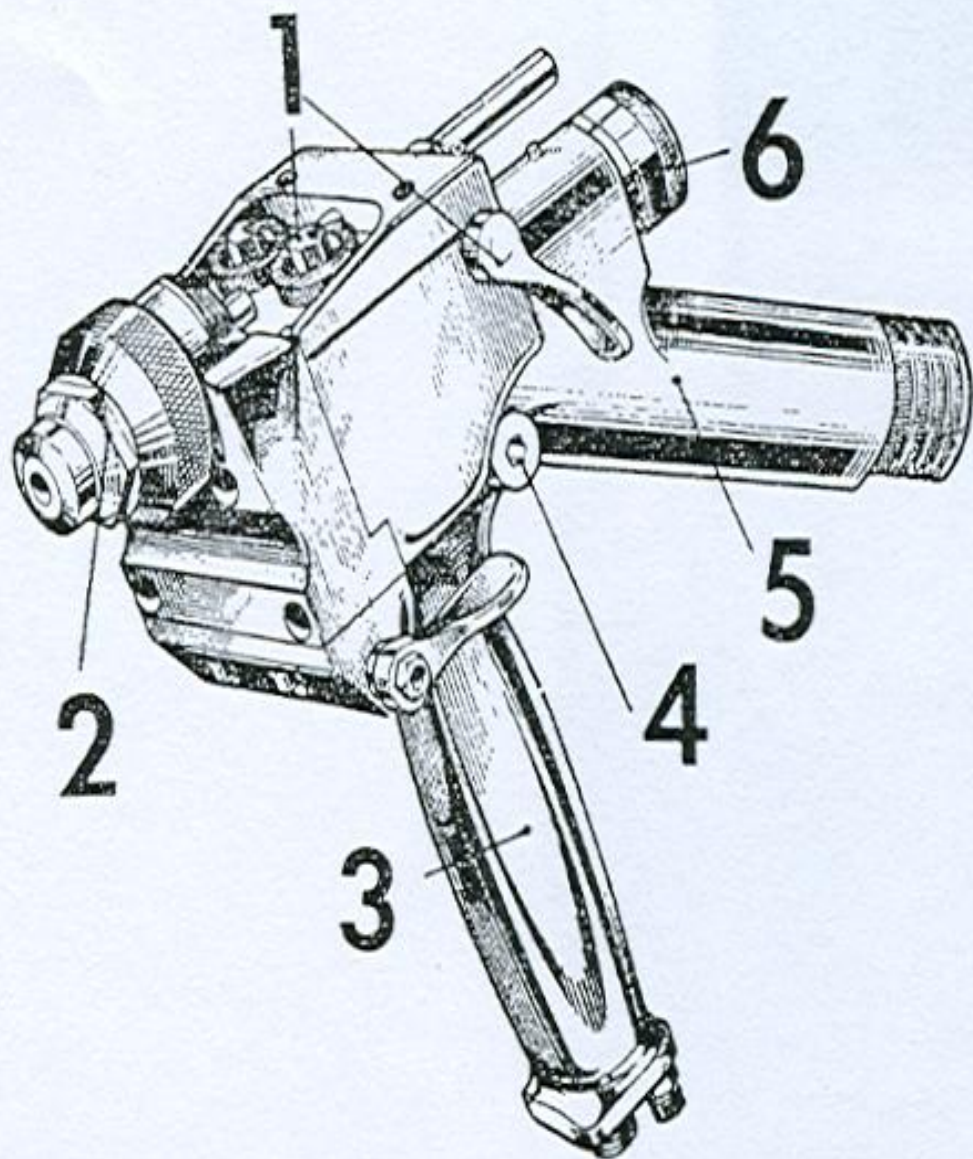
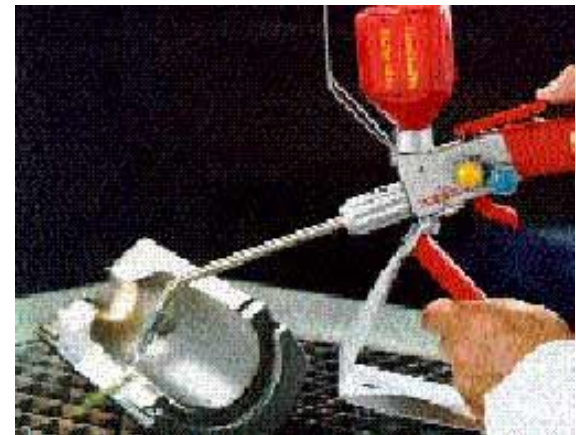


Fig. 33-14. — Pistola de proyección TOP-JET: 1, mandos; 2, boquilla de proyección; 3, soporte con las tuberías de entrada de oxígeno, acetileno y aire; 4, mecanismo de micrométrico para el avance automático del alambre. (Gentileza de «Sánchez Bueno, S. A.» de Vitoria, y «Société Nouvelle de Métallisation», de París.)

Procesos de Metalización

- Características
 - Temperatura de aplicación superficial de 950° C
 - Depósitos son densos e impermeables
 - Estructura del depósito libre de óxido
 - Buena resistencia al desgaste abrasivo, erosivo y corrosivo, admitiendo impacto y ciclaje térmico
 - Se obtienen durezas de 70 Rb a 65 Rc

Sistema Eutalloy



Procesos de Metalización

- Equipamiento básico
 - Equipo estándar de acetileno
 - Soplete especialmente diseñado compuesto por mango, cámara de gases, venturi de aspiración de aleación, portaboquilla y boquilla intercambiable
 - Aleaciones micropulverizadas de distintas características para diversas aplicaciones

Procesos de Metalización

– Aplicaciones

- Reconstrucción y protección de infinidad de piezas y partes de tamaño reducido como dientes de engranaje, chaveteros, camiones de ejes de leva, válvulas , guías de cadenas, matrices, cuchillas, tornillos sin fin, etc.