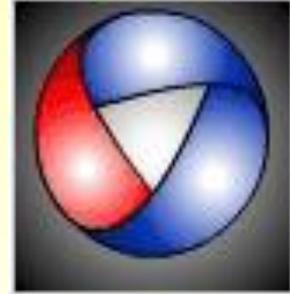


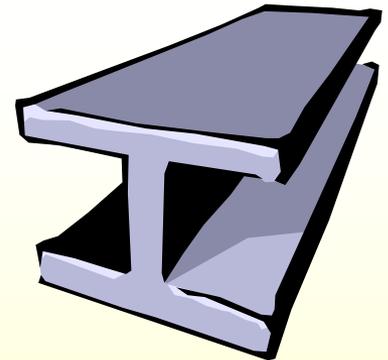


Universidad Nacional de Cuyo  
Facultad de Ingeniería



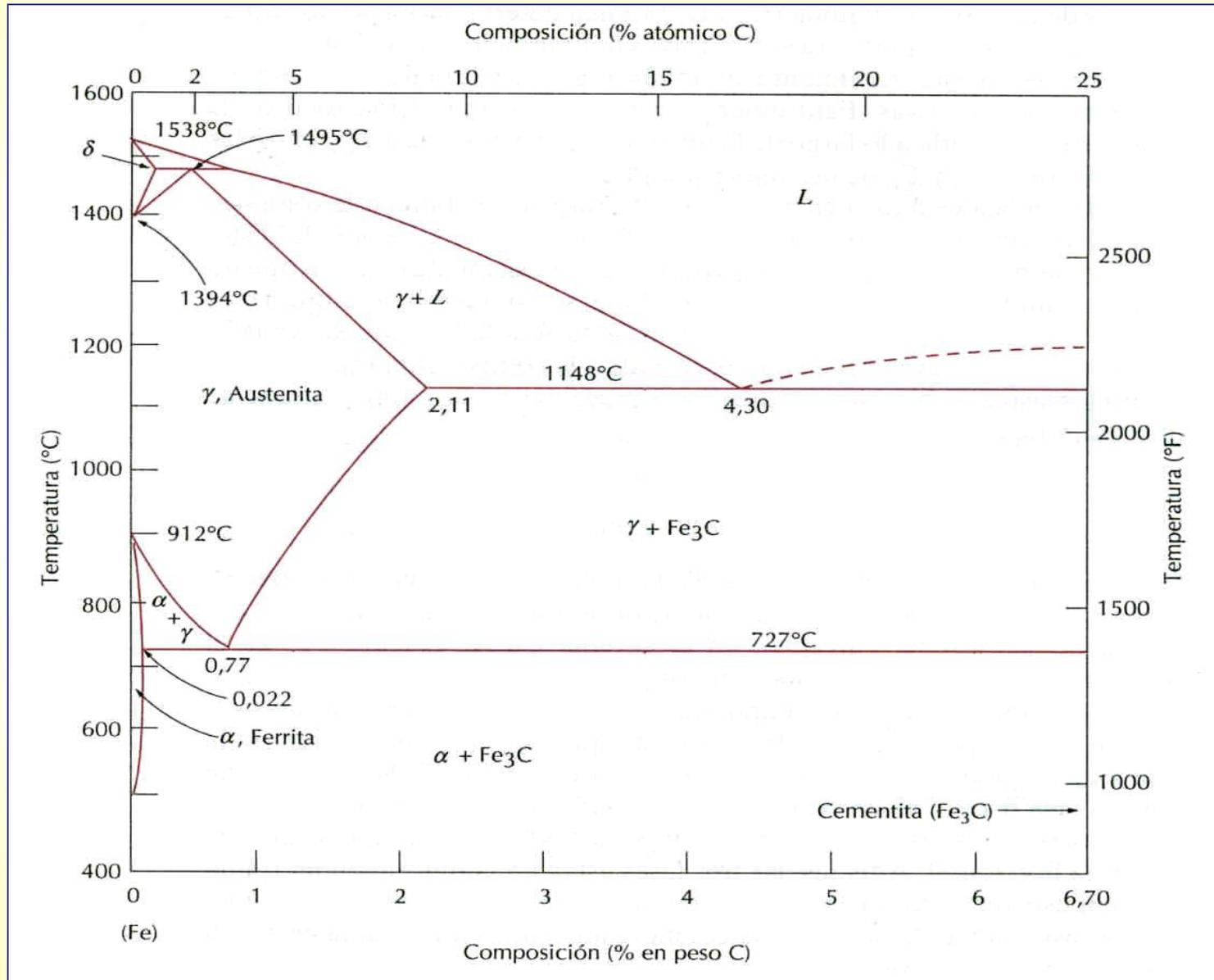
# Fundamentos de los Tratamientos Térmicos de los aceros

## Diagramas TTT

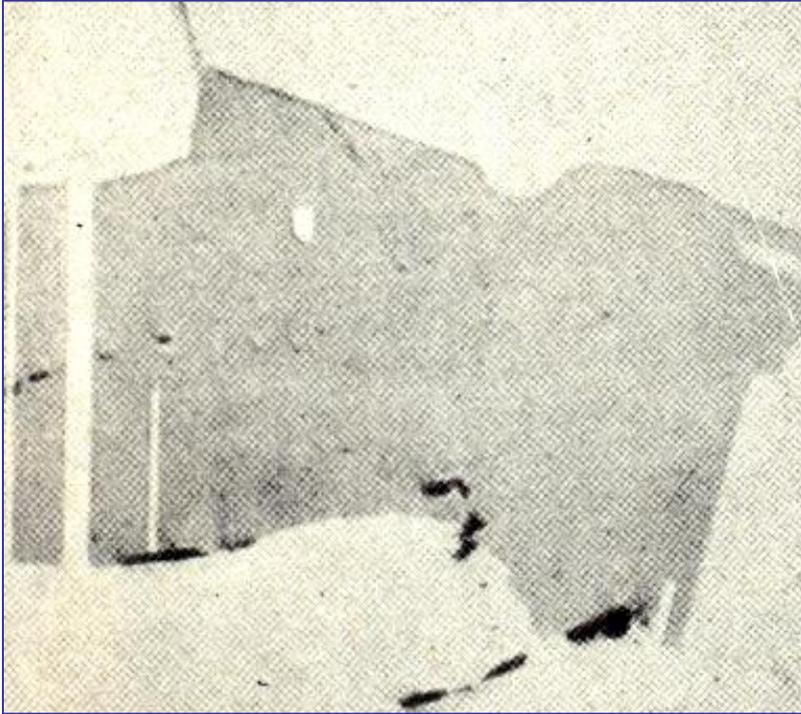


**Dra. Ana María Furlani**

# Como vimos la clase anterior: **DIAGRAMA Fe-C**



# Austenita

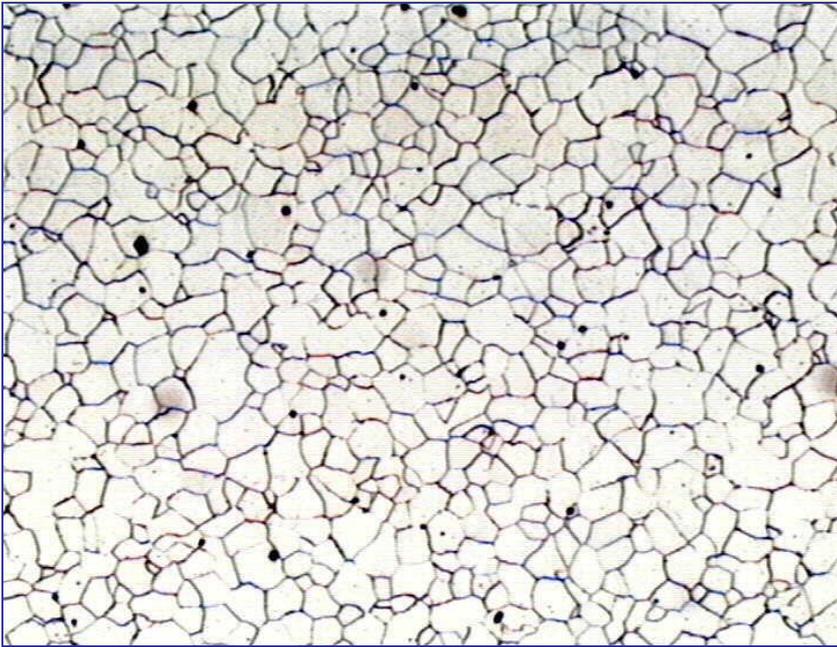


**Austenita en un acero con carbono 0,5% y níquel 24,4% (x100)**

## Austenita

- Está formada por una solución sólida de inserción de C en el  $Fe\gamma$ . Sólo es estable a temperaturas superiores a  $A_1$  (723 °C), desdoblándose (por reacción eutécticoide) a temperaturas inferiores en **ferrita** y **cementita**.
- La **austenita** es deformable, poco dura, presenta gran resistencia al desgaste, no es magnética y es el constituyente más denso de los aceros.

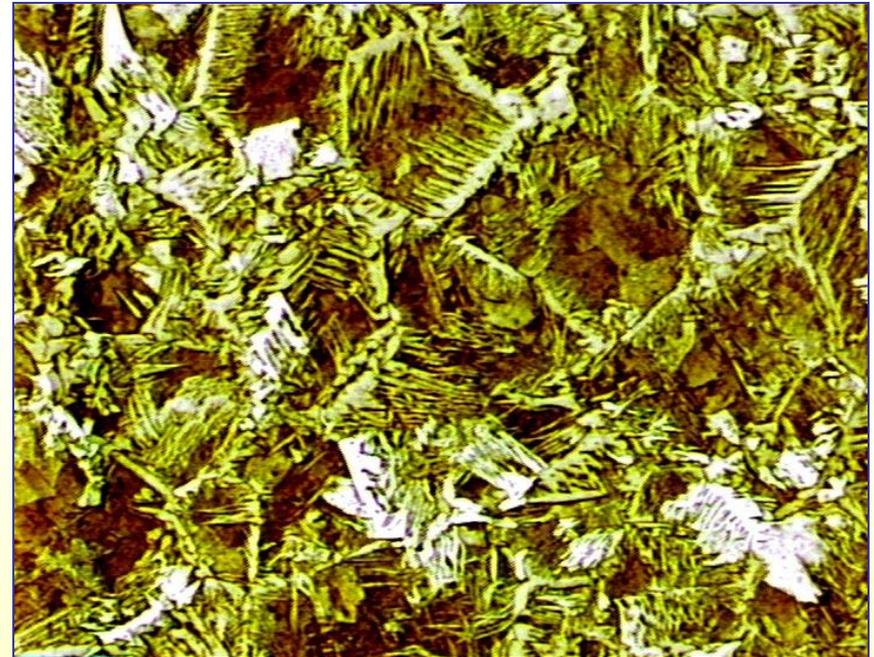
# Ferrita



**Morfología Equiaxial. (x100)**

Está formada por una solución sólida de inserción de C en  $Fe\alpha$ . Es el constituyente más blando y maleable de los aceros.

Un enfriamiento rápido desde altas temperaturas obliga a un crecimiento de la ferrita según ciertas direcciones preferenciales



**Estructura de Widmastatten. (x100)**

# Cementita

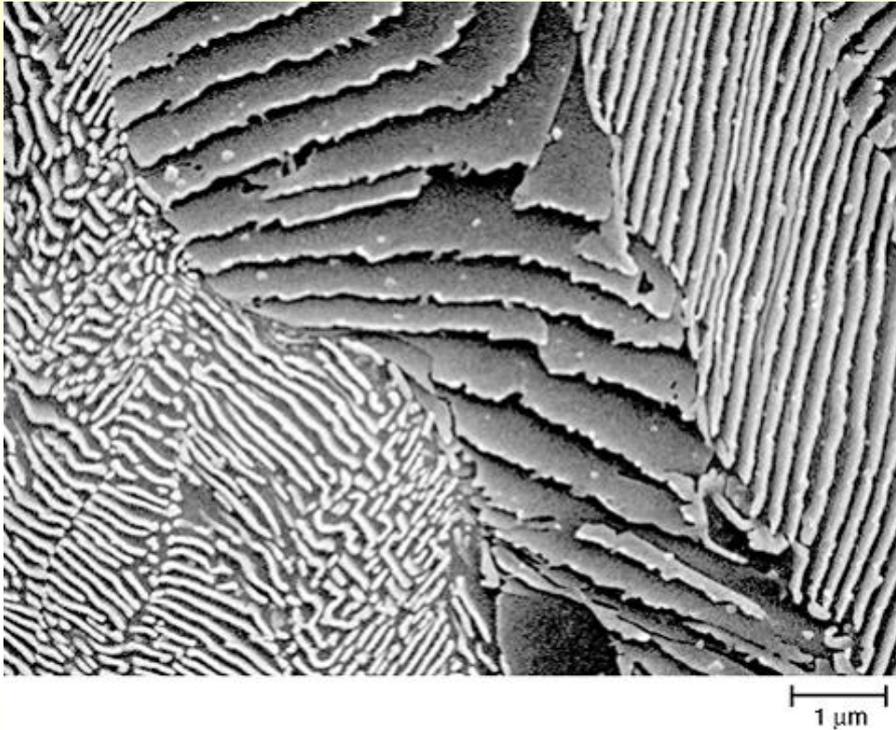


**Acero hipereutectoide (x100)**

La cementita secundaria forma una red continua enmarcando una estructura granular formada por colonias de perlita.

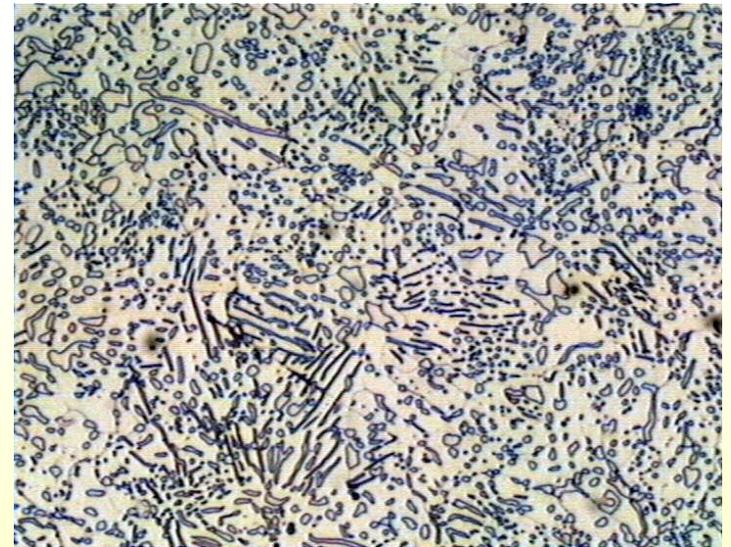
Es carburo de hierro,  $\text{Fe}_3\text{C}$ , Es muy frágil y duro

# Perlita



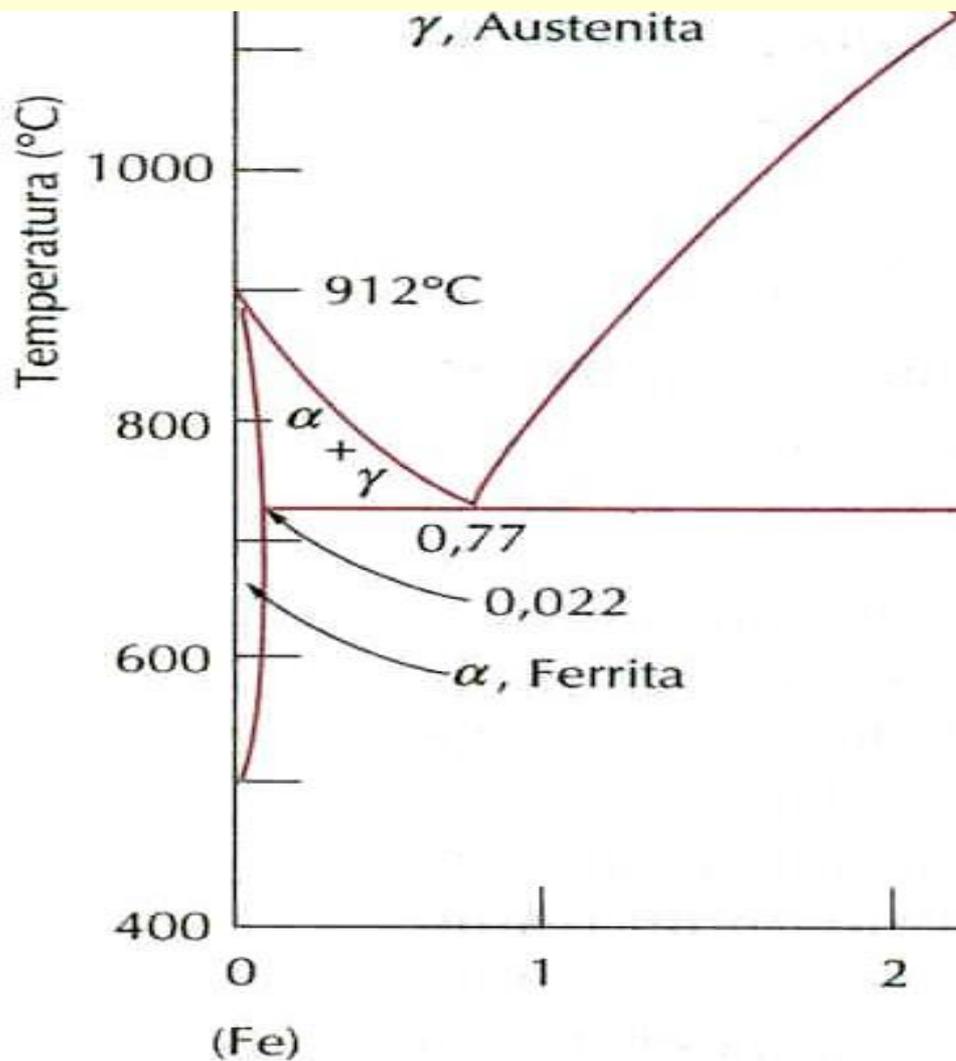
Microestructura de colonias de perlita en un acero al carbono 0.89%C tomada con microscopio electrónico de barrido. Las placas de cementita son mostradas claramente. Ataque con picral al 4%. Aumento original de 10000x.

Cuando la transformación eutectoide se realiza lentamente o cuando tras la formación de perlita se da un tratamiento de esferoidización la cementita no aparece en forma laminar, sino en forma globular de menor contenido energético.

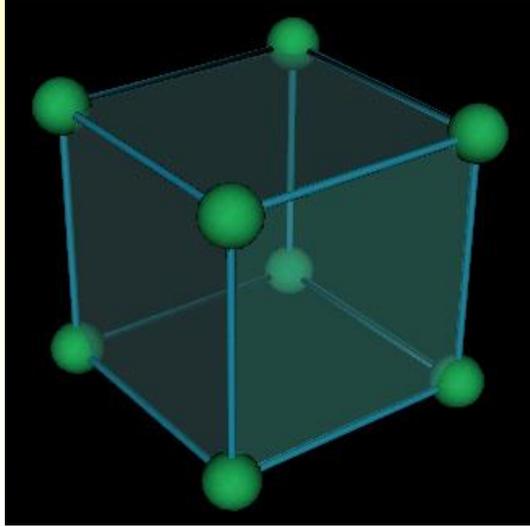


**Micrografía de Perlita Globular-esferoidita (x400)**

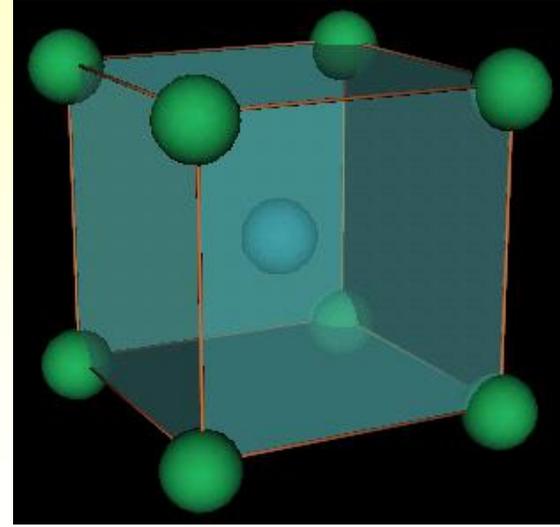
# Transformación eutectoide



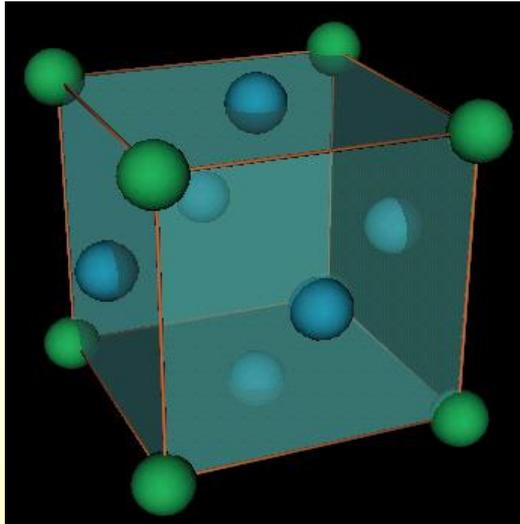
# Estructuras cristalográficas



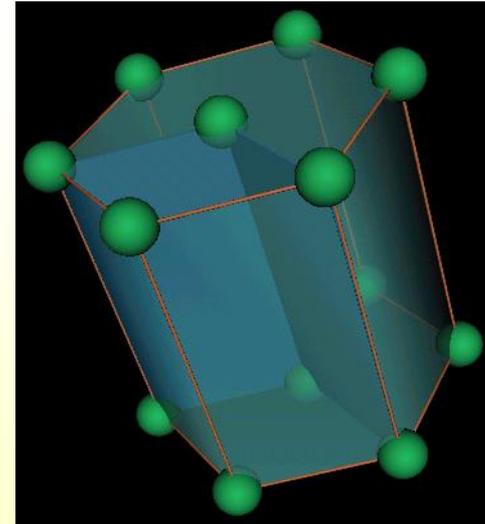
CÚBICO SIMPLE



CÚBICO CENTRADO EN EL CUERPO

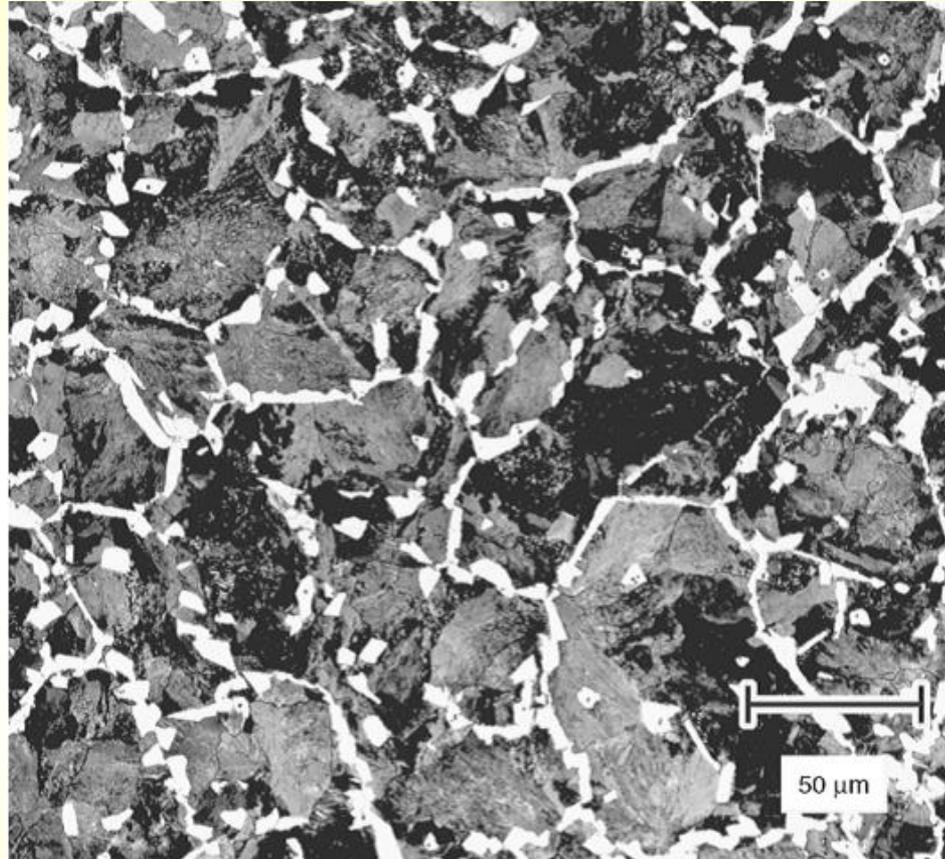


CÚBICO CENTRADO EN LAS CARAS



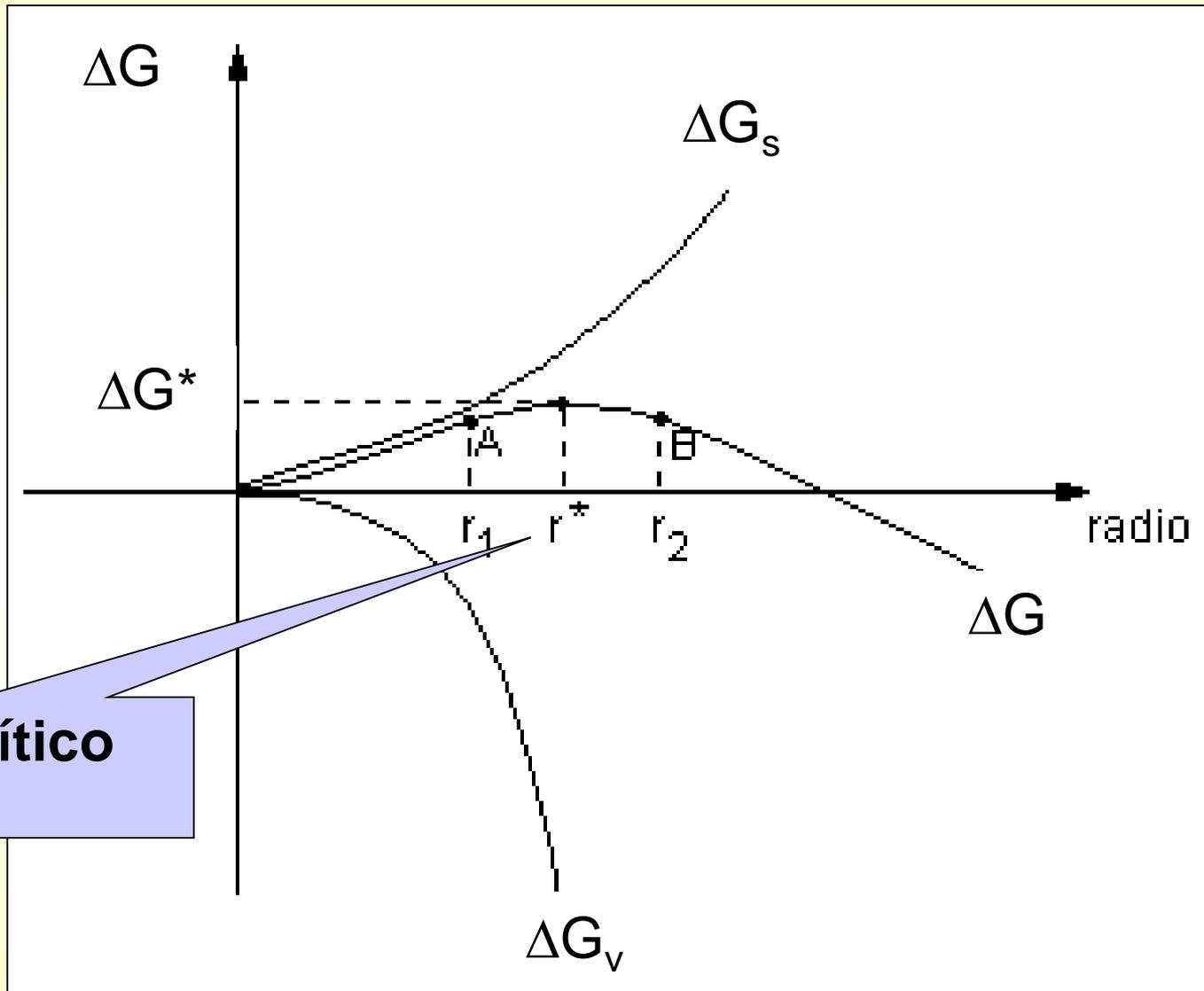
HEXAGONAL CENTRADO EN LAS CARAS

# ESTRUCTURA GRANULAR



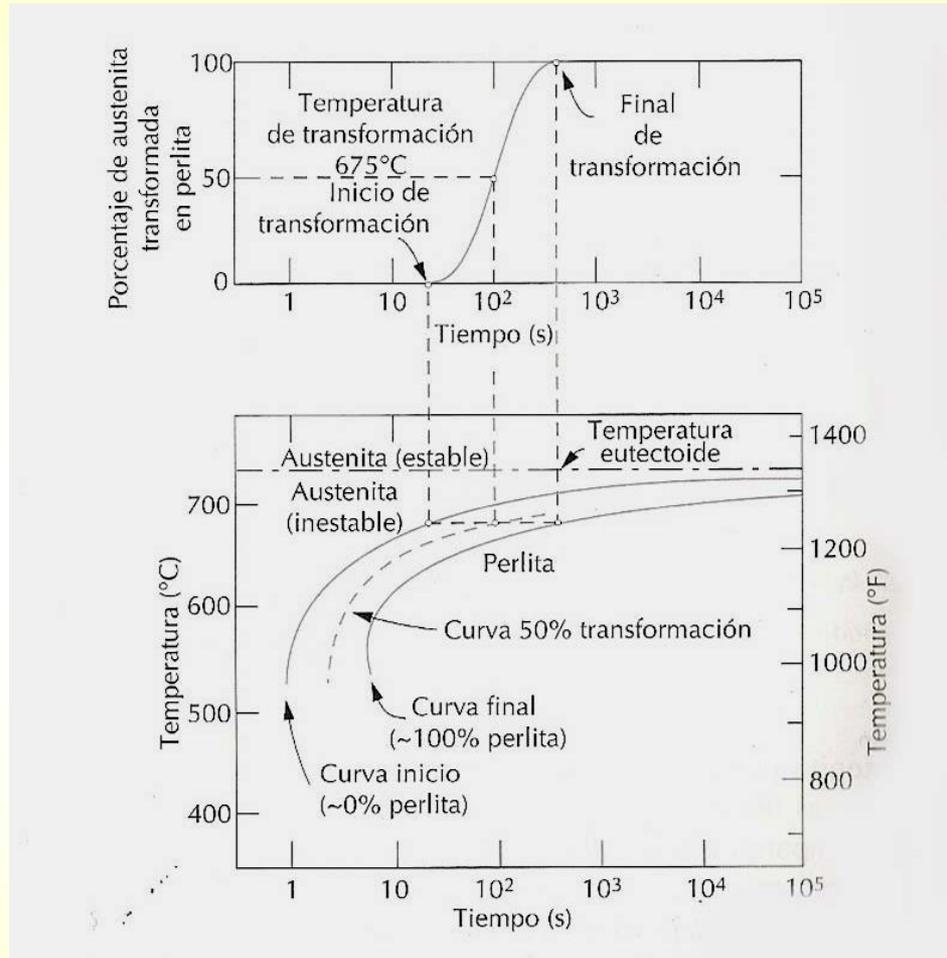
Microestructura de acero al carbono UNS G10400, se observan granos de ferrita proeutectoide equiaxial, rodeando los bordes de grano de autenita previa. La matriz es perlítica (constituyente oscuro).  
Ataque con picral al 4%. Aumento Original 200×.

# NUCLEACIÓN Y CRECIMIENTO



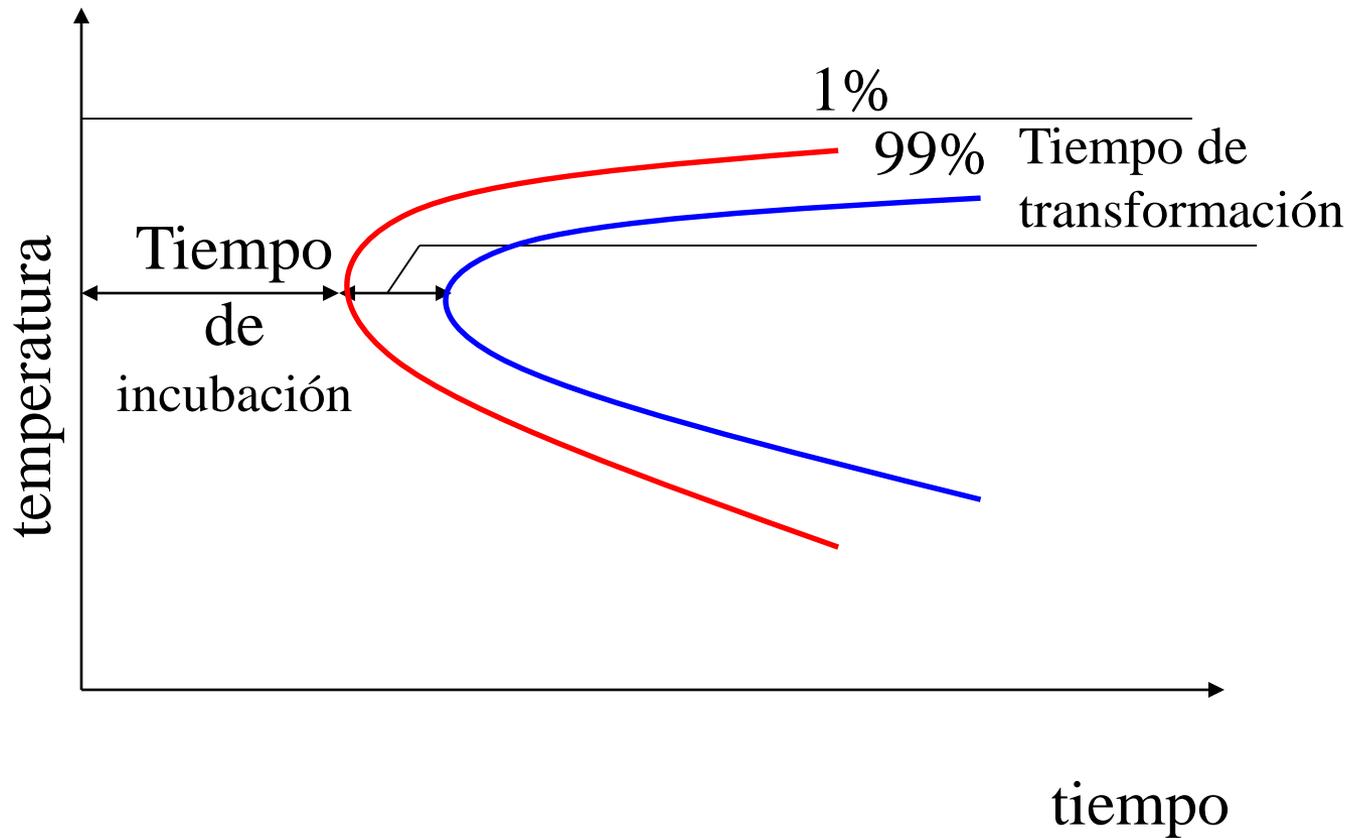
**Radio Crítico**

# Transformación isotérmica - Curva cinética

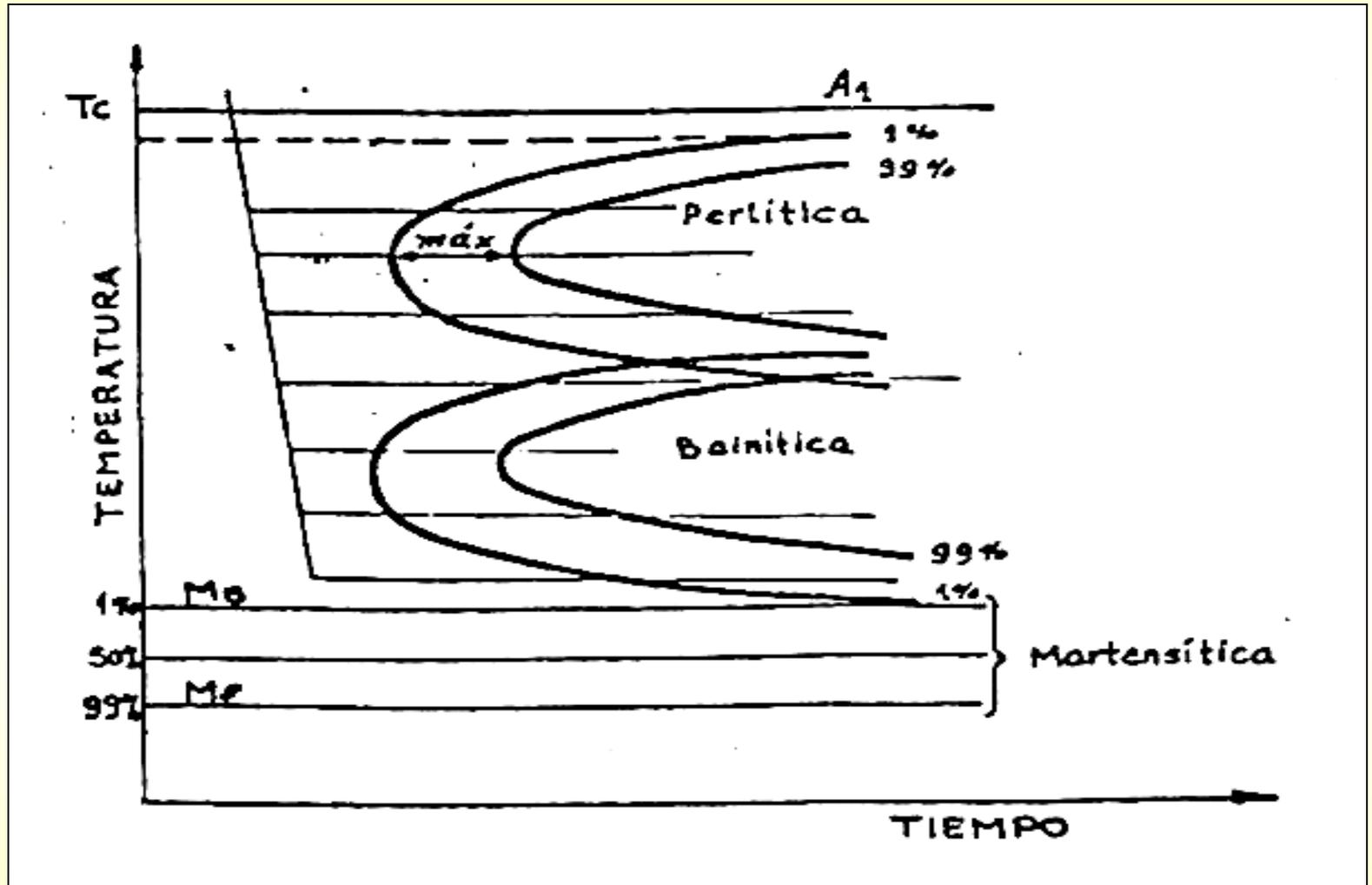


**Obtención de un diagrama de transformación isotérmica (abajo) a partir del porcentaje de transformación en función del tiempo de experimentación (acero genérico)**

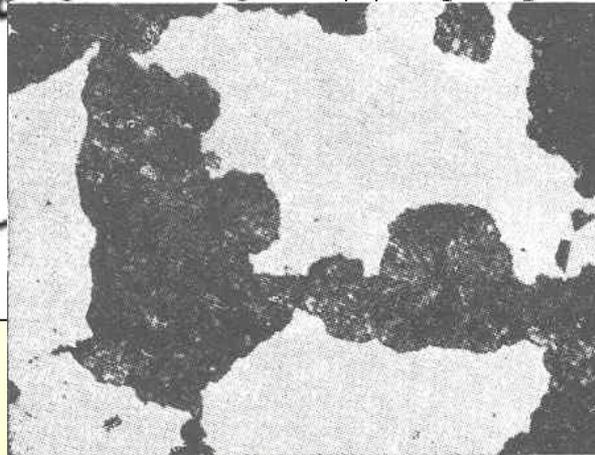
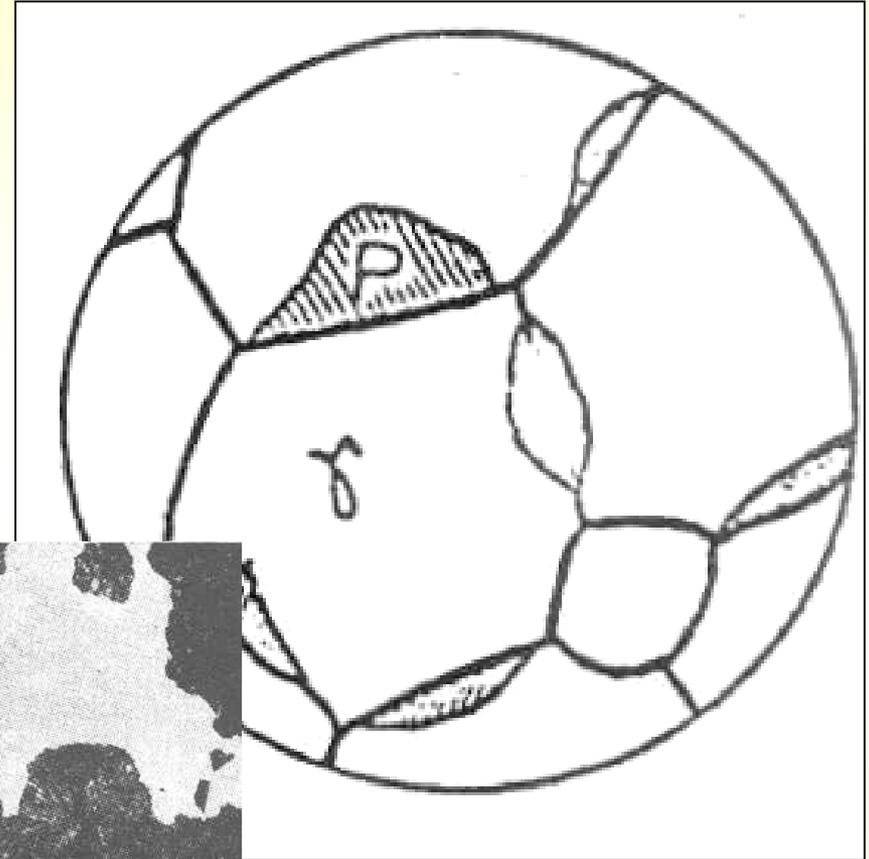
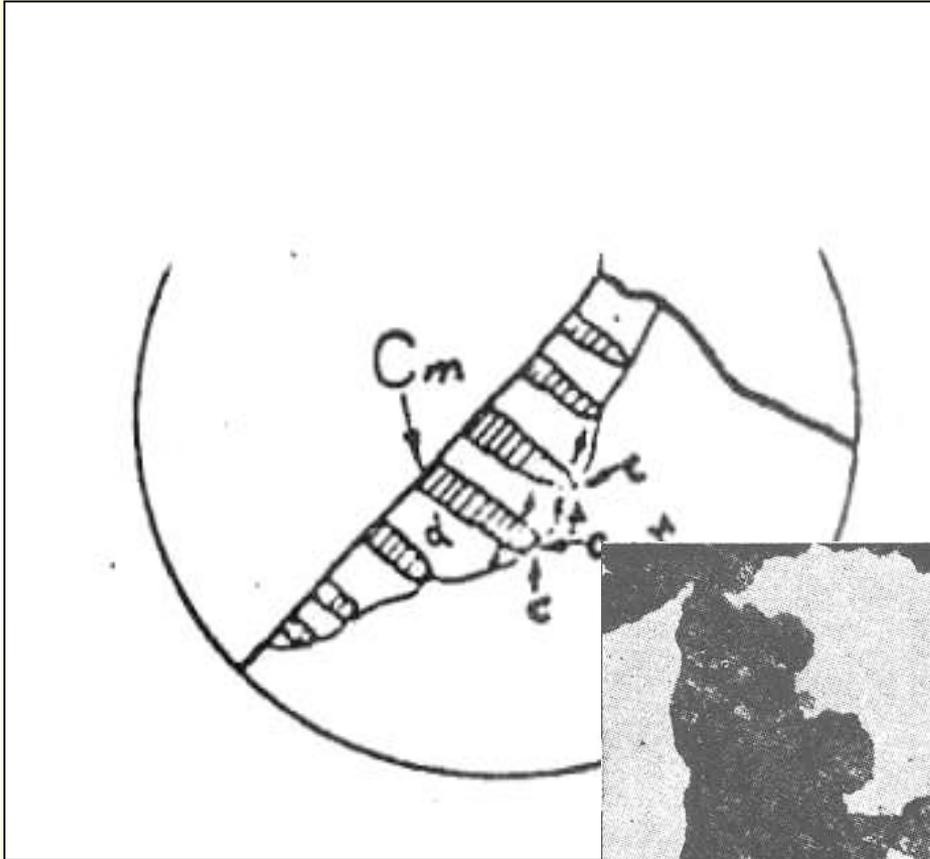
# Curva TTT – Factores que intervienen



# ACEROS EUTECTOIDES

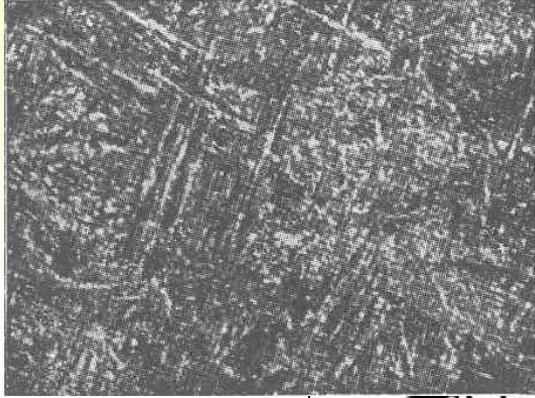


# Transformación de austenita en perlita



PERLITA GRUESA

# Transformación de austenita en bainita



*Bainita Superior*

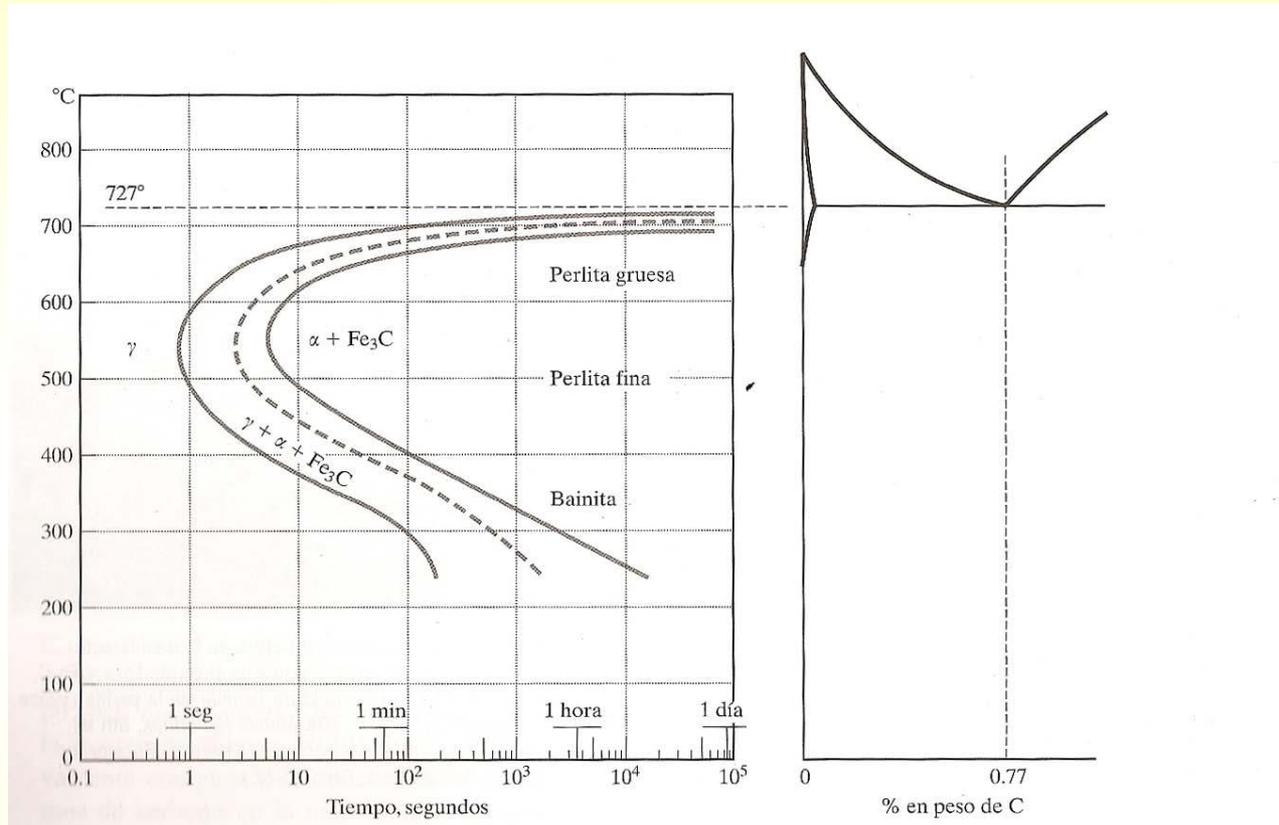


*Bainita Inferior*

# Transformación de austenita en martensita



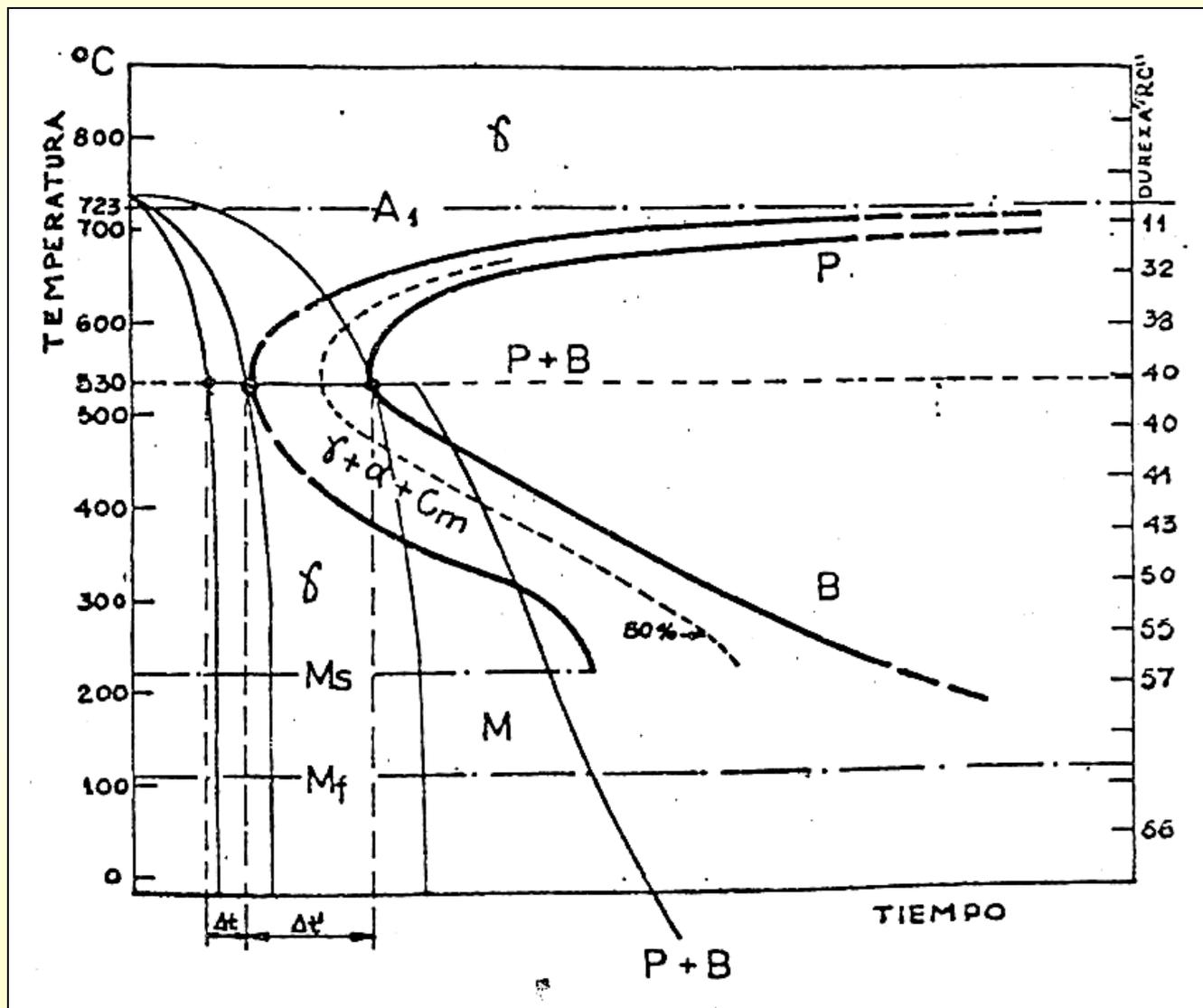
# Ejemplos



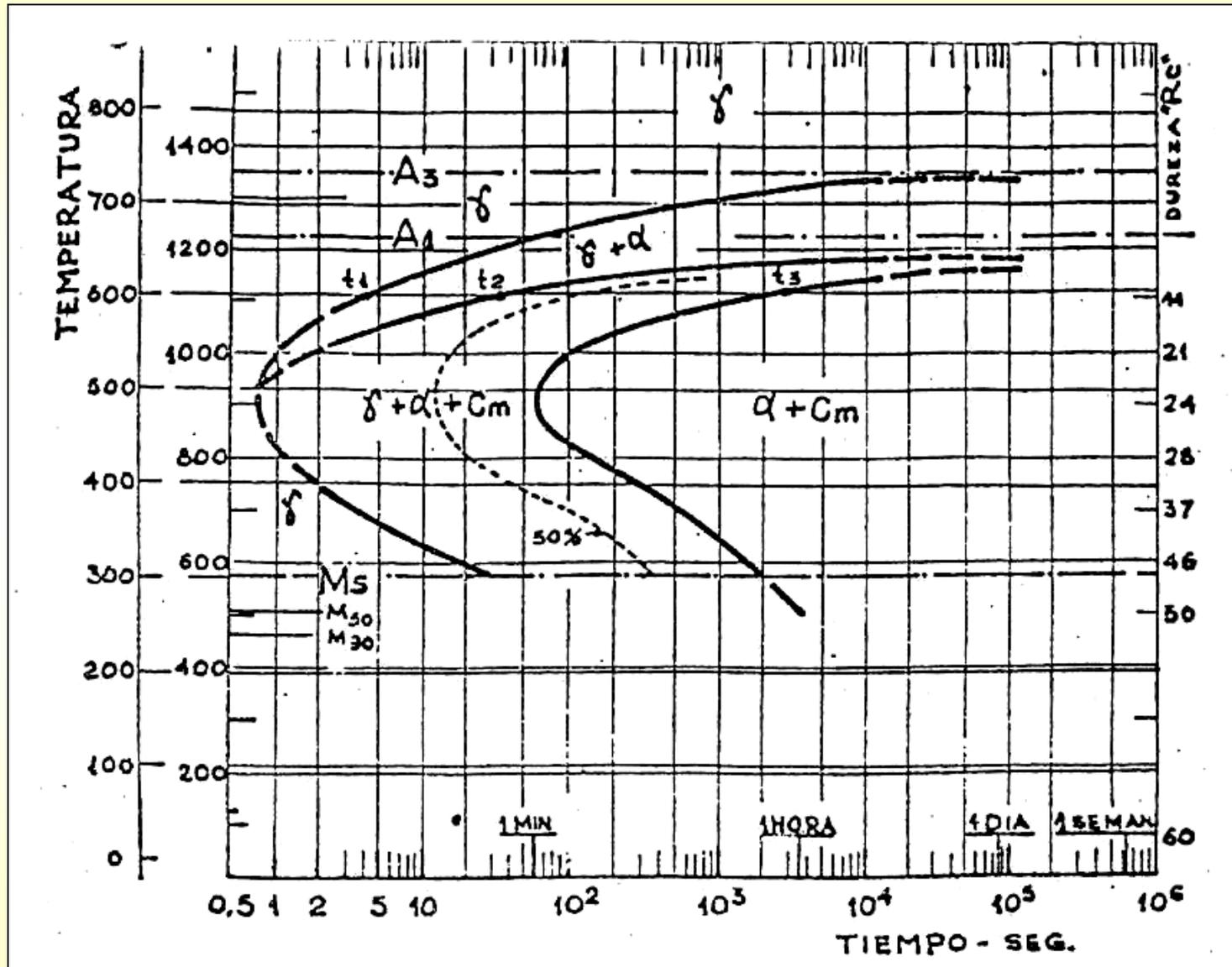
**Diagrama TTT para acero eutectoide, comparación con diagrama Fe-CFe<sub>3</sub>.**

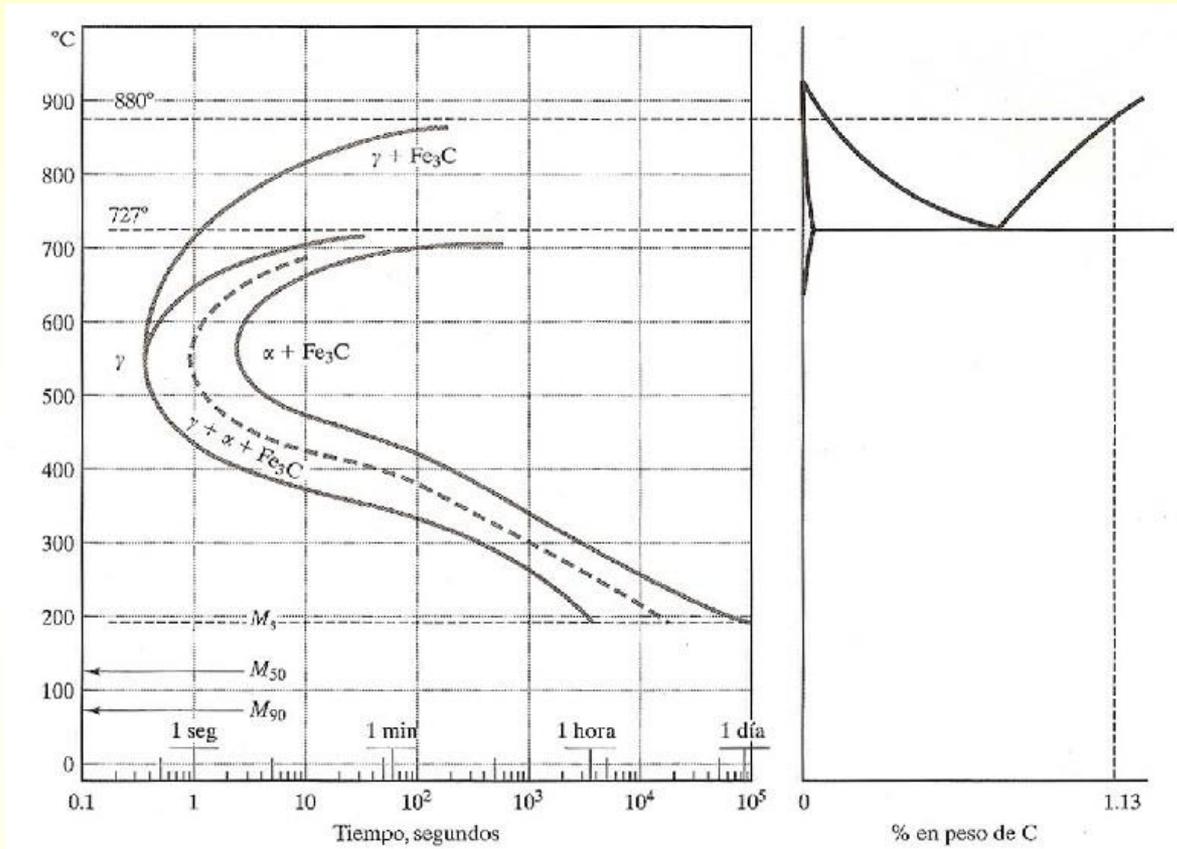
# Zonas de los productos de transformación:

Perlita, Perlita + Bainita, Bainita y Martensita.

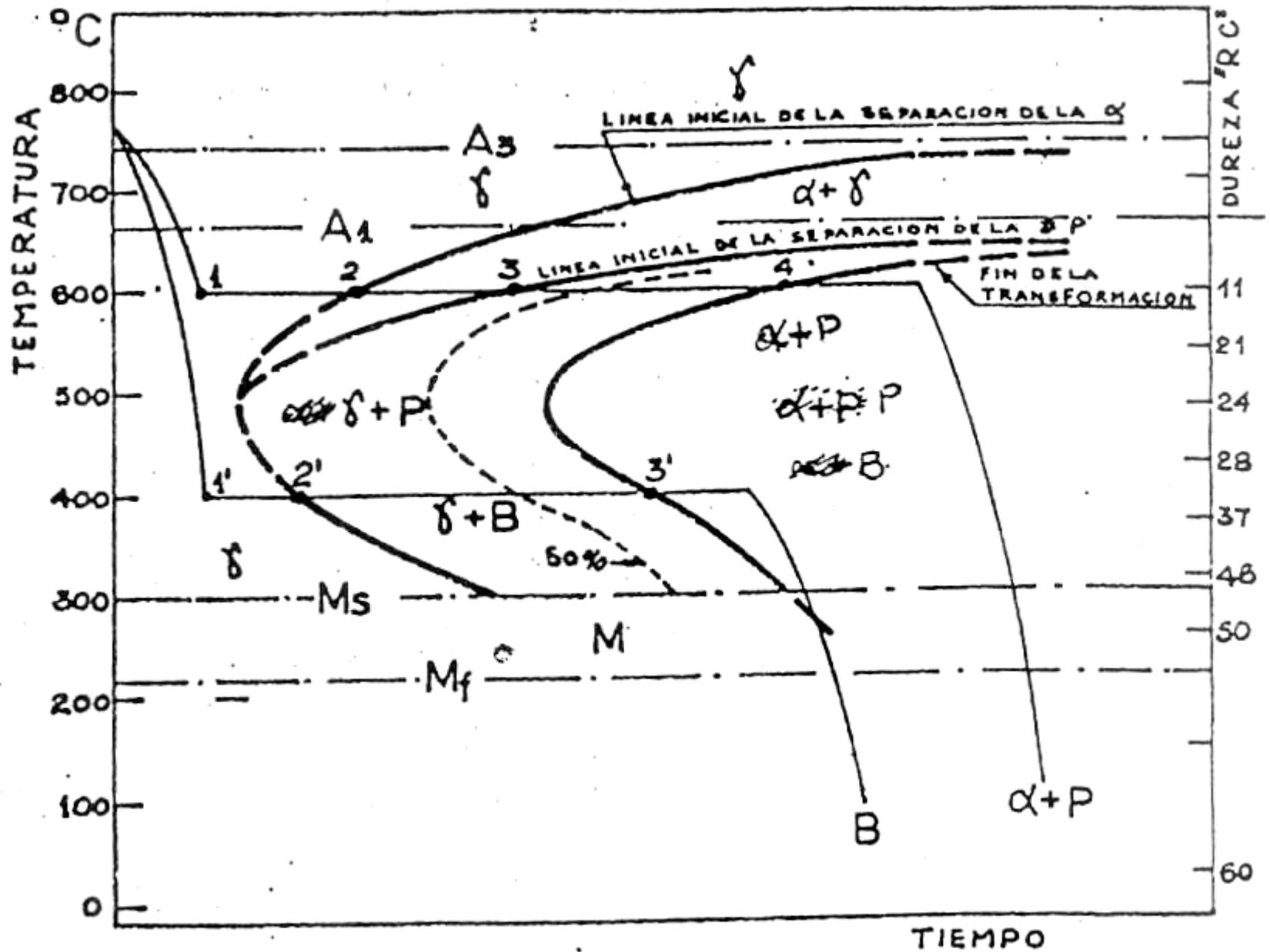


# Aceros no eutectoides



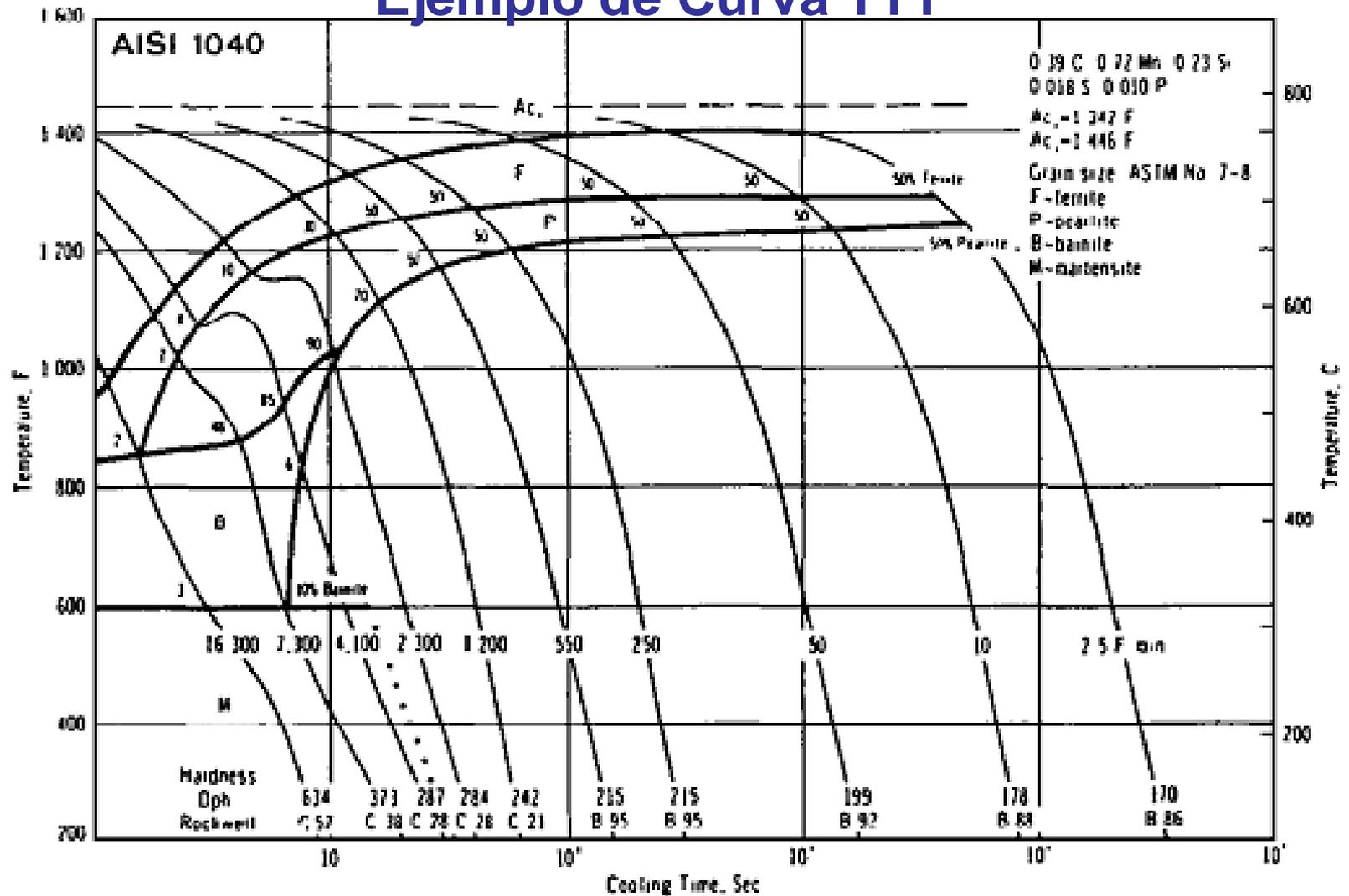


**Diagrama TTT para acero hipereutectoide, 1,13%C comparado con diagrama Fe-CFe<sub>3</sub>.**

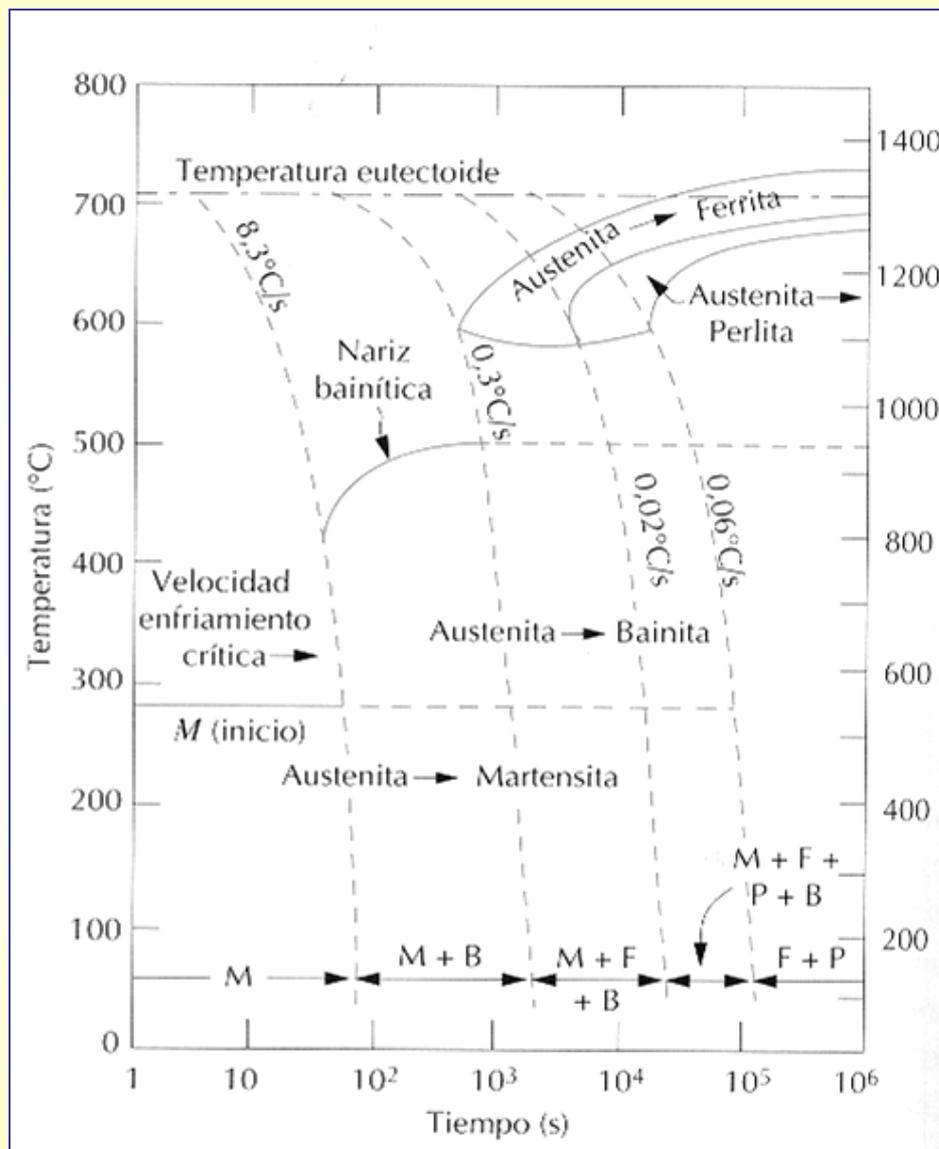


**1040: CCT Diagram.** Composition: 0.39% C - 0.72% Mn - 0.23% Si - 0.010% P - 0.018% S. Grain size: 7-8

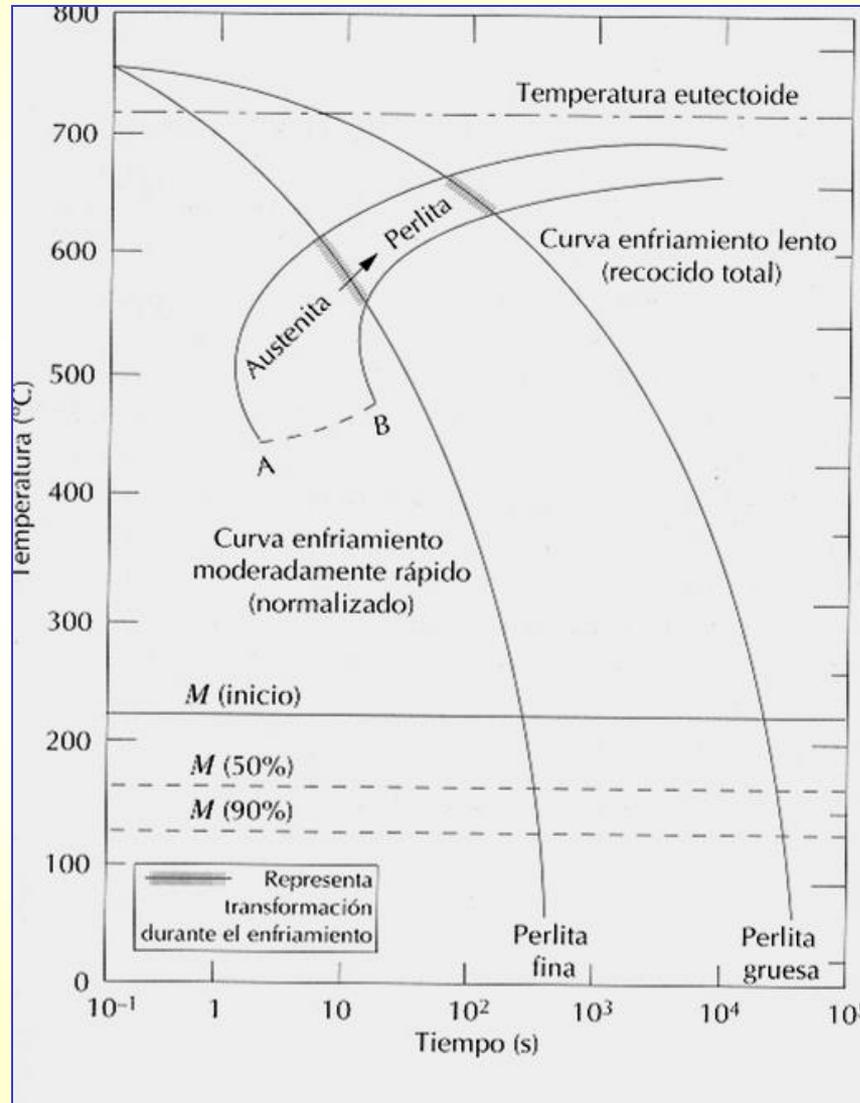
## Ejemplo de Curva TTT



**Curvas de enfriamiento sobre un diagrama de transformación por enfriamiento continuo de un acero aleado tipo 4340: influencia que la velocidad de enfriamiento ejerce en la microestructura que aparece durante el enfriamiento.**



# Curvas de enfriamientos moderadamente rápido y lento sobreimpresas encima de un diagrama de transformación de un acero eutectoide



## TRATAMIENTOS TÉRMICOS DE ACEROS NO ALEADOS

Variando la forma de calentamiento y enfriamiento de los aceros, se pueden obtener diferentes combinaciones de las propiedades mecánicas de los aceros

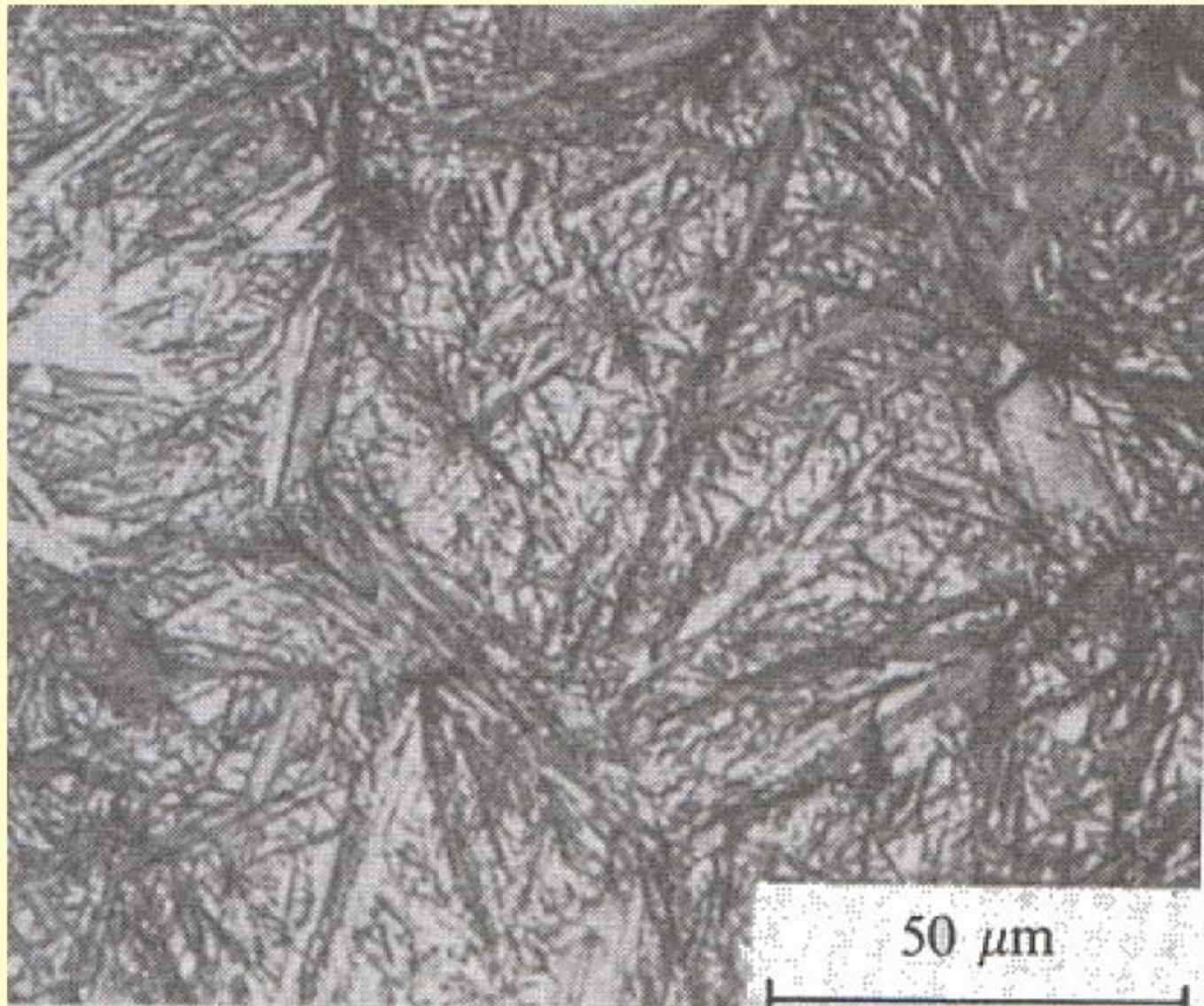
Martensita: formación de martensita Fe-C por templado rápido.

Acero austenítico  
(bajo C)

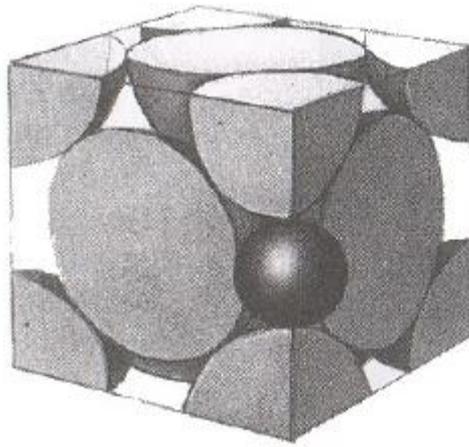
Enfriamiento rápido  
→  
(sin difusión)

Martensita  
(metaestable)

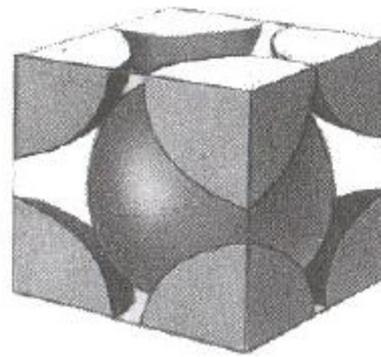
*Microestructura de la Matensita*



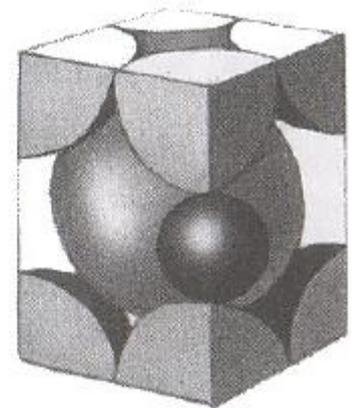
## *Estructura de martensita Fe-C a escala atómica*



Hierro  $\gamma$  ( FCC)

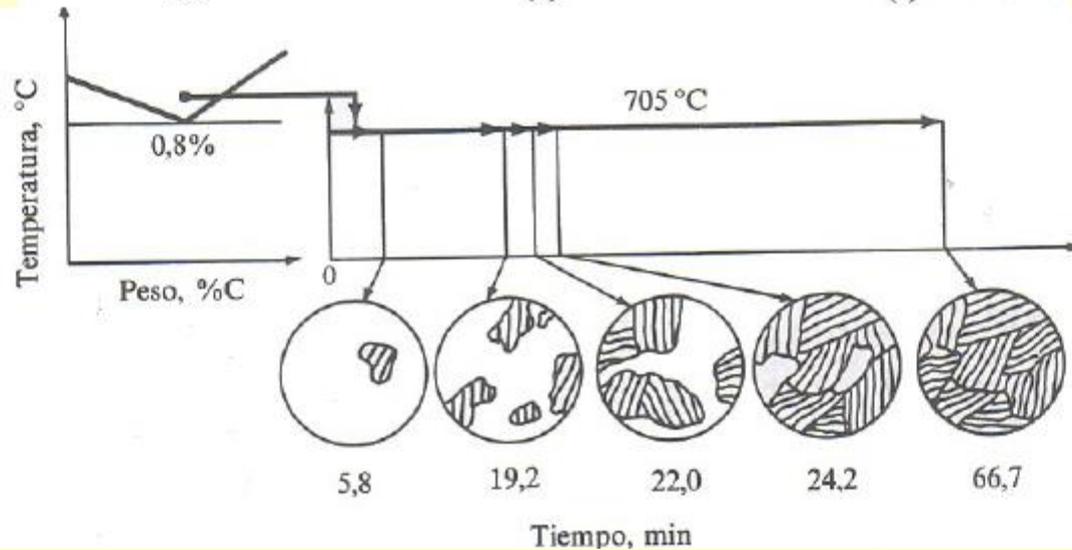
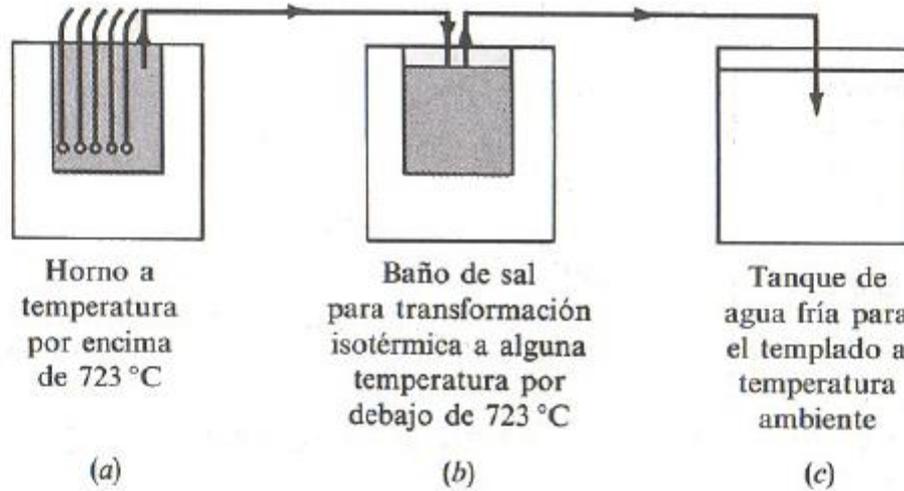


Hierro  $\alpha$  (BCC)

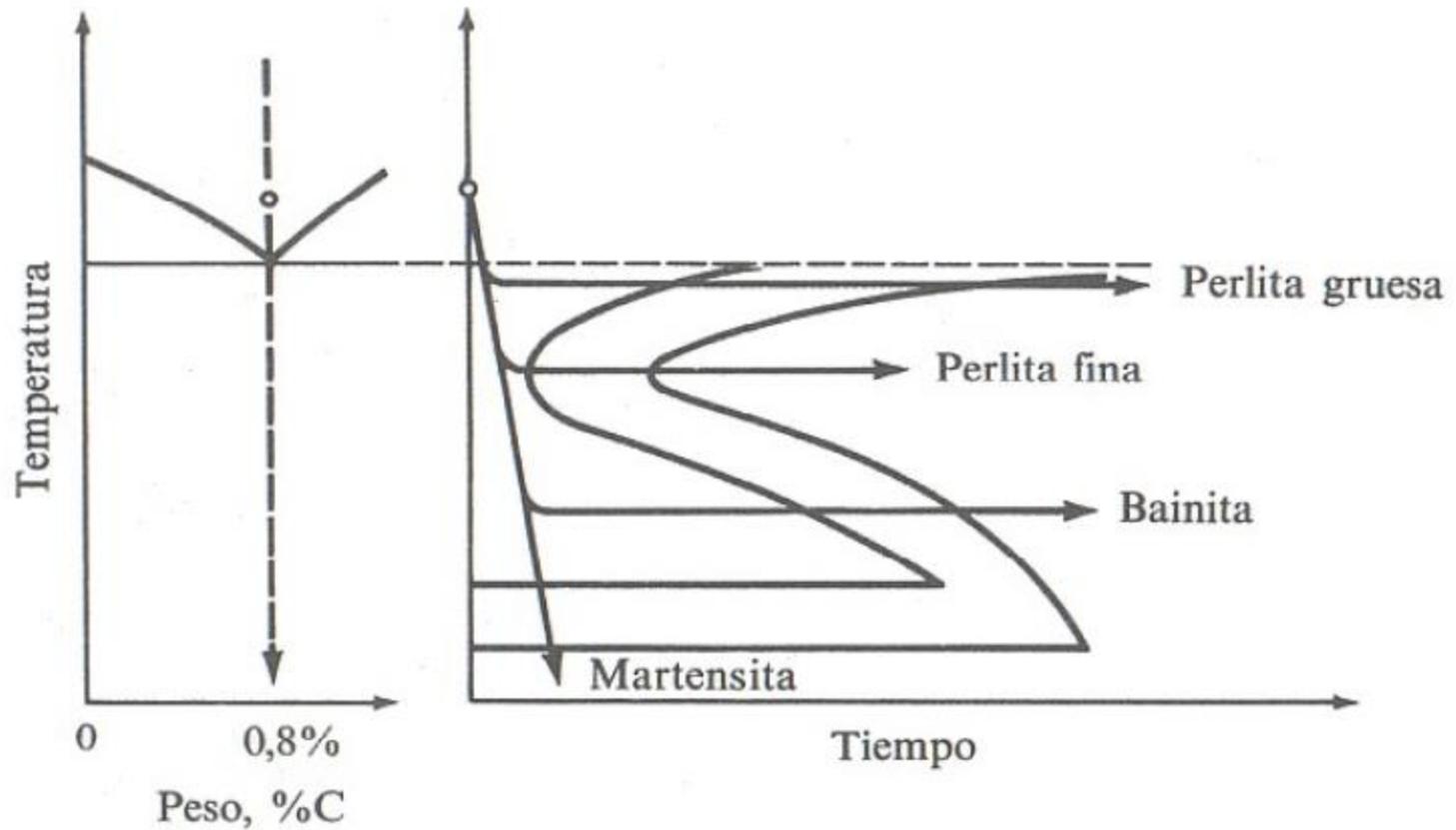


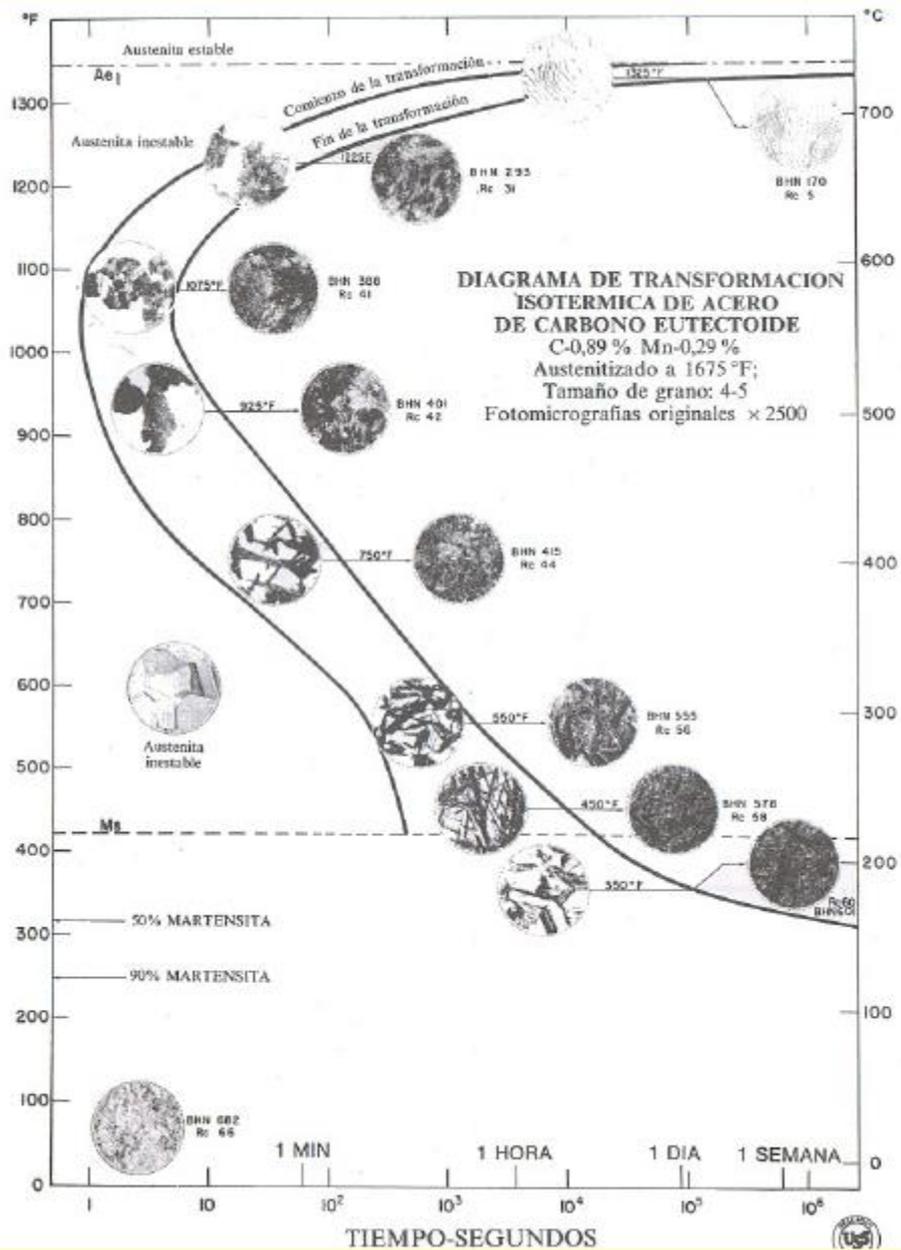
Hierro BCT

## Descomposición isotérmica de la austenita



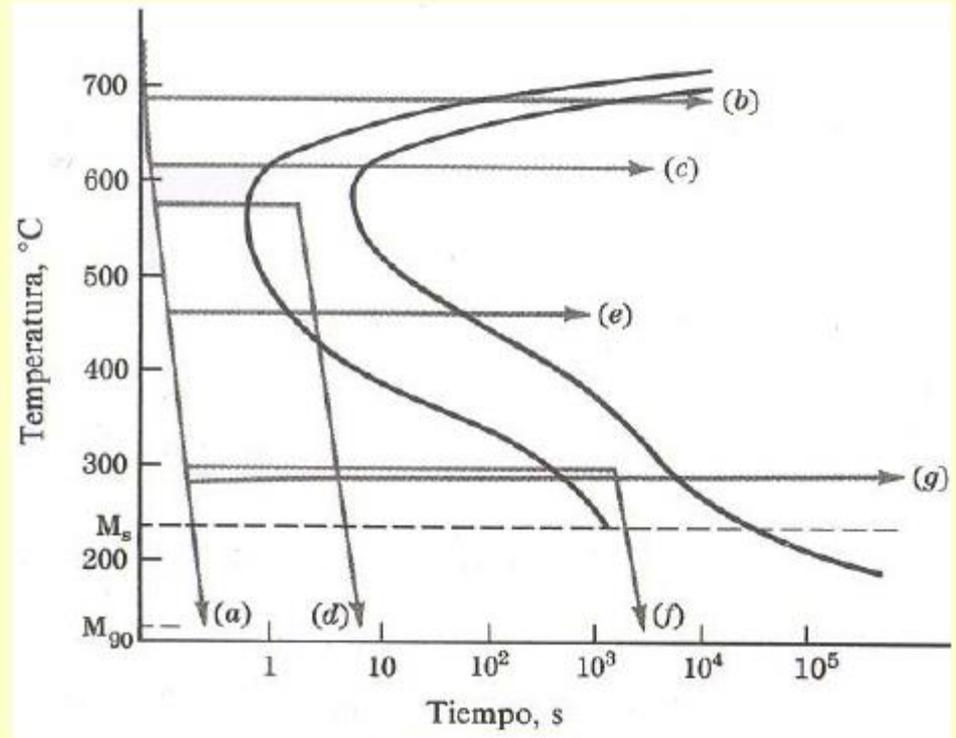
## Diagrama de transformación isotérmica





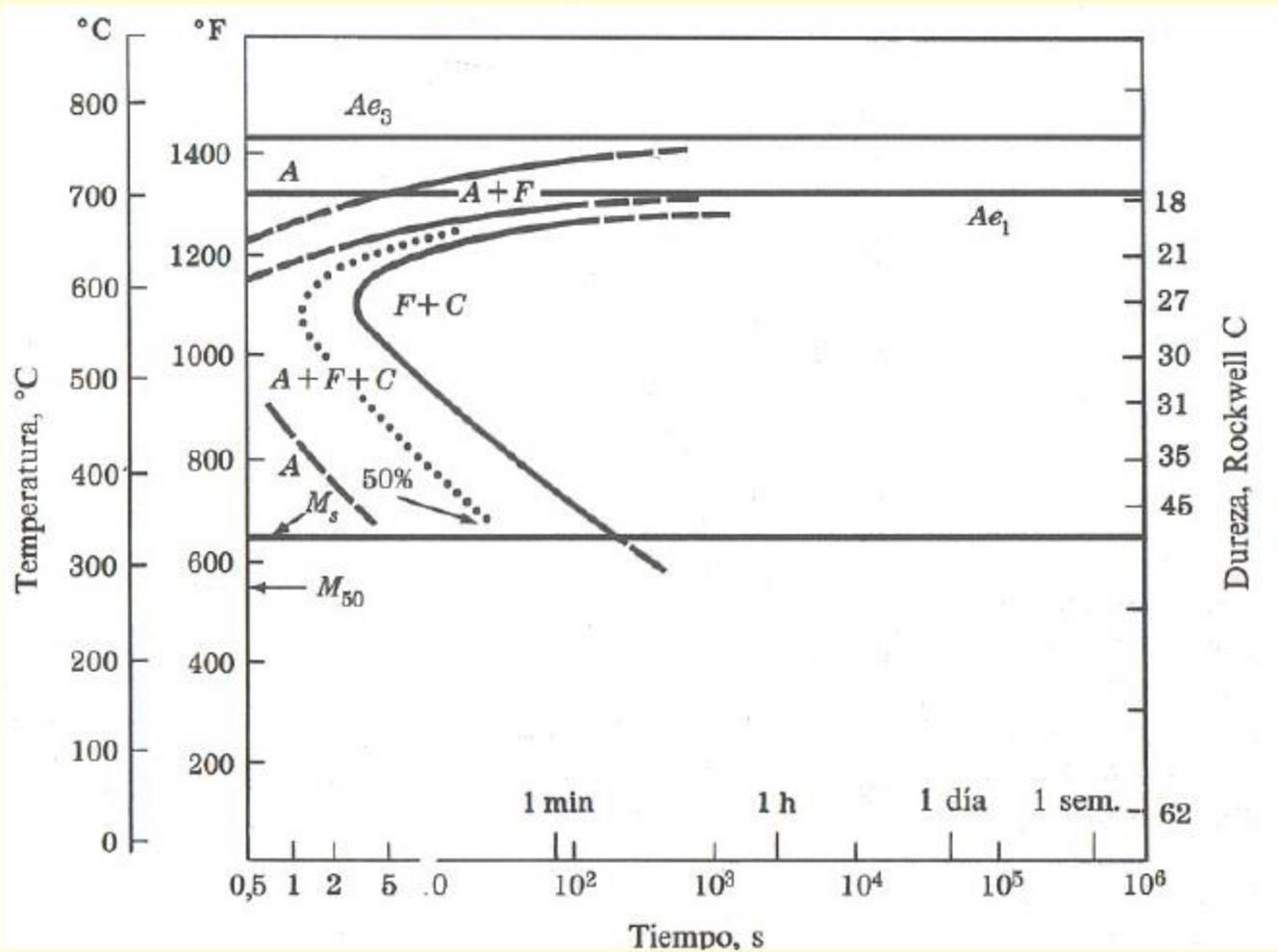
## Diagrama de transformación isotérmica

Varios caminos de enfriamiento:

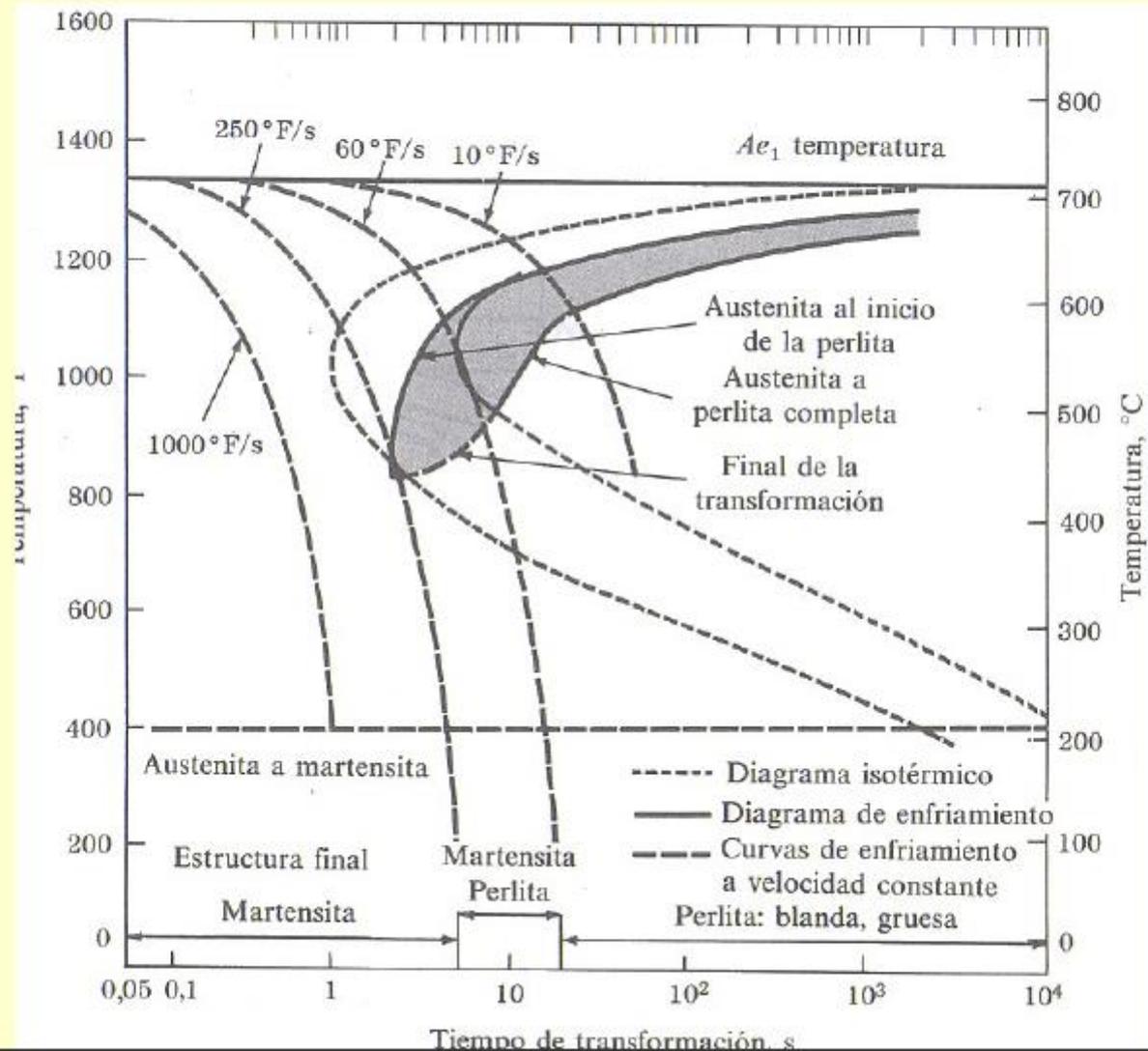


- a) **Todo martensita**
- b) **Todo perlita gruesa**
- c) **Todo perlita fina**
- d) **Aproximadamente 50% perlita fina y 50% martensita**
- e) **Todo bainita superior**
- f) **Aprox. 50% bainita inferior y 50% martensita**
- g) **Todo bainita inferior**

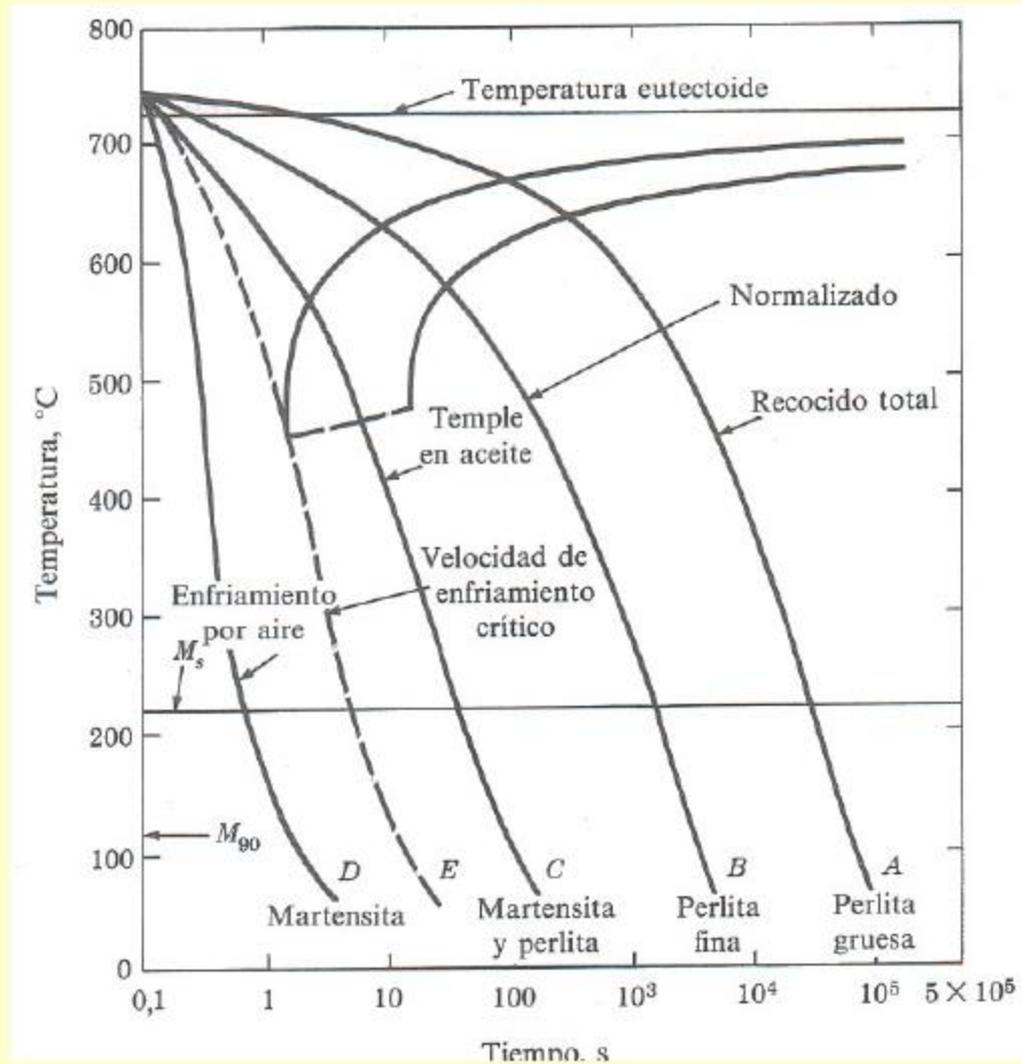
**Transformación isotérmica de un acero hipoeutectoide con 0,47 % C y 0,57% Mn**



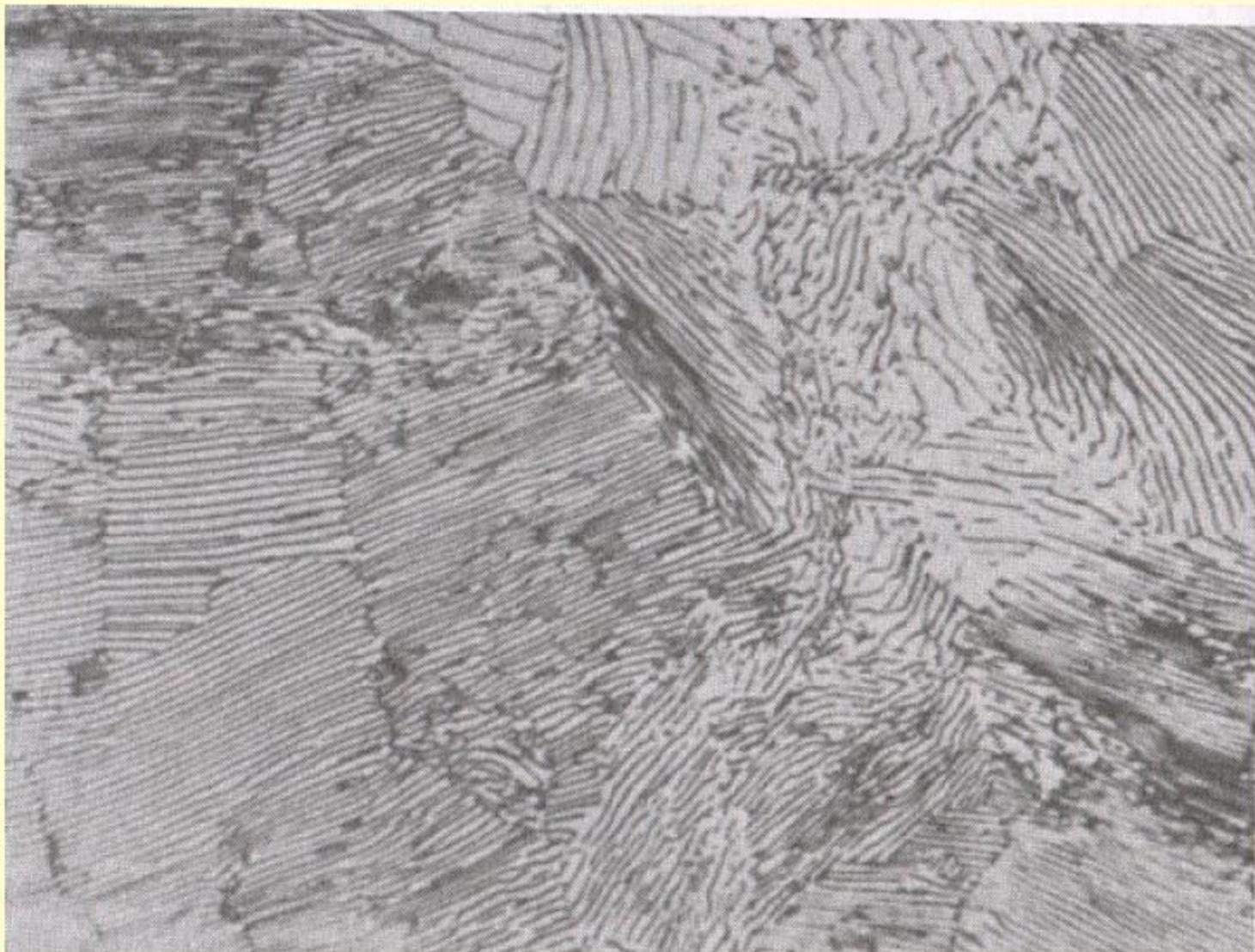
## Diagramas de transformaciones por enfriamiento continuo



## Microestructura de un acero eutectoide por enfriamiento continuo a diferentes velocidades.



## *PERLITA*





# Influencia de los elementos de aleación

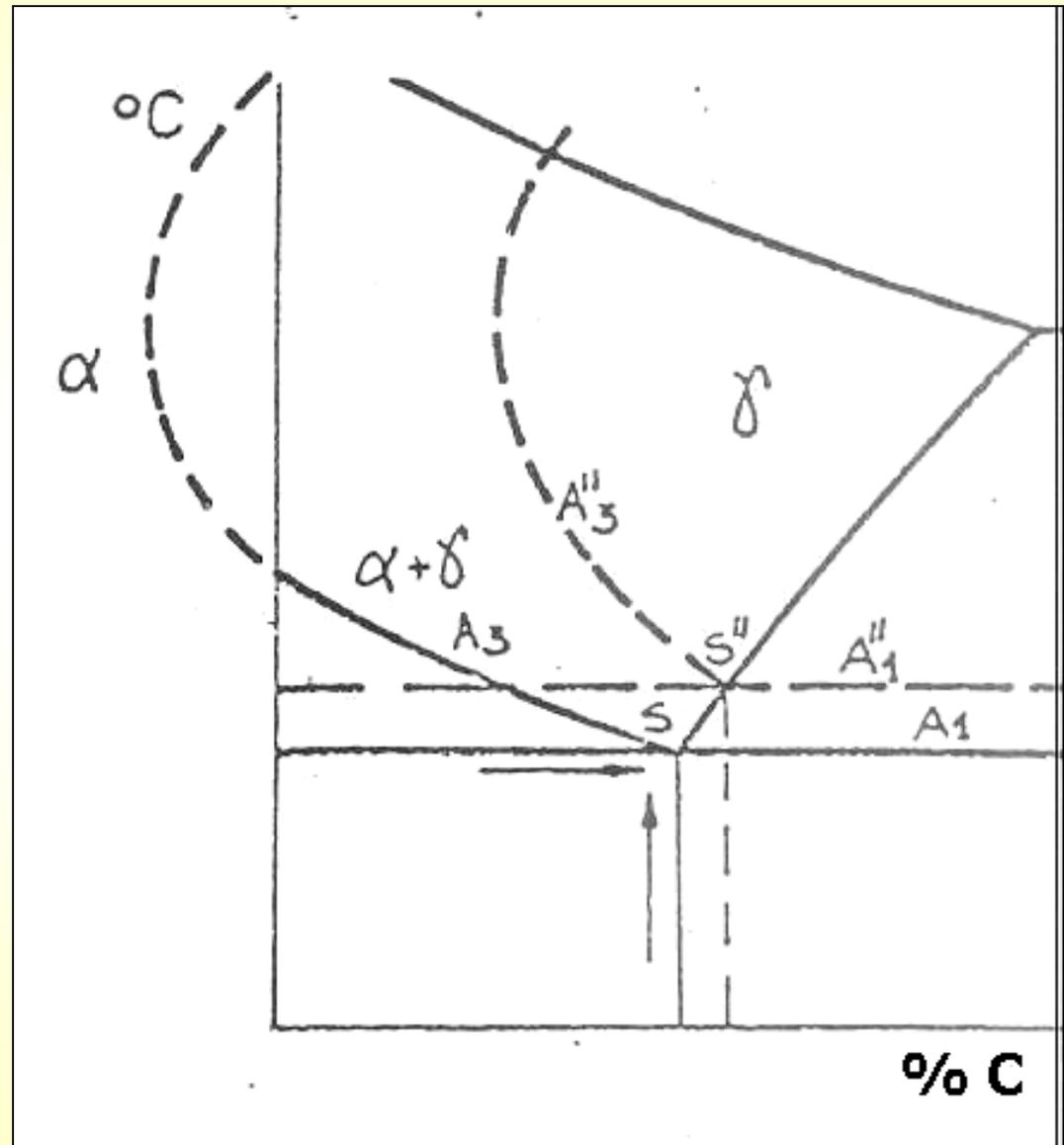
## -Solubles en la Ferrita

Cr, V, Co, Mo, Al, W, Si, Ni.

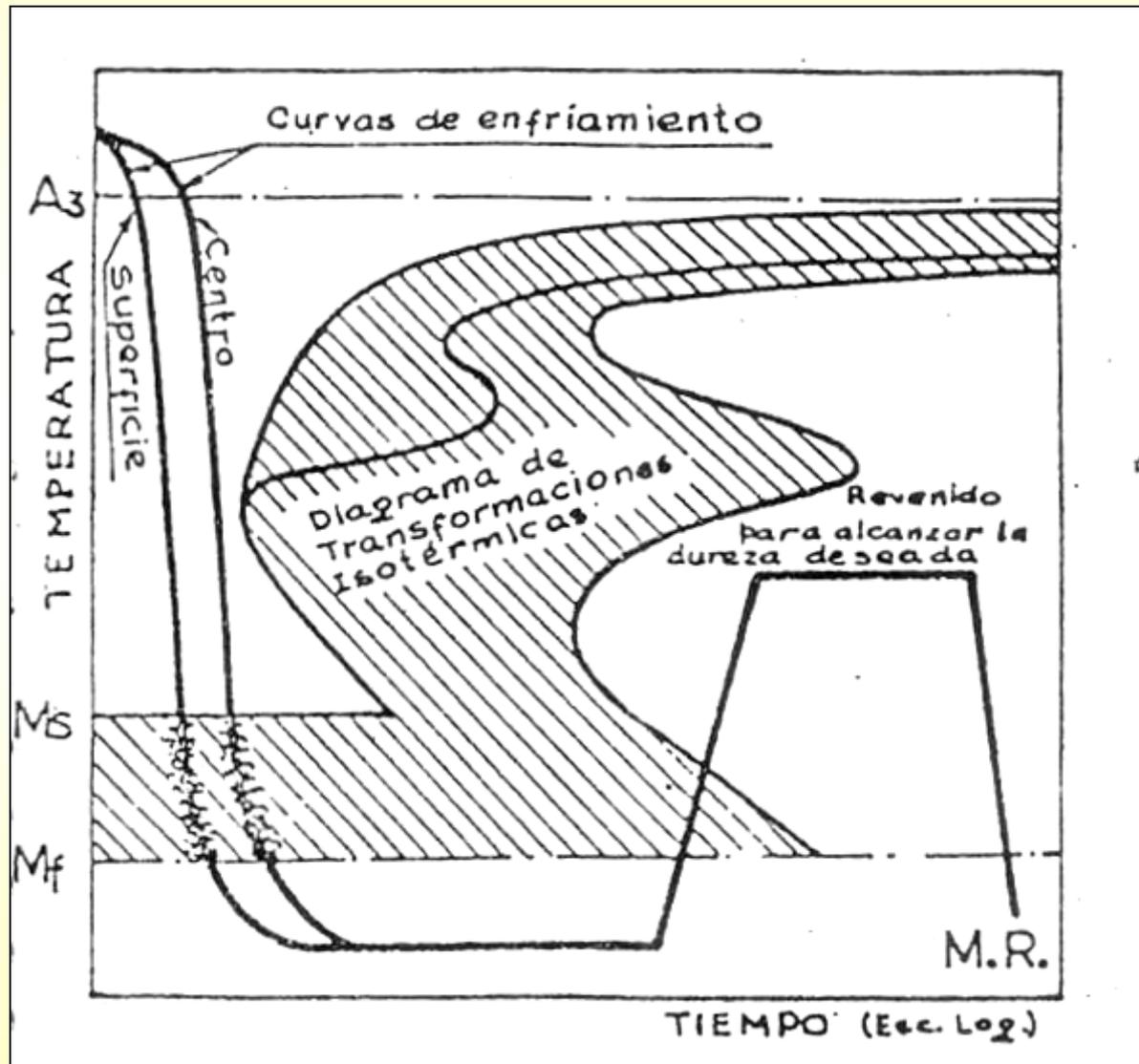
## Acción sobre el diagrama de equilibrio.

*-Estabilizan la ferrita  
(amplían su campo)*

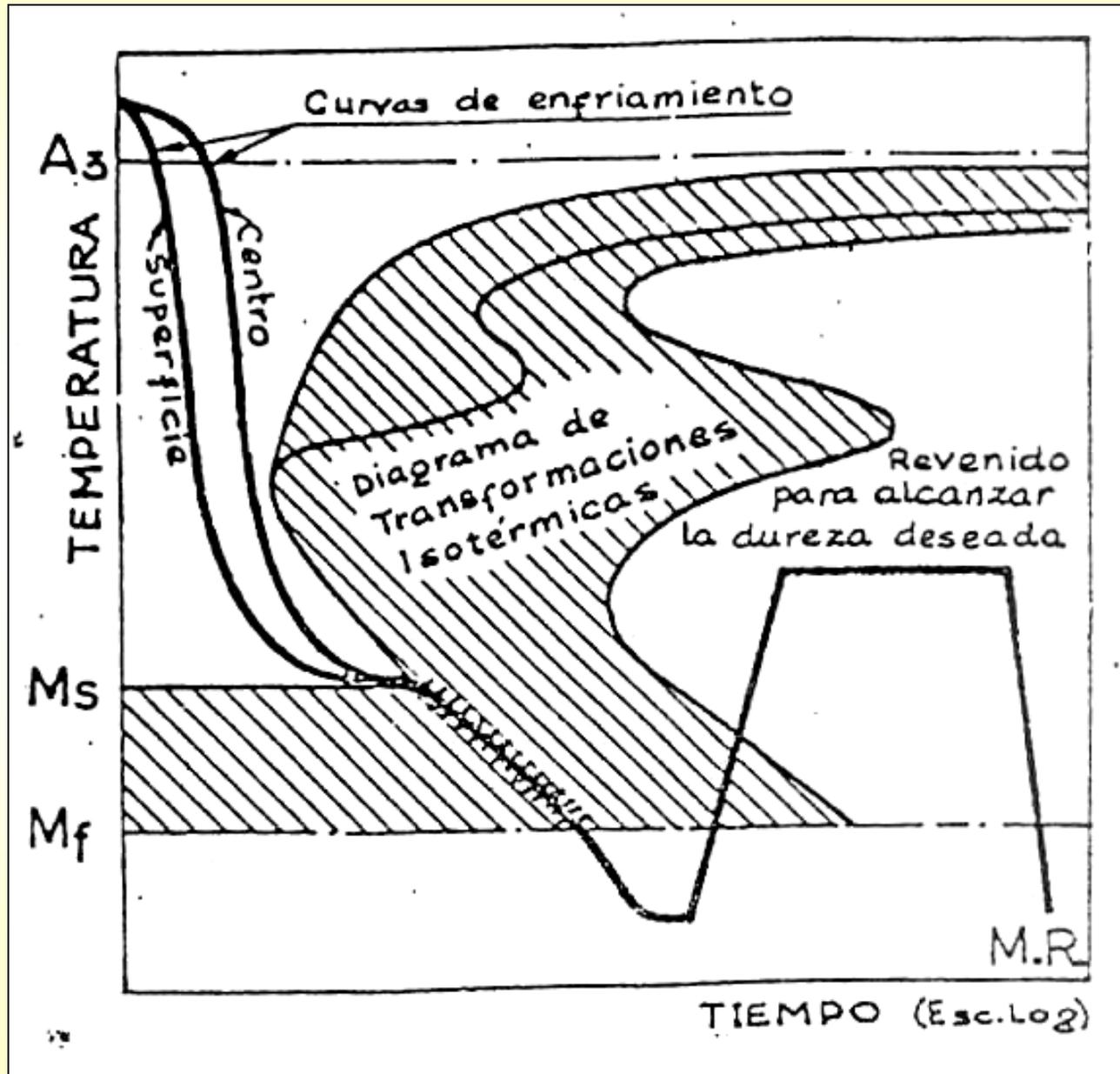
*-Elevan la temperatura y concentración del eutectoide.*



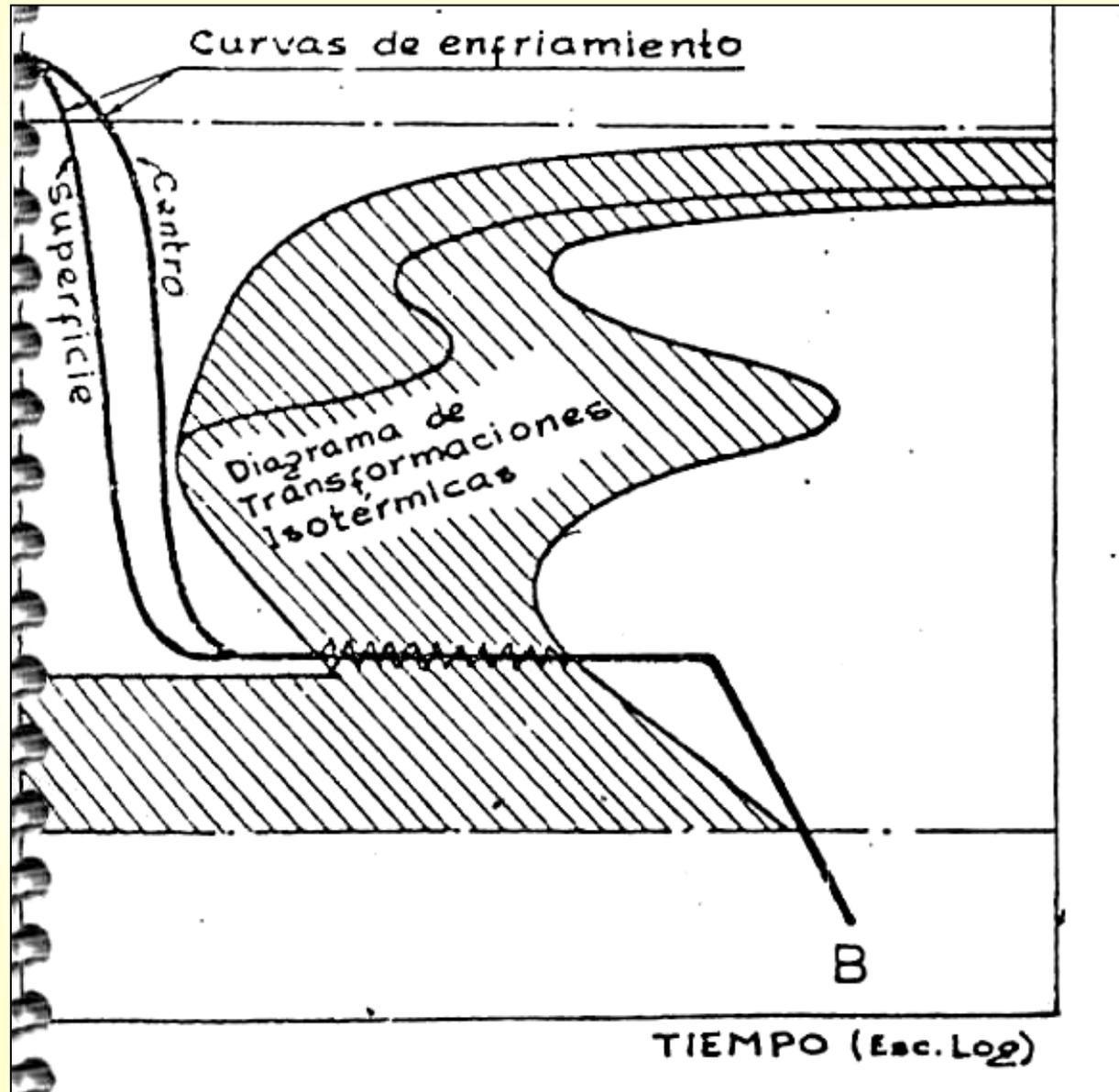
# TEMPLE Y REVENIDO



# MARTEMPERING



# AUSTEMPERING



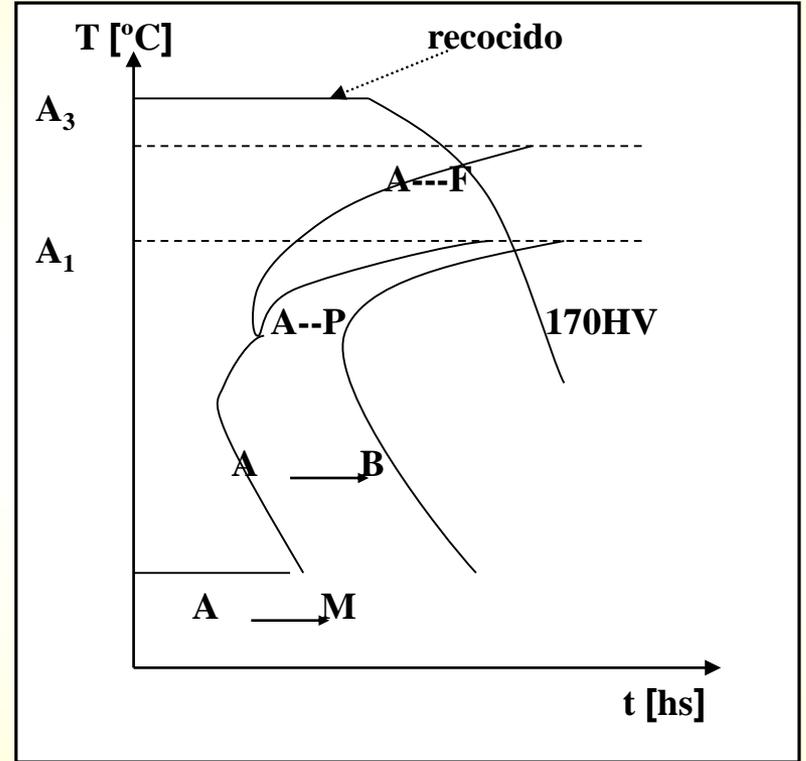
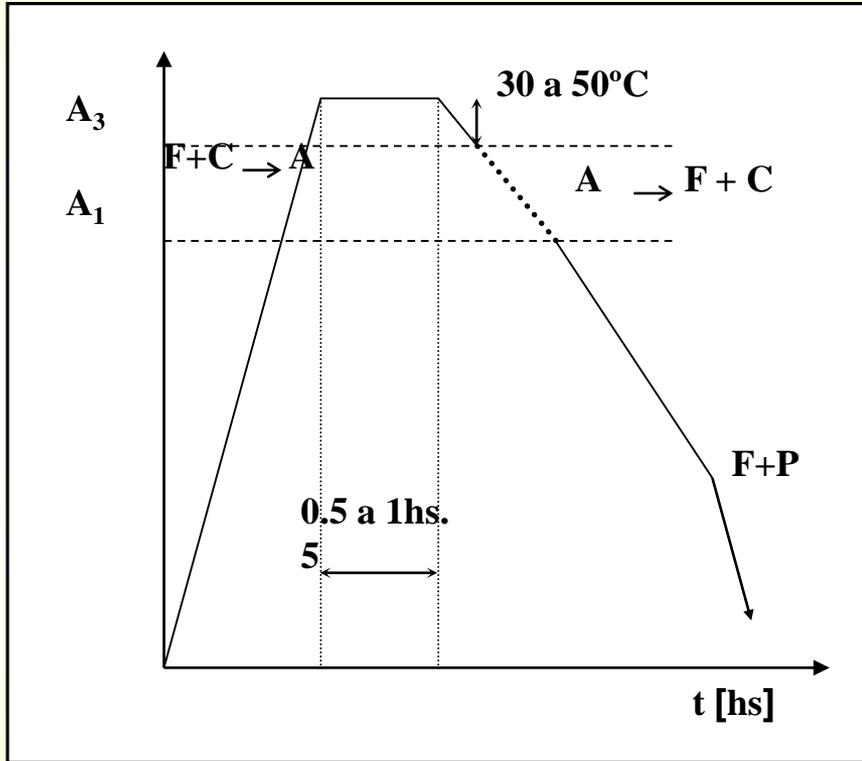
# RECOCIDO

 **Baja Resistencia y Dureza.**

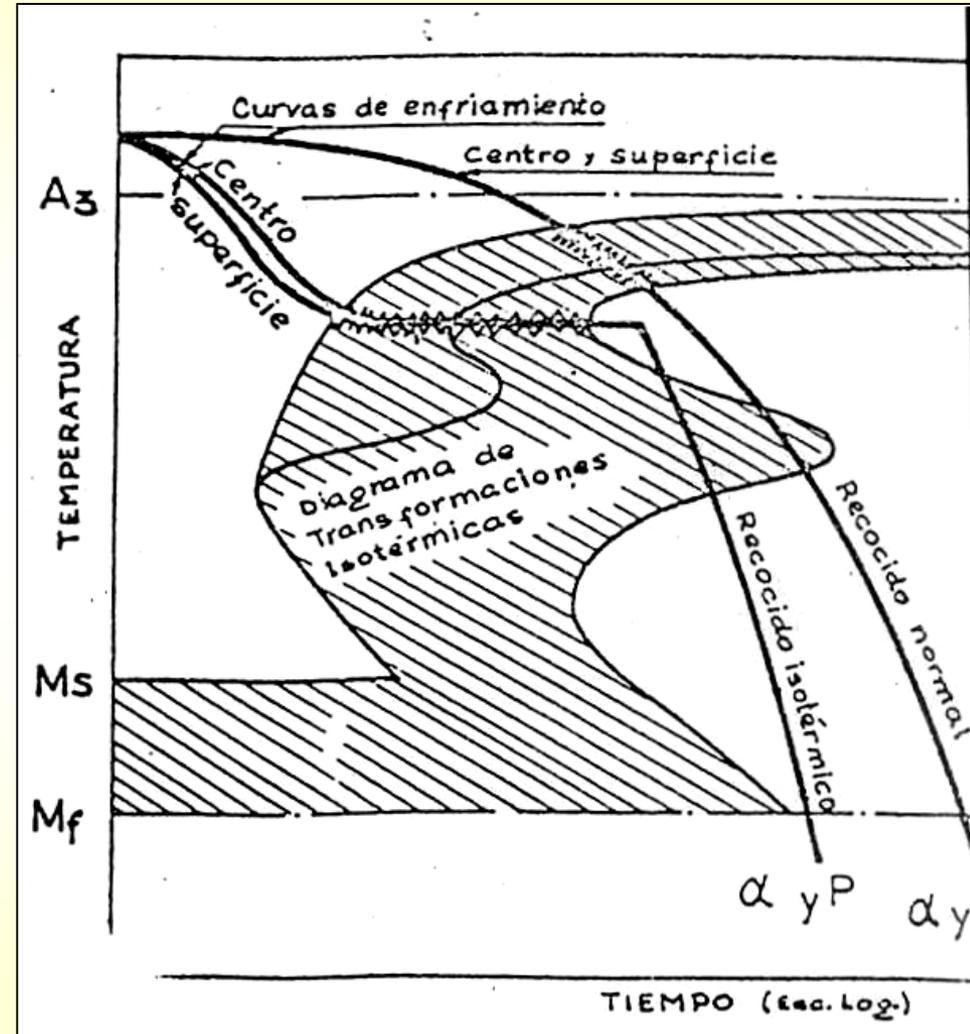
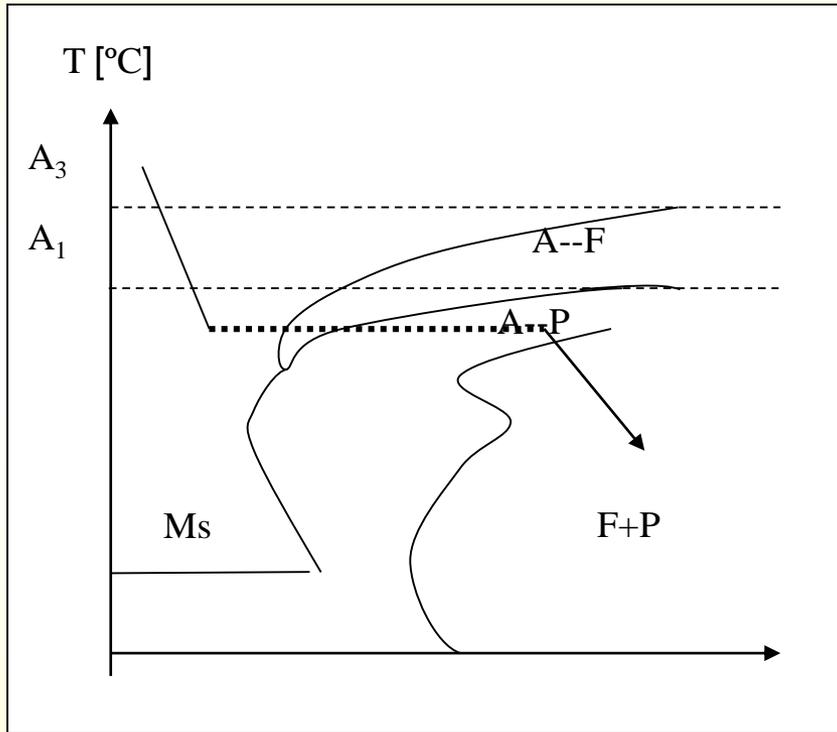
**Hay recristalización de fase y esta afina el grano y elimina la estructura Widmanstätten del acero.**

Al recocido se someten las piezas fundidas, forjadas y laminadas, disminuyendo la dureza y resistencia y mejorando la facilidad de elaboración por corte.

# Recocido total



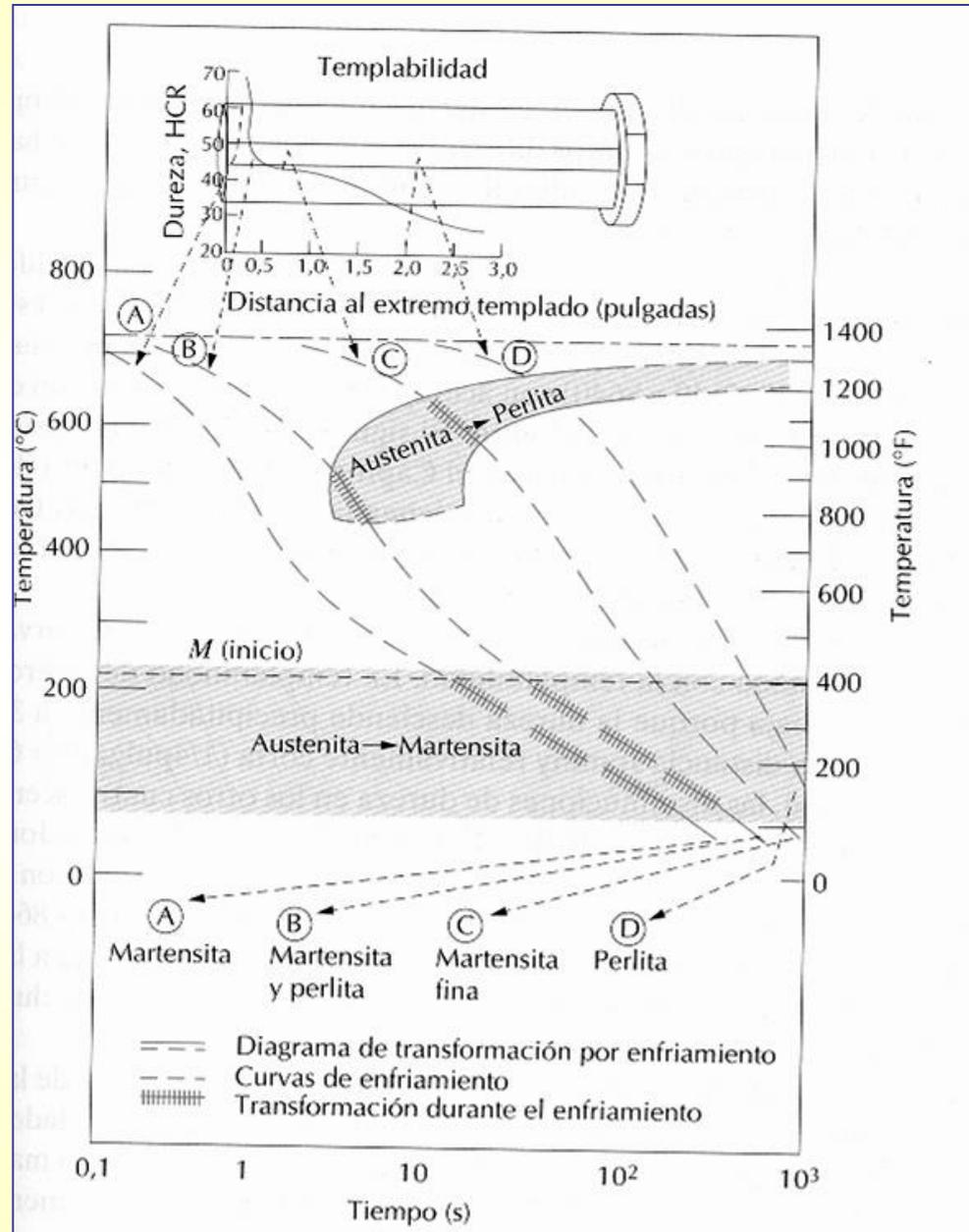
# Recocido isotérmico



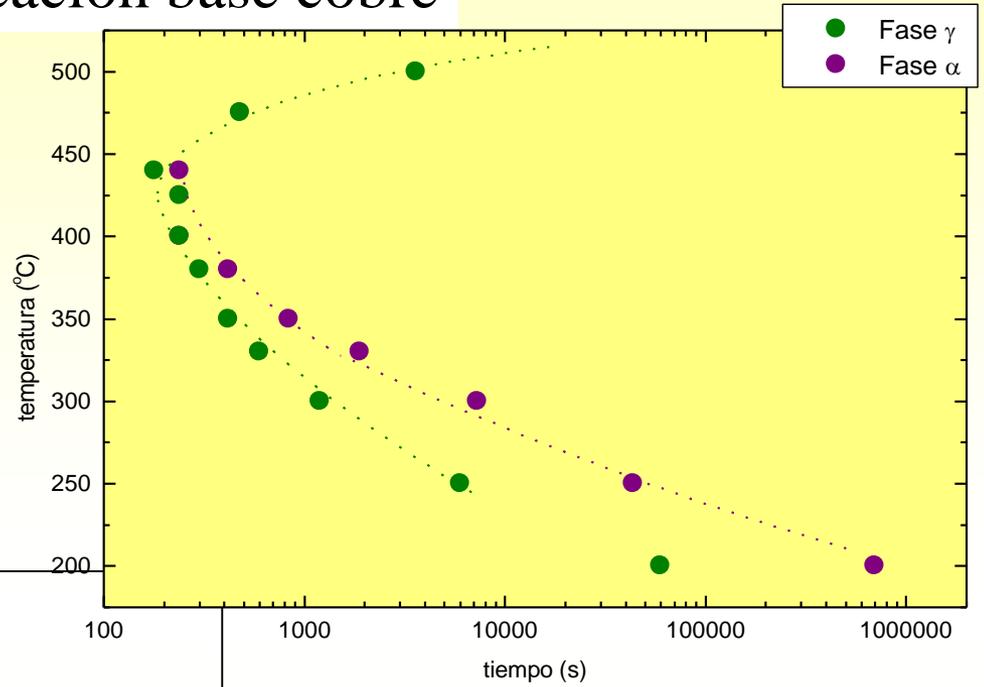
# APLICACIONES

# Templabilidad

**Correlación entre templabilidad e información del enfriamiento continuo del acero de composición eutectoide.**



# Descomposición isotérmica de aleación base cobre



Micrografía 23: Imagen MO coloreada correspondiente a 235 h de tratamiento térmico a 480°C. La microestructura consta de fases  $\alpha$ ,  $\gamma$  y  $\beta$ .

