

11. Tratamientos Térmicos de los Aceros

El porqué?

**Tratamientos térmicos
(Temperatura y tiempo)**



Microestructura)



Propiedades Mecánicas

El factor TIEMPO

La mayoría de las transformaciones en estado sólido no transcurren instantáneamente: **dependen del tiempo**

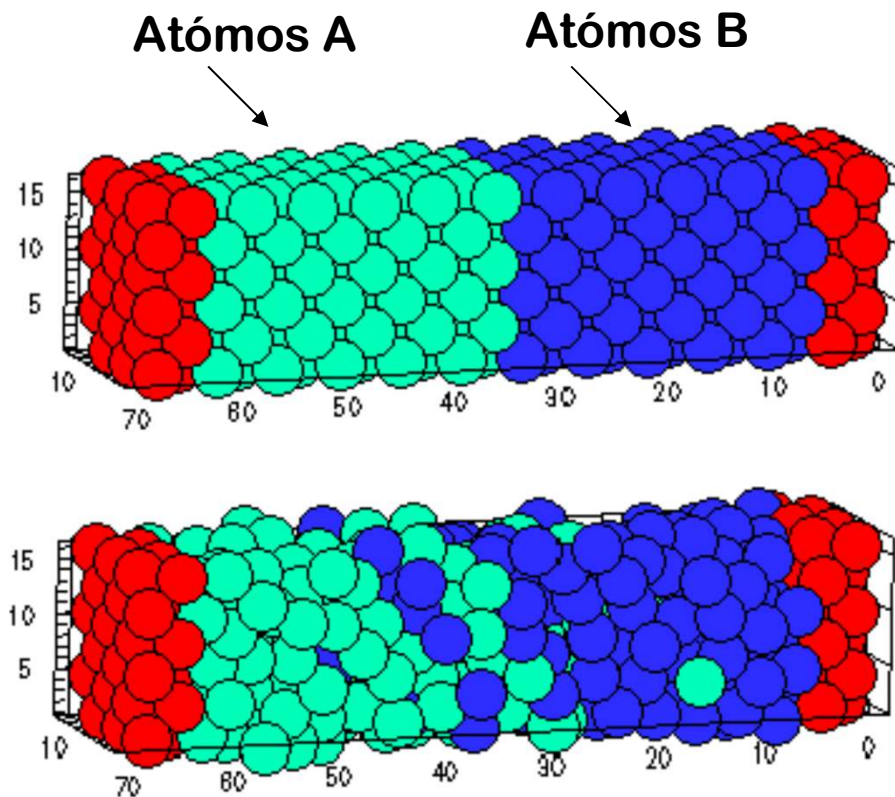
Esto es especialmente importante en las transformaciones que implican fenómenos de DIFUSIÓN, que depende de la temperatura y del tiempo

Microestructuralmente, estas transformaciones implican una etapa de nucleación seguida de una etapa de crecimiento

La cinética de las transformaciones es de especial importancia en la relación entre tratamientos térmicos y microestructuras desarrolladas

Difusión

Difusión es un proceso de transporte de masa por movilidad atómica



Hay un reacomodamiento de los átomos en estado sólido.

El proceso demanda tiempo y es dependiente de la **temperatura** a la cual ocurre el proceso.

↓
Movilidad

Difusión vs. Nucleación y crecimiento

En la composición eutectoide, la transformación de la solución sólida **Austenita** en **Perlita** es el resultado de un proceso de difusión.

Aparecen dos fenómenos similares a lo que ocurre en el proceso de solidificación:

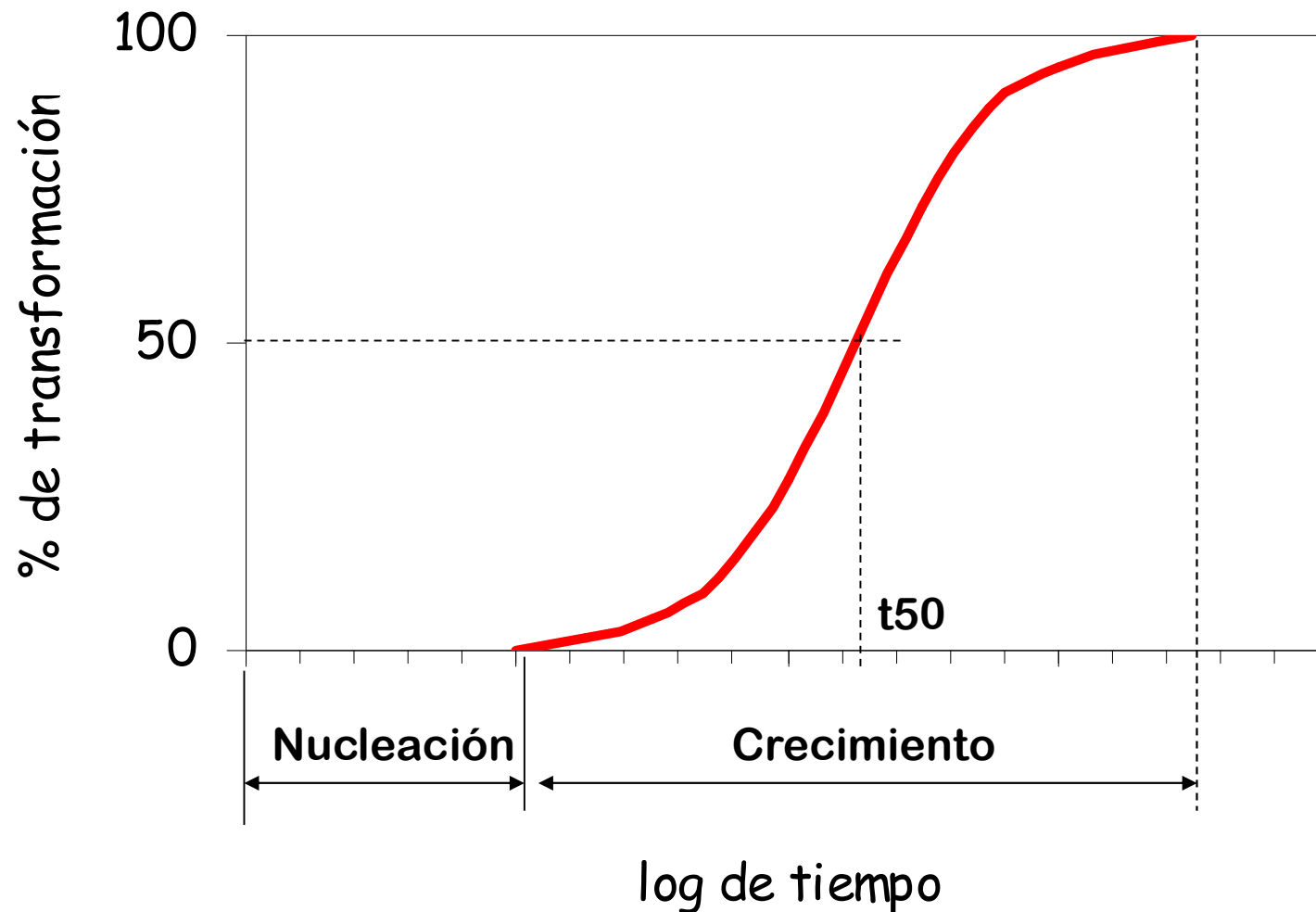
Nucleación: de la nueva fase por formación de pequeñas partículas (núcleos)

Crecimiento: de la nueva fase a expensas de la fase original

Los procesos de nucleación y crecimiento requieren para la formación de una fase estable de una cierta **Inmovilidad**

Cinética de las transformaciones

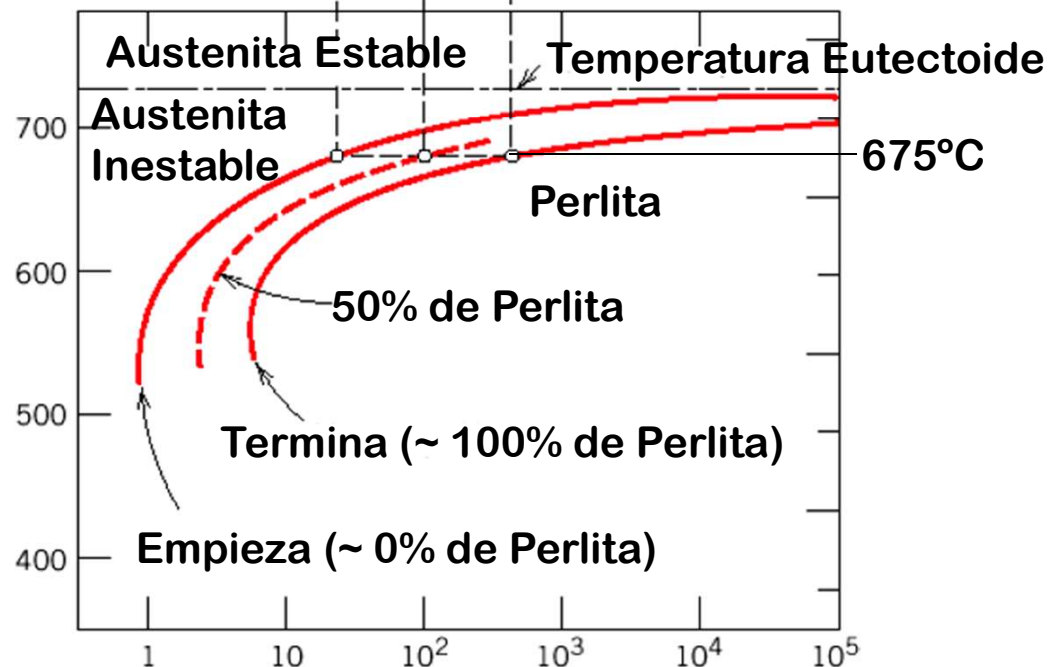
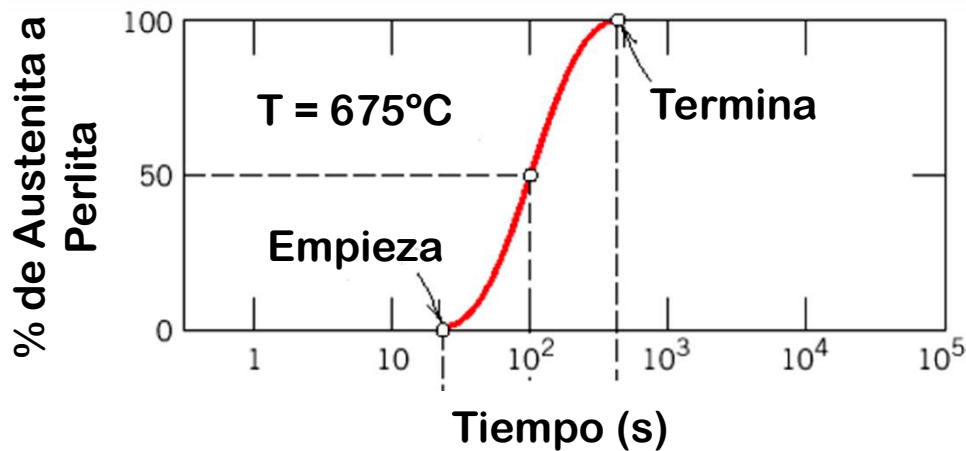
Típicamente la cinética de las transformaciones en estado sólido responde a una función del tipo “S” en escalas de tiempo logarítmicas



laterales

Curvas TTT

De sólido a sólido



La forma general de representación que incluye el factor tiempo son los **diagramas TTT**: Temperatura-Tiempo-Transformación, también conocidos como **diagramas de transformación isotérmica**.

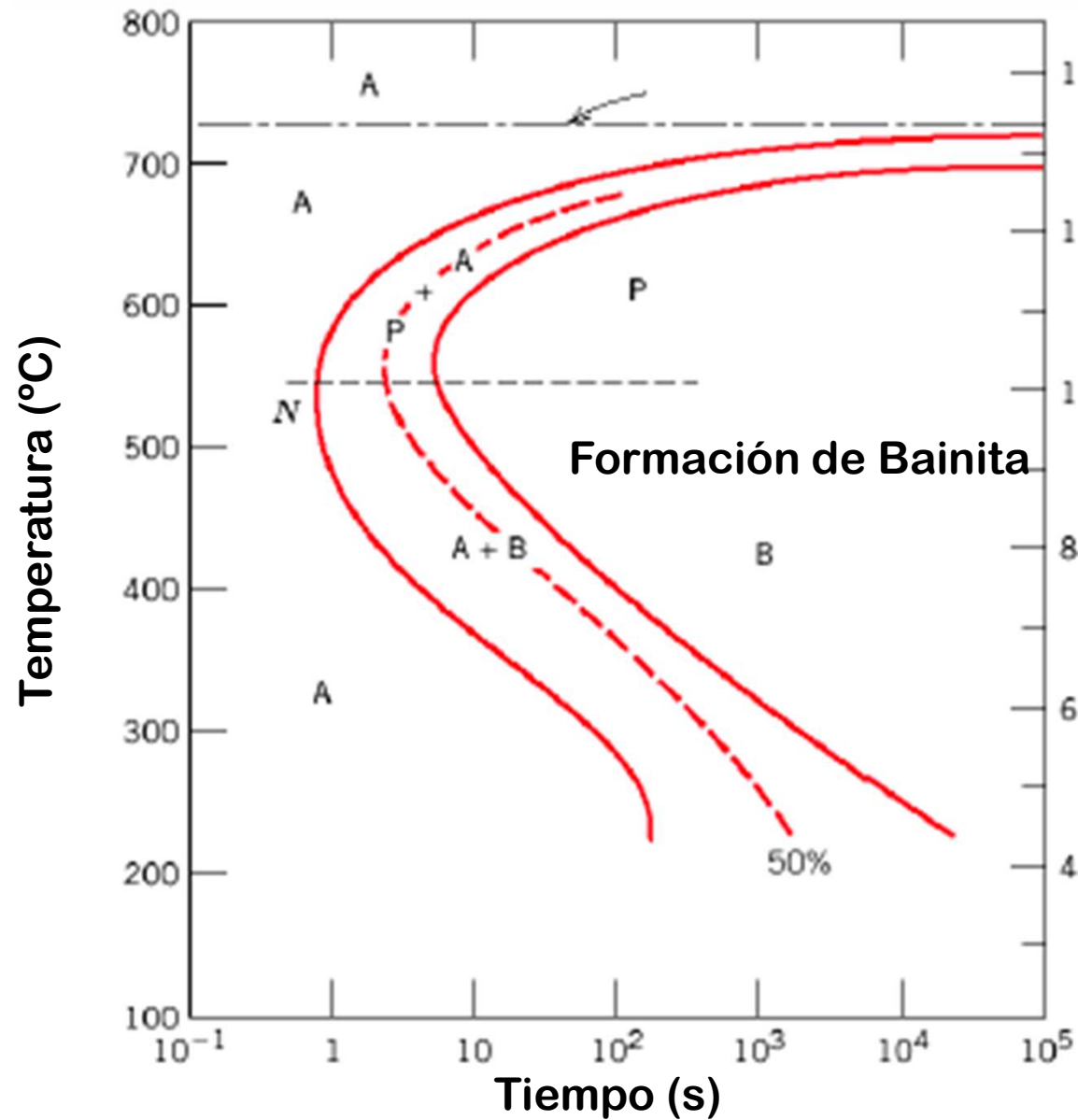
Se construyen a partir de las curvas de transformación isotérmicas, representando los puntos de inicio, 50% y fin de transformación, para las diferentes temperaturas.

Consideremos el caso de un acero eutectoide (0,77% de C)

Curvas TTT

- Los diagramas TTT son para transformaciones isotérmicas (Temperatura constante). El material es enfriado rápidamente a una temperatura antes de que la transformación ocurra y luego la temperatura es mantenida constante.
- A menores temperaturas la transformación ocurre antes ya que predomina la velocidad de nucleación pero el tamaño del grano es menor ya que está dificultada la difusión. Ello conduce a microestructuras de grano más fino con perlita de estructura en capas finas (**perlita fina**).
- A mayores temperaturas las mayores velocidades de difusión permiten un mayor crecimiento del grano y la formación de estructuras de capas más gruesas (**perlita gruesa**).
- Para otras composiciones distintas a la eutectoide coexisten otras fases (ferrita o cementita)

Formación de Bainita



Bainita

Para transformaciones de temperaturas entre 200 y 540 °C, aparece una estructura denominada bainita que consiste en finas agujas o placas de ferrita separadas de largas hojas delgadas de cementita:

En la región de la bainita, la velocidad de transformación es controlada por el crecimiento del grano por difusión. Pero a esa temperatura baja, la difusión es muy lenta y ello da origen a una estructura muy fina (microscópica)

Aceros Eutectoides

Microestructuras relevantes

Perlita gruesa.- Se forma para enfriamientos suficientemente lentos, a temp. próximas al eutectoide (727°C), y se corresponde con láminas de ferrita y cementita.

Perlita fina.- A medida de la transformación ocurre a temperaturas más bajas, las láminas de la perlita se hacen más delgadas, pasando a denominarse perlita fina para $T^{\circ} 600-540^{\circ}\text{C}$

Bainita.- A temperaturas inferiores a 540°C , la ferrita y cementita aparecen en forma de agujas extremadamente finas, microestructura conocida como bainita.

Esferoidita.- Se forma cuando un acero con microestructura perlítica o bainítica se calienta a temperatura inferior al eutectoide durante un periodo de tiempo suficientemente largo (700°C , 18-14h por ej.). La cementita aparece como pequeñas partículas esféricas embebidas en una matriz continua de ferrita, que se forman para reducir la interfase $\text{Fe}_3\text{C-Fe}$

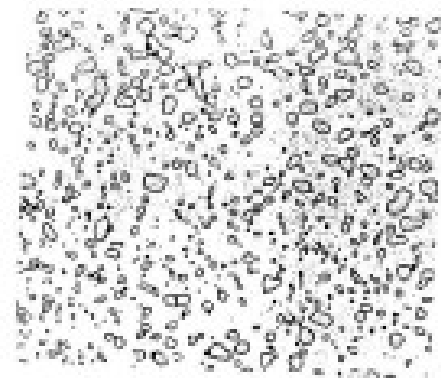
Aceros Eutectoides



P
E
R
L
I
T
A



B
A
I
N
I
T
A



E
S
F
E
R
O
I
D
I
T
A

Martensita

Se forma a bajas temperaturas ($< 215^{\circ}\text{C}$) resultado de una transformación sin difusión de la austenita. Se produce una reordenación colectiva de los átomos de Fe y C , pasando de la estructura cúbica de caras centradas de la austenita a una estructura tetragonal centrada en el cuerpo (parecida a la cúbica de cuerpo centrado pero con un lado más largo), correspondiente a la martensita

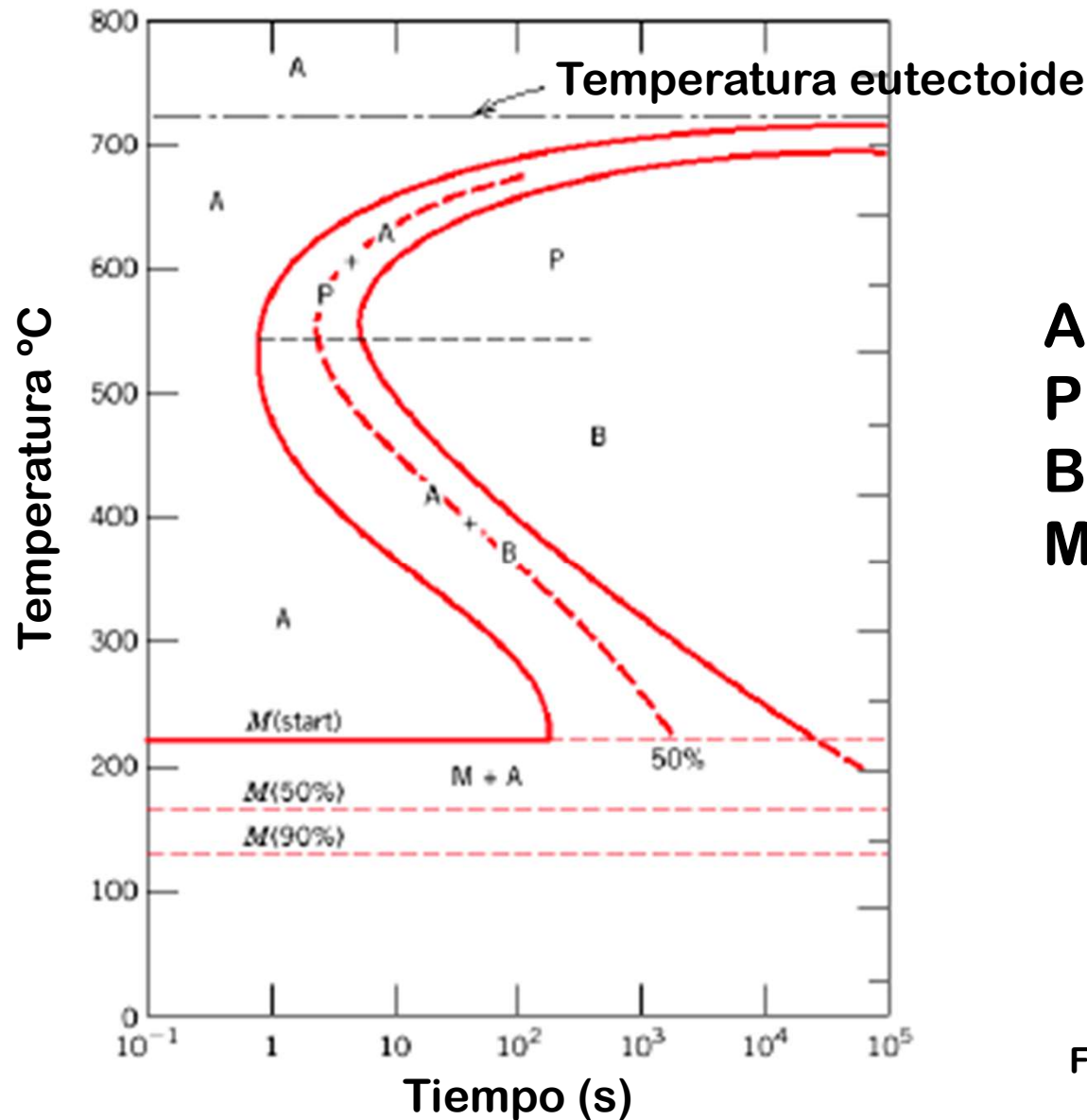
Al no implicar difusión, ocurre casi instantáneamente (no depende del Tiempo)

La velocidad de transformación martensítica depende únicamente de la temperatura a la que se la aleación es enfriada rápidamente (temple)



M
A
R
T
E
N
S
I
T
A

Diagrama TTT incluyendo Martensita



A: Austenita
P: Perlita
B: Bainita
M: Martensita

Relación Estructura y Propiedades

Perlita: Los aceros con perlita fina son mucho más duros y resistente que con perlita gruesa, pero menos dúctiles

Bainita: los aceros bainíticos son más duros y resistentes que los perlíticos al tratarse de una microestructura más fina. Presentan una conveniente combinación de resistencia y ductilidad.

Martensita: es la microestructura de los aceros más dura y resistente, pero a la vez más frágil. Su ductilidad es prácticamente nula. De hecho, la martensita como tal es inservible en la mayoría de aplicaciones. Se le aplica un tratamiento de revenido, calentando a temp. inferior al eutectoide, transformándose en partículas extremadamente pequeñas de cementita dispersas en una matriz de ferrita. La estructura es similar a la esferoidita, pero de menor tamaño.

La martensita sólo aparece si el enfriamiento del acero es suficientemente rápido (temple), como para evitar la formación de perlita o bainita.

Fases dependientes de la velocidad de enfriamiento

Las fases en equilibrio solamente pueden darse cuando el material se enfría muy lentamente desde la fase de austenita. Cuando el enfriamiento de un acero no es lento (fuera de equilibrio) se forman fases en su microestructura que no están representadas en el diagrama hierro - carbono.

Austenita

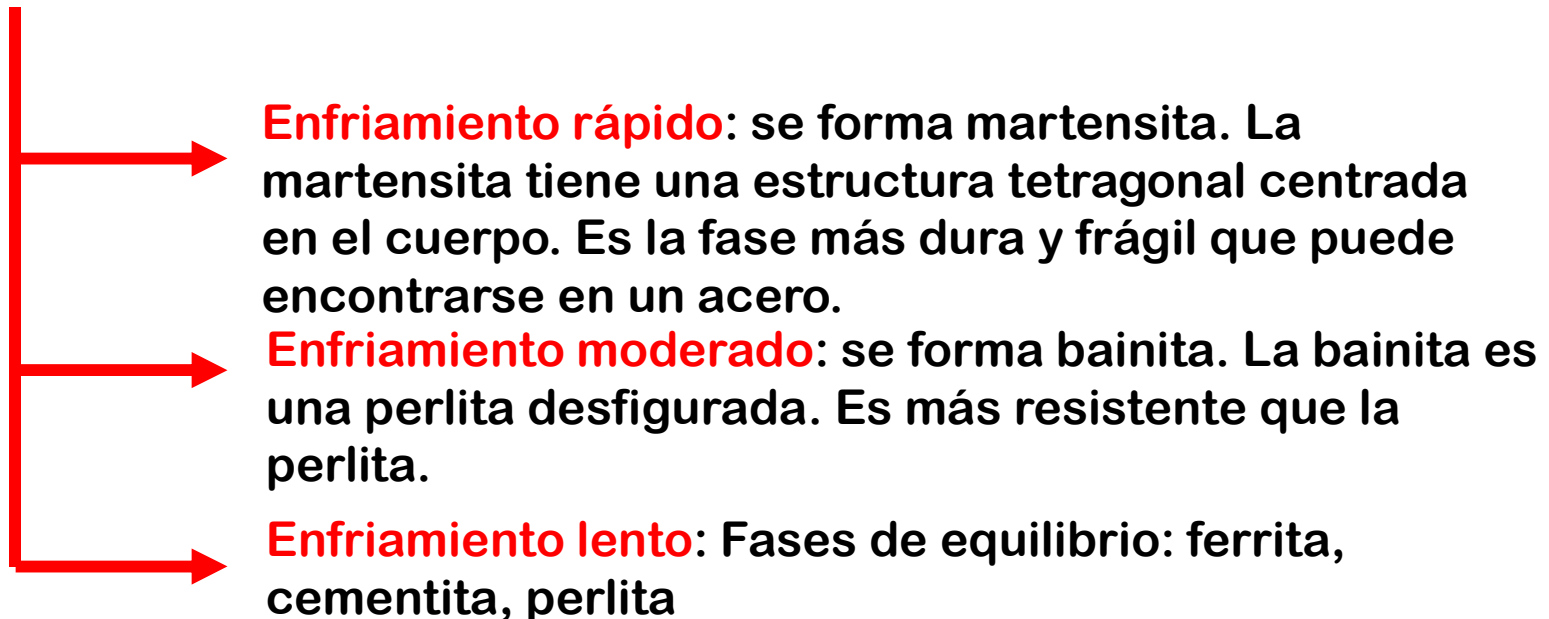
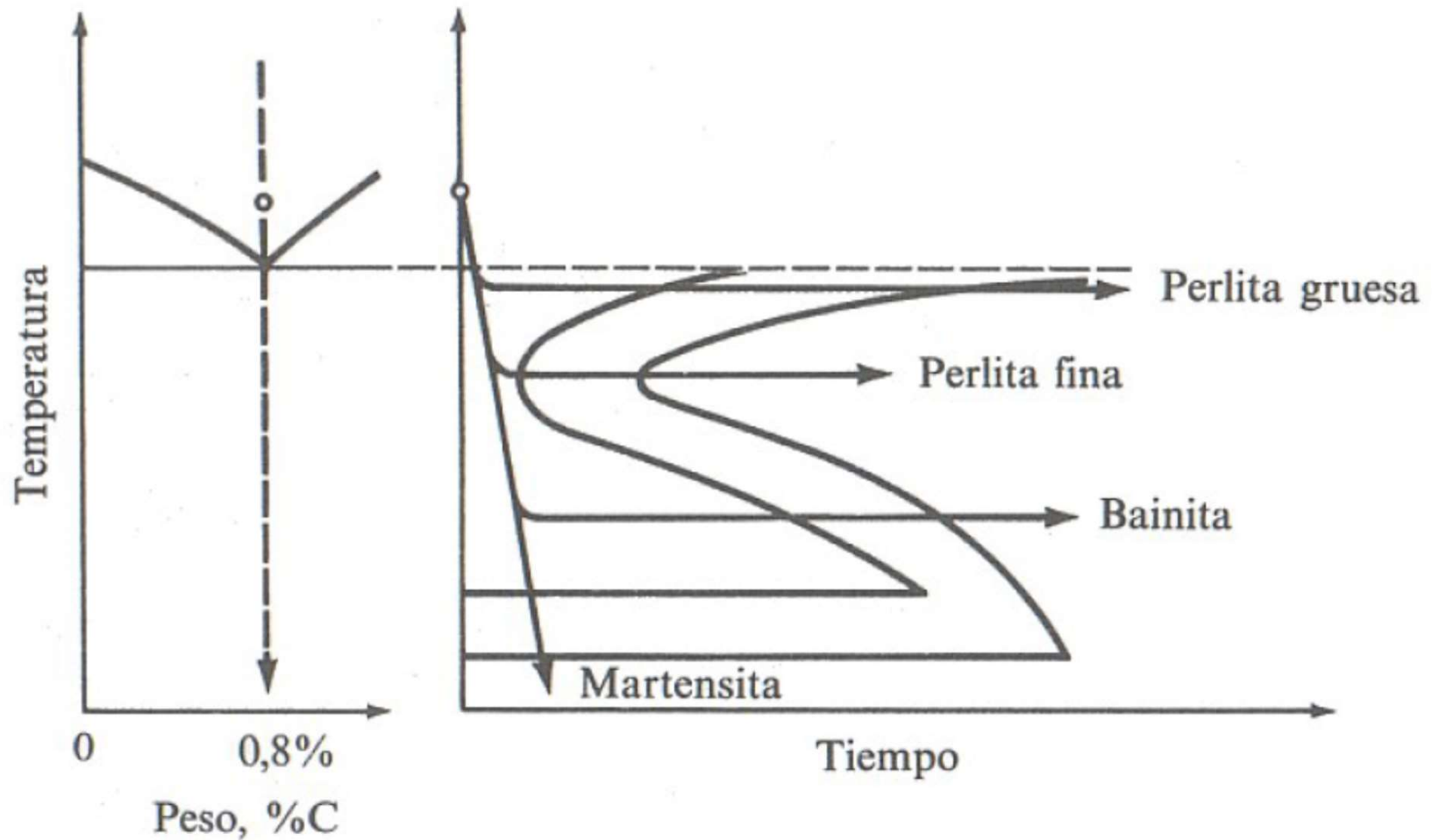
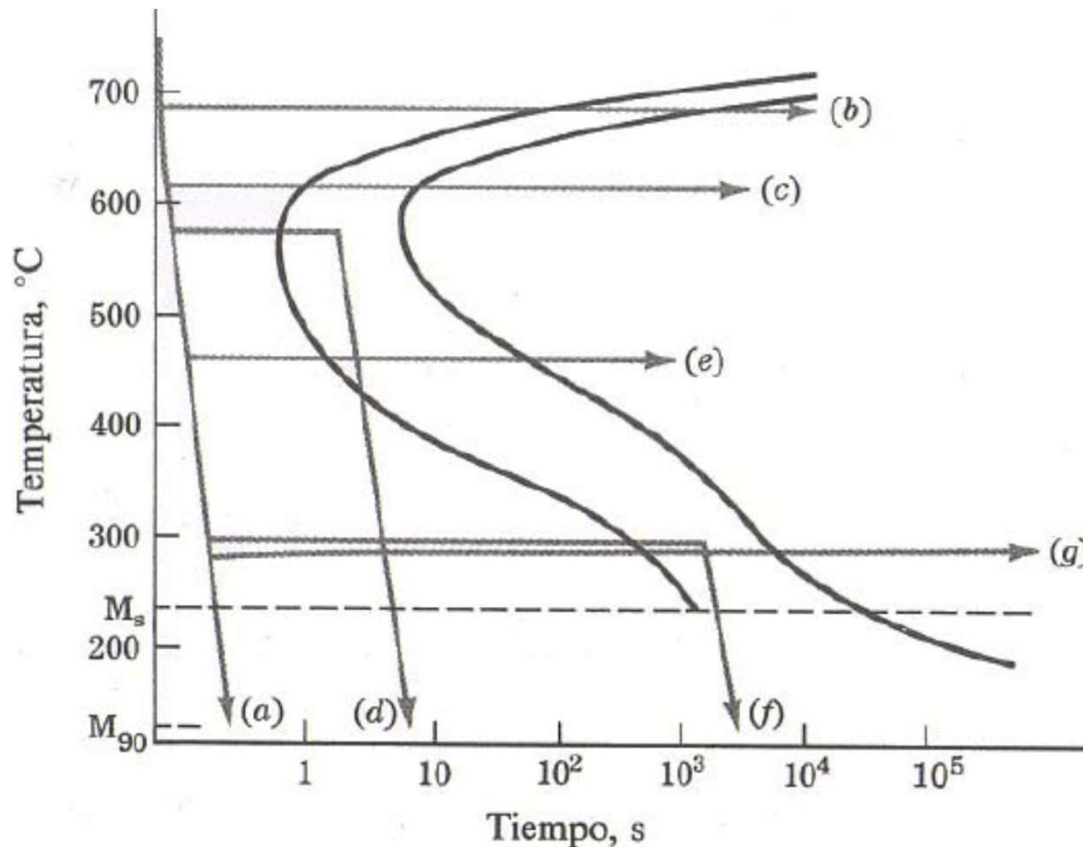


Diagrama de Transformación Isotérmica



Influencia del 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

Tratamientos térmicos

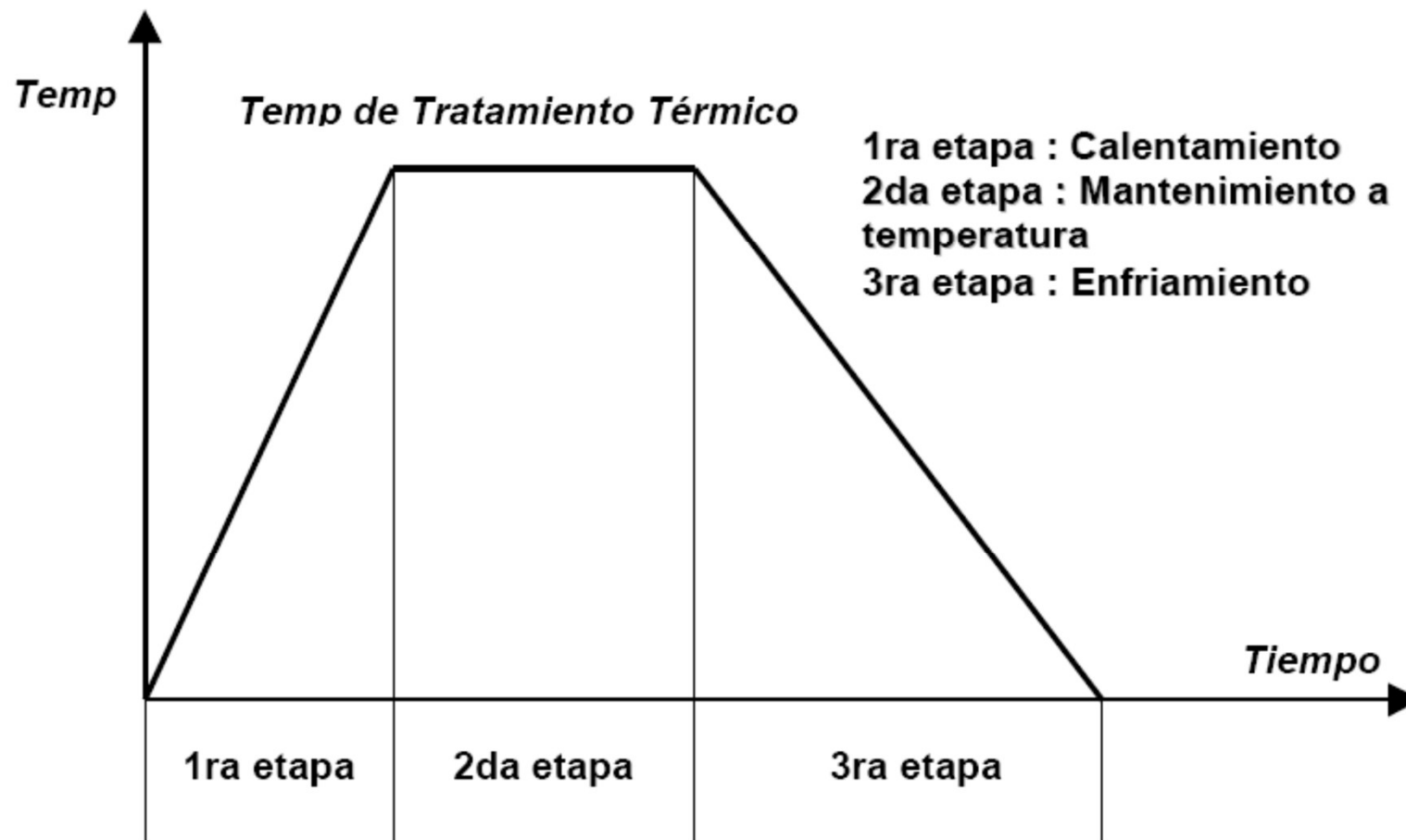
Consisten en calentar al acero por encima de una determinada temperatura, mantenerlo durante un cierto período de tiempo y luego retornarlo a la temperatura ambiente con distintas velocidades de enfriamiento.

Los usuales son:

- Recocido
- Normalizado
- Templado
- Revenido
- Cementado

El calentamiento debe ser gradual y uniforme. Existen temperaturas críticas

Etapas de los tratamientos térmicos



Recocido

OBJETIVOS: ABLANDAR EL ACERO – REGENERA ESTRUCTURA ELIMINAR TENSIONES

METODO : CALENTAMIENTO Y ENFRIAMIENTO MUY LENTO

✓ **RECOCIDO CON AUSTENIZACION COMPLETA**

Ablandar y regenerar la estructura

✓ **RECOCIDO CON AUSTENIZACION INCOMPLETA**

Aceros aleados o con mas de 0,5% de C , ablandar

✓ **RECOCIDO SUBCRITICO**

de ablandamiento (económico)

Temple y Revenido

OBJETIVOS: ENDURECER Y AUMENTAR LA RESISTENCIA

**METODO : CALENTAMIENTO HASTA AUSTENIZACION
COMPLETA (HIPOEUTECTOIDES) E INCOMPLETA
(HIPEREUTECTOIDES) Y ENFRIAMIENTO MUY RAPIDO**

Revenido

**OBJETIVO: MEJORAR LA TENACIDAD DE LOS ACEROS
TEMPLADOS, AUMENTAR LA TENACIDAD**

**METODO : CALENTAMIENTO HASTA AUSTENIZACION
INCOMPLETA Y ENFRIAMIENTO AL AIRE**

Normalizado

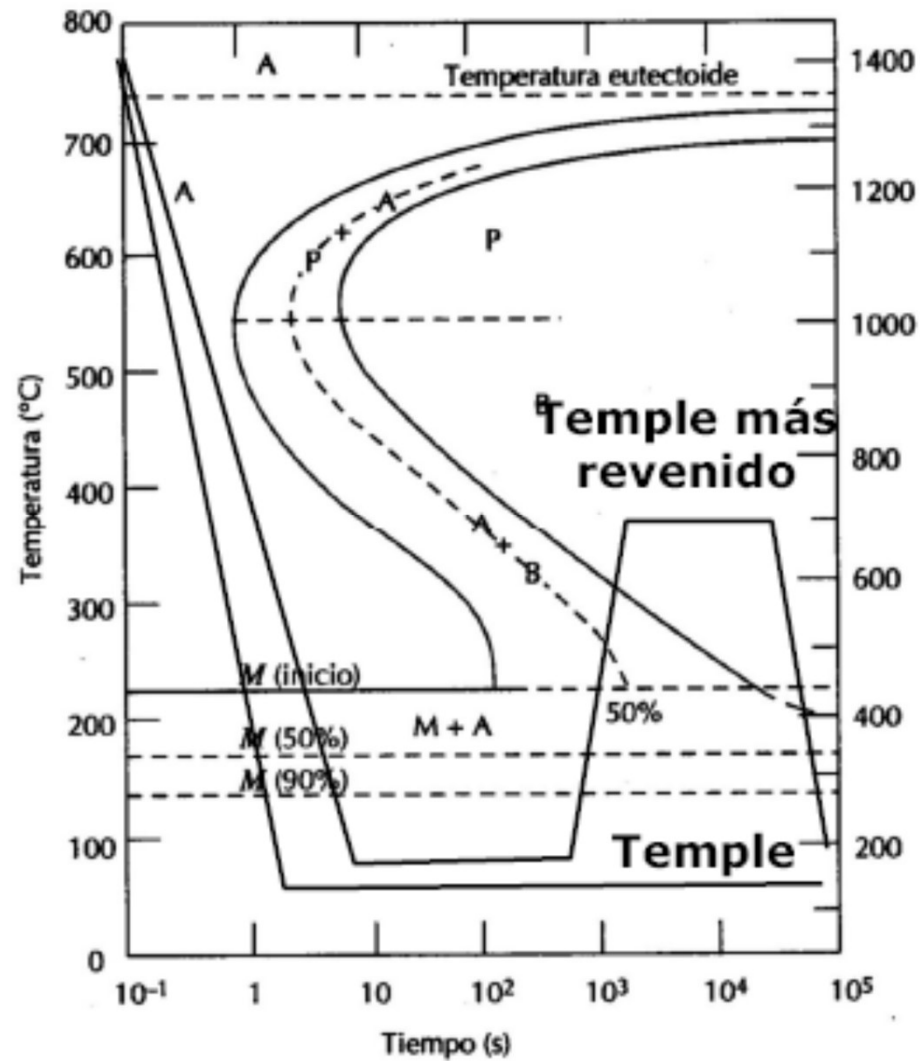
OBJETIVOS: DEJAR LA PIEZA CON LA ESTRUCTURA Y PROPIEDADES ARBITRARIAMENTE CONSIDERADAS COMO NORMALES

METODO : CALENTAMIENTO HASTA AUSTENIZACION COMPLETA Y ENFRIAMIENTO AL AIRE

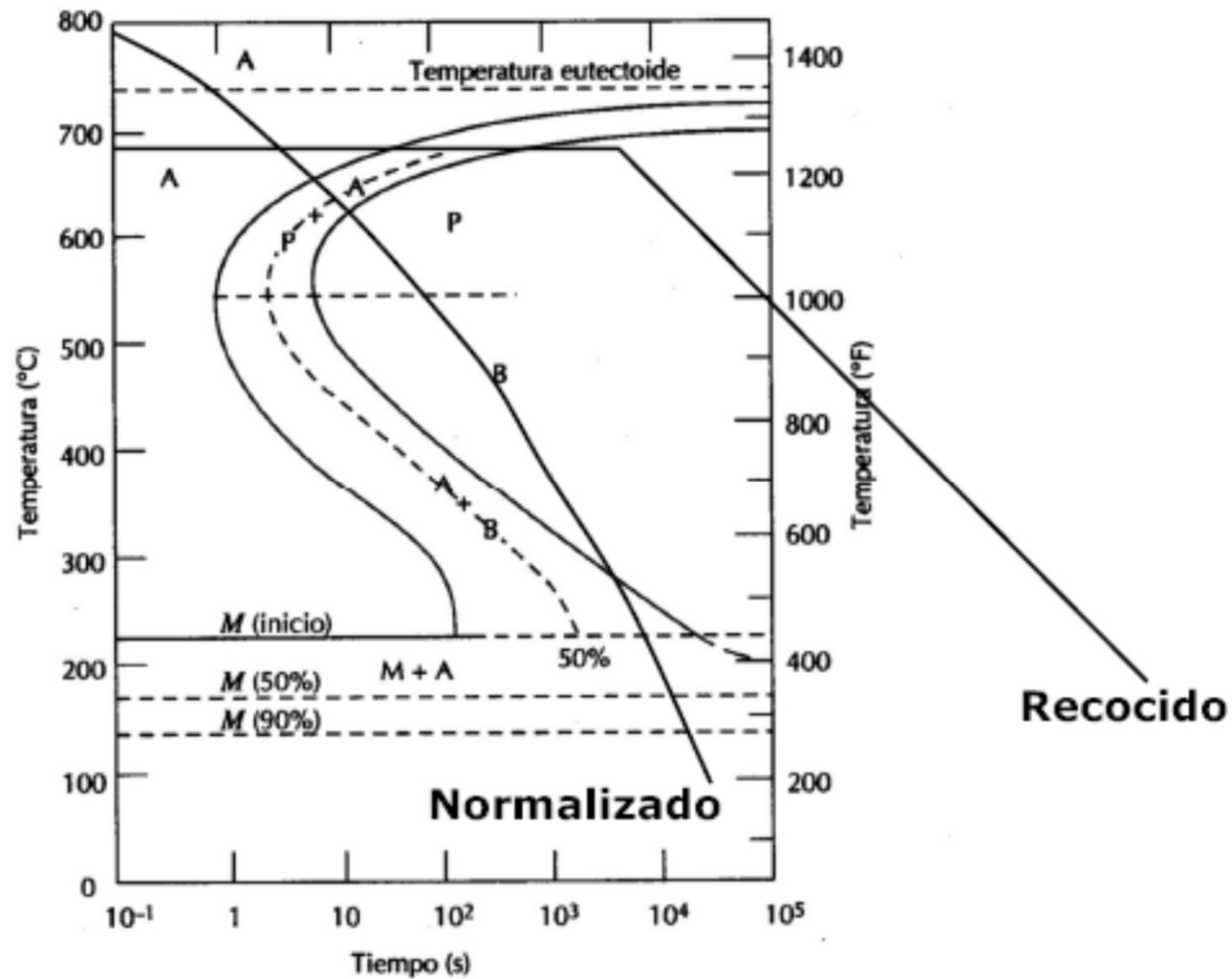
✓ **BORRA TRATAMIENTOS ANTERIORES , ELIMINA TENSIONES CORRIGE ENFRIAMIENTOS IRREGULARES Y SOBRECALENTADOS**

✓ **PRACTICAMENTE SOLO USADO PARA ACEROS AL CARBONO Y/O DE BAJA ALEACION**

Templado y Revenido



Recocido y Normalizado



Estructuras y velocidades de enfriamiento

