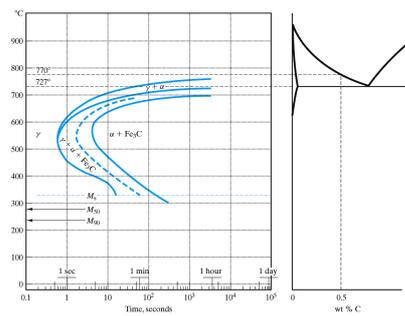


8.2 Curvas T-T-T



Materiales I
13/14

INDICE

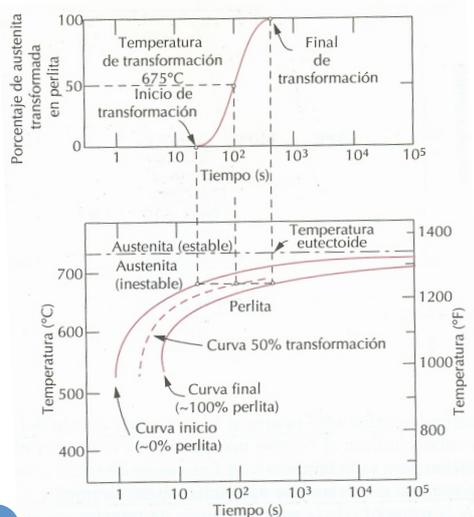
- Diagramas TTT. Transformación isoterma
- Diagramas TTT acero concentración eutectoide
- Diagramas TTT. Fases presentes fuera del equilibrio
 - Martensita
 - Bainita
- Diagramas TTT de acero no eutectoide
- Diagramas de enfriamiento continuo TTC
- Revenido de la martensita
- Problemas

1. Diagramas T-T-T (Transformación isotérmica)

- Son diagramas fuera del equilibrio termodinámico
- Miden las transformaciones realizadas durante procesos isotérmicos (a T^a . constante)
- En la parte horizontal se representan los tiempos, y en la parte vertical las temperaturas.
- Las transformaciones son fuera del equilibrio. Las fases que se forman son meta-estables, y por eso no aparecen en el diagrama de fases.

3

1. Diagramas T-T-T (Transformación isotérmica)

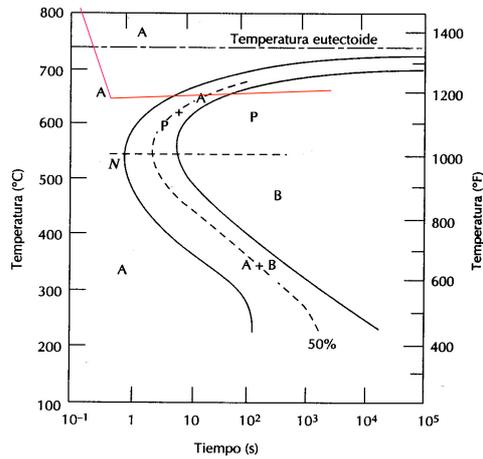


4

La curva en forma de S próxima al eje indica el tiempo necesario para comenzar la transformación, la siguiente curva en forma de S indica cuando termina la transformación.

Trayectoria isotérmica (línea recta)

2. Diagrama T-T-T acero concentración eutectoide



- Templado desde zona austenítica.
- Tra 723-550°C → microestructura perlítica. A medida que disminuye la Tra, pasamos de una perlita gruesa a fina.
- Enfriamientos rápidos (Temple) desde 723°C → Martensita
- Templado en caliente, 550-250°C → Bainita

5

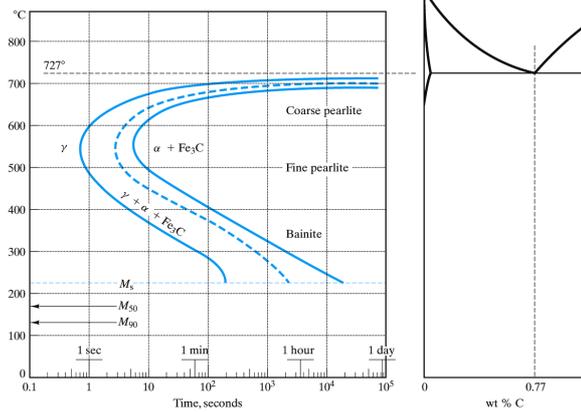


Figure 10.11

A more complete TTT diagram for eutectoid steel than was given in Figure 10.7. The various stages of the time-independent (or diffusionless) martensitic transformation are shown as horizontal lines. M_s represents the start, M_{50} represents 50% transformation, and M_{90} represents 90% transformation. One hundred percent transformation to martensite is not complete until a final temperature (M_f) of -46°C .

6

3. Diagrama T-T-T. Fases presentes fuera equilibrio. Martensita

- **Martensita:**

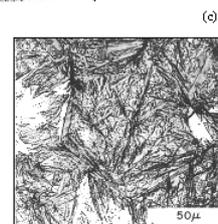
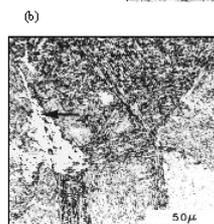
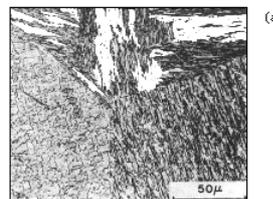
- Fase metaestable formada por una sol. Sol. Intersticial sobresaturada de C.
- Se genera por un enfriamiento rápido en agua, *temple*, hasta temperatura ambiente. La Austenita cambia su estructura a Martensita.
- Tra inicio= Ms, disminuye con el aumento del %peso de C. Tra finalización=Mf
- La Transformación Austenita-Martensita es:
 - adifusional, ya que se genera rápidamente, no hay cambio de composición.
 - activada energéticamente.
- Esta transformación genera un cambio de Volumen de la red:
 - FCC → Tetragonal centrada en el cuerpo

7

3. Diagrama T-T-T. Fases presentes fuera equilibrio. Martensita

- **Microestructura Martensita**

- Aceros con contenido menor a 0.6%C posee una microestructura en cintas ordenadas. (a)
- Aceros contenido mayor a 1% Martensita fina laminar o acicular con maclas paralelas (C)
- Aceros entre 0.6-1%C microestructura intermedia: láminas+cintas. (b)



8

3. Diagrama T-T-T. Fases presentes fuera equilibrio. Martensita

- La martensita es dura porque es una solución sobresaturada de carbono en ferrita
- En la transformación martensítica FCC → TCC. Hay un alargamiento en una dirección (c) y se contraen las otras dos
- El contenido en carbono es el único factor determinante de la dureza de la martensita
- Los otros elementos de aleación no influyen en la dureza de la martensita templada.

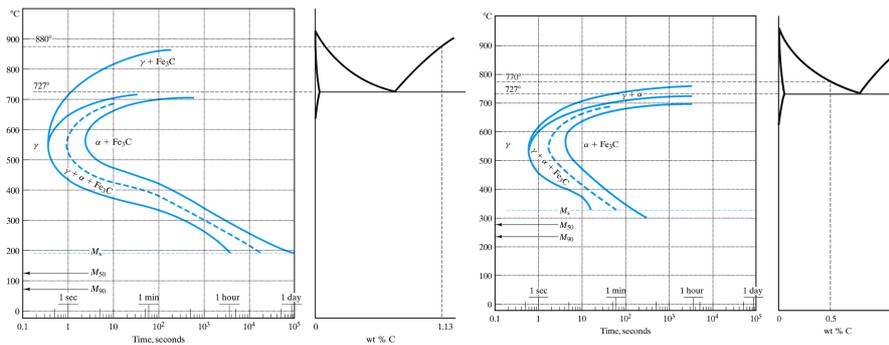
9

3. Diagrama T-T-T. Fases presentes fuera equilibrio. Bainita

- Bainita:
 - Es una estructura intermedia entre martensita y perlita.
 - Puede definirse como una estructura eutectoide no laminar de ferrita- α y Fe₃C.
 - 2 tipos:
 - Bainita superior: transformación isotérmica desde 550-350°C. Grandes regiones de cementita en forma de pluma
 - Bainita inferior: transformación isotérmica desde 350-250°C. Partículas muy finas, debido a que los C no difunden con facilidad

10

4. Diagramas TTT de Acero no eutectoide



11

4. Diagramas TTT de Acero no eutectoide

- La diferencia frente a los eutectoides es que la nariz se desplaza.
- Se añade otra línea de transformación en la parte superior de ferrita o cementita.
- En un acero hipoeutectoide se desplaza a la izquierda, siendo a altos contenidos en C imposible templar desde la región austenítica para producir estructuras 100% martensíticas.

12

5. Diagramas de enfriamiento continuo (TTC)

- Muestran las estructuras que se forman cuando el acero ha sido austenizado y después enfriado de manera continua a temperatura ambiente
- En el enfriamiento continuo del acero existe una velocidad crítica mínima para generar una estructura totalmente martensítica.
- El carbono y otros elementos de aleación cambian el aspecto de la gráfica

13

6. Revenido de la martensita

- Tiene como objetivo dar ductilidad a la estructura martensita, que es muy frágil
- El proceso consiste en un calentamiento constante durante un cierto periodo de tiempo $200^{\circ}\text{C} < T^{\text{a}} < 600^{\circ}\text{C}$
- La reacción es la siguiente



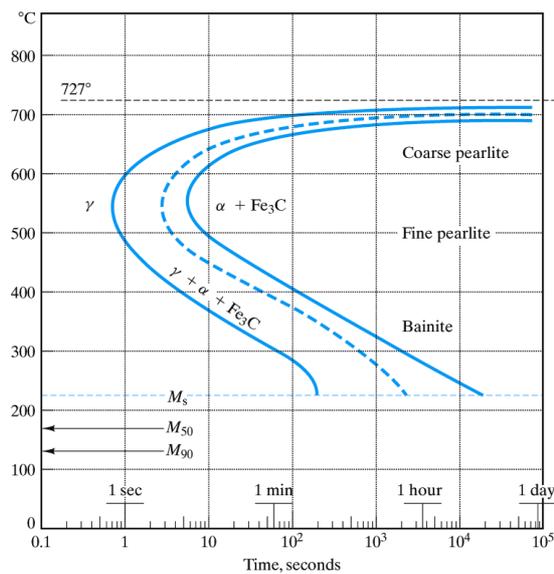
- La martensita (metaestable) se descomponen en ferrita y cementita (fases estables)
- Hay una relación aprox.lineal decreciente entre la T^{a} de revenido y la dureza de la probeta

14

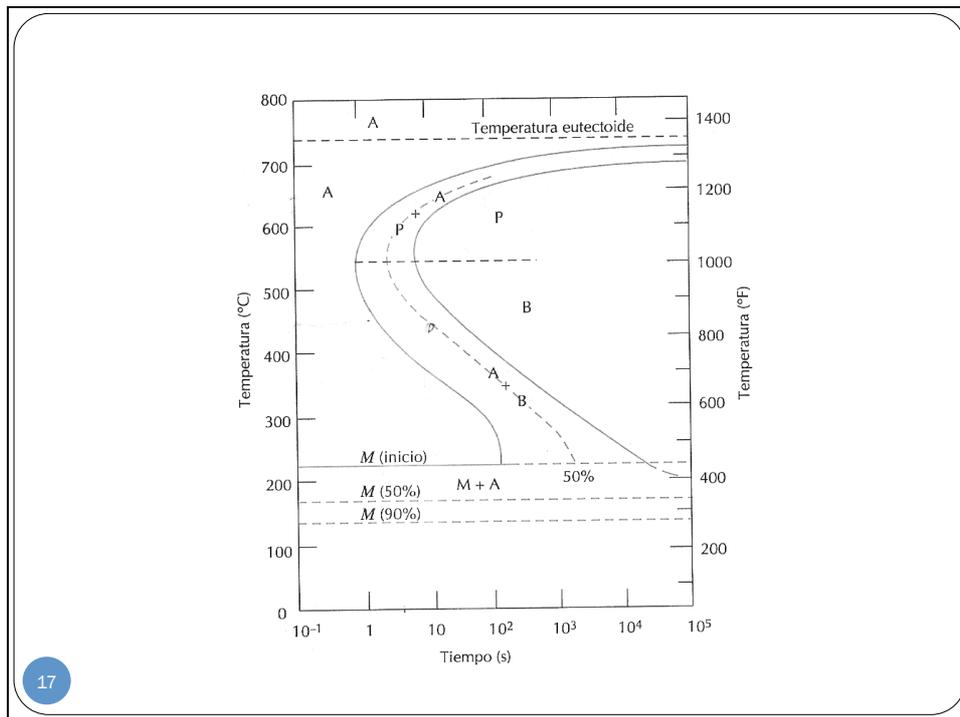
Problema 1

- Utilizando el diagrama de transformación isotérmica del acero de composición eutectoide, especificar la naturaleza de la microestructura resultante (en términos de los microconstituyentes presentes y porcentajes aproximado) de una pequeña probeta que se han sometido a los tratamientos tiempo-temperatura siguiente. Suponer en cada caso que la probeta se ha calentado a 760° C durante el tiempo suficiente para alcanzar una estructura austenítica homogénea.
 - Enfriamiento rápido hasta 350° C, donde se mantiene durante 10⁴s y temple a temperatura ambiente
 - Enfriamiento rápido a 250° C donde se mantiene durante 100 s temple a temperatura ambiente.
 - Enfriamiento rápido a 650° C donde se mantiene durante 20s, enfriamiento rápido a 400° C donde se mantiene durante 10³s y se temple a temperatura ambiente.

15



16



17

Solución Problema 1

- a) 100% bainita (transformación a 350° C), y no ocurre posterior transformación (la bainita no se transforma)
- b) 90 % estructura martensítica y 10% austenita remanente. Cruza la temperatura de iniciación de la transformación martensítica. Transformación a 215° C
- c) 50% de perlita (transformación a 650° C) y 50 % bainita (transformación a 400° C)

18

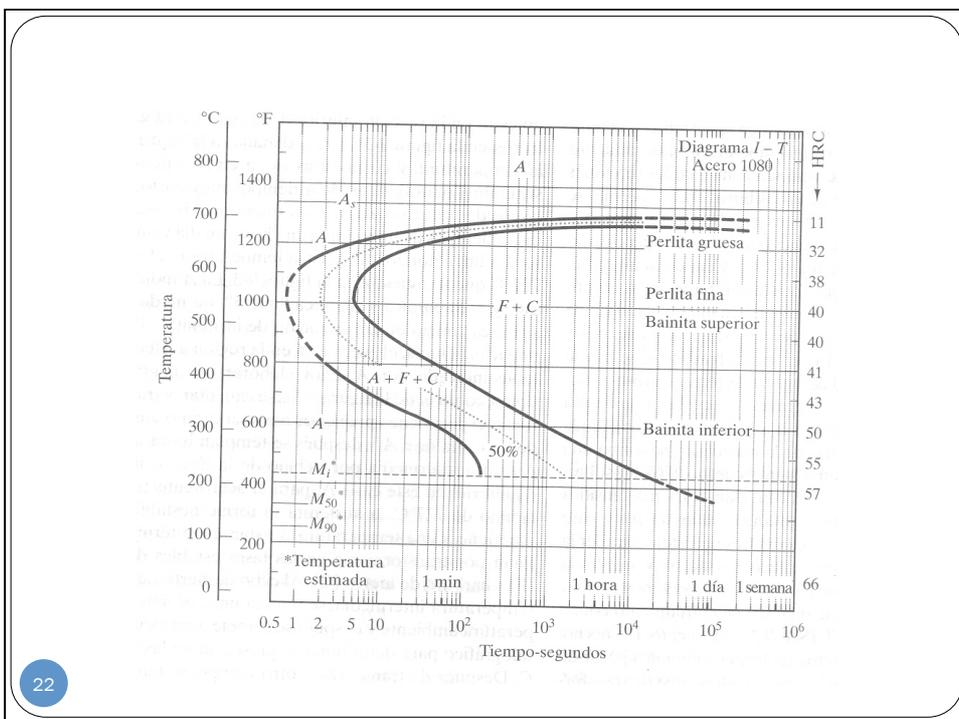
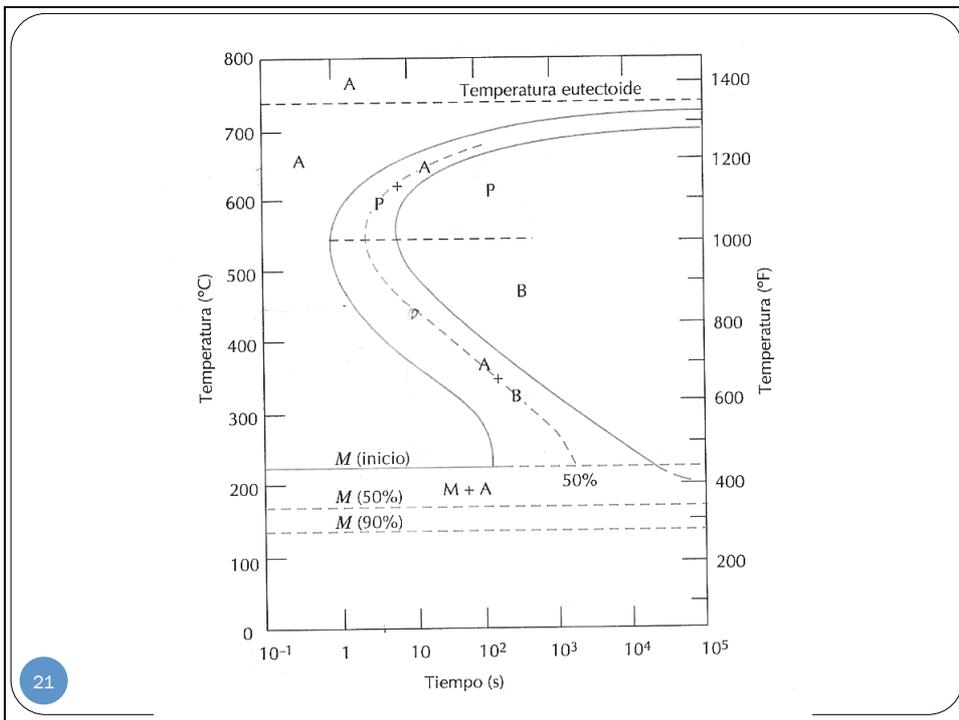
Problema 2

- Utilizando el diagrama de transformación isotérmica de un acero eutectoide especificar la naturaleza de la microestructura final en términos de microconstituyentes presentes y porcentajes aproximados de una pequeña probeta sometida a los siguientes tratamientos. En todo los casos, suponer que la probeta se ha calentado a 760°C durante el tiempo suficiente para conseguir una completa y homogénea estructura austenítica.
 - a) Enfriar rápidamente a 350° C, donde se mantiene 10³ s y luego templar a temperatura ambiente
 - b) Enfriar rápidamente a 625 ° C, mantener a esta temperatura durante 10 s y luego templar en temperatura ambiente.
 - c) Enfriar rápidamente a 600° C, mantener a esta temperatura d durante 4 s, enfriar rápidamente a 450°, mantener 10 s y templar a temperatura ambiente

19

- d) Volver a calentar a 700° C durante 20 h la muestra del apartado
- e) Enfriar rapidamente a 300° C, mantener durante 20 s y luego templar a temperatura ambiente en agua. Volver a calentar a 425° C durante 20 s y enfriar lentamente hasta temperatura ambiente.
- f) Enfriar rápidamente a 665° C, mantener durante 10³ s y templar a temperatura ambiente.
- g) Enfriar rápidamente a 575° C, mantener durante 20 s, enfriar rápidamente a 350° C, mantener durante 100 s y templar a temperatura ambiente.
- h) Enfriar rápidamente a 350° C, mantener durante 150 s, templar en agua hasta temperatura ambiente.

20



Solución Problema 2

- a) 100 % bainita
- b) 50 % perlita (transformación a 625° C), 40% martensita (cruza la temperatura de inicio de transformación) 10% austenita remanente
- c) 50 % perlita (primera transformación, 650 ° C), 50 % bainita (2ª transformación, 450° C)
- d) Esferoidita (perlita)
- e) 100 % martensita (revenida)
- f) 100 % perlita
- g) 100 % perlita (fina)
- h) ≈ 50% bainita (primera transformación 350 °C) 40 % martensita 10% austenita remanente

23

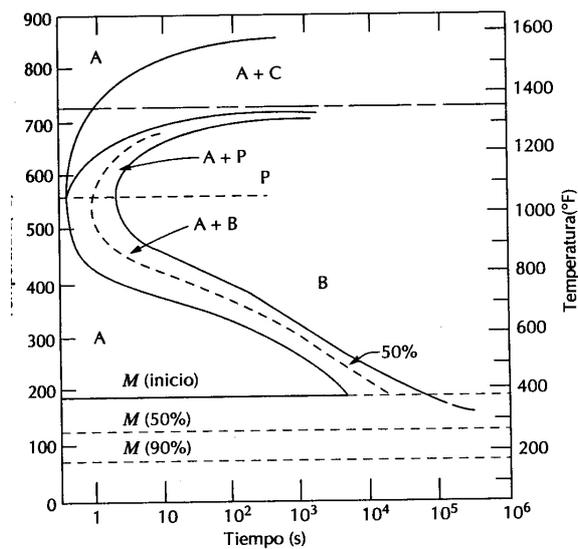
Problema 3

- Utilizando el diagrama de transformación isotérmico del acero con un 1,13 % , determinar la microestructura final (en términos de los microconstituyentes presentes) de una pequeña probeta sometida a los siguientes tratamientos. En cada caso suponer que la probeta se ha calentado a 920° C durante el tiempo suficiente para conseguir la estructura austenítica completa y homogénea.
 - a) Enfriar rápidamente a 250° C, mantener durante 10^3 s y templar a temperatura ambiente.
 - b) Enfriar rápidamente a 775° C, mantener durante 500 s y templar a temperatura ambiente
 - c) Enfriar rápidamente a 400° C, mantener durante 500 s y templar a temperatura ambiente

24

- d) Enfriar rápidamente a 700°C, mantener a esta temperatura durante 10^5 s, y templar a temperatura ambiente
- e) Enfriar rápidamente a 650 ° C, mantener a esta temperatura durante 3 s, enfriar rápidamente a 400° C, mantener a esta temperatura durante 25 s y templar a temperatura ambiente
- f) Enfriar rápidamente a 350° C, mantener durante 300 s y templar a temperatura ambiente
- g) Enfriar rápidamente a 675° C, mantener durante 7 s y templar a temperatura ambiente.

25



26

Solución Problema 3

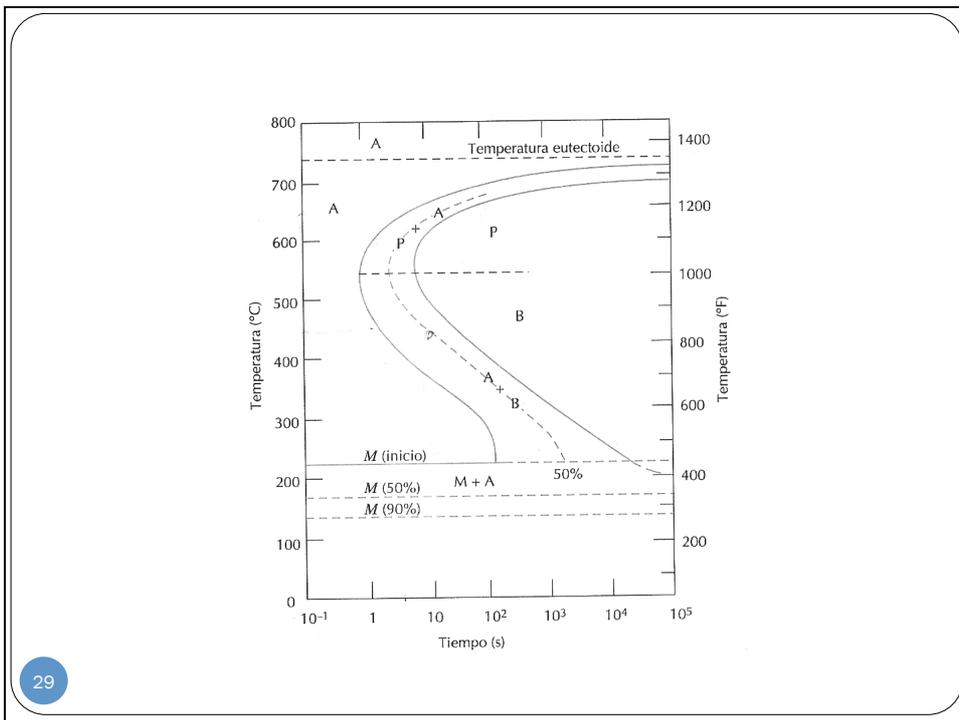
- a) 100% martensita
- b) cementita pre-eutectoide y martensita (no se puede especificar proporciones)
- c) 100% bainita
- d) cementita pre-eutectoide y perlita (se llega a transformar toda la reacción)
- e) cementita pre-eutectoide, perlita, bainita y martensita (no se especifican proporciones)
- f) bainita (primera transformación, 350° C) y martensita
- g) cementita pre-eutectoide, perlita y martensita
- h) cementita pre-eutectoide (1ª transformación, 600° C) y perlita (2ª transformación 600° C) (no se especifican proporciones)

27

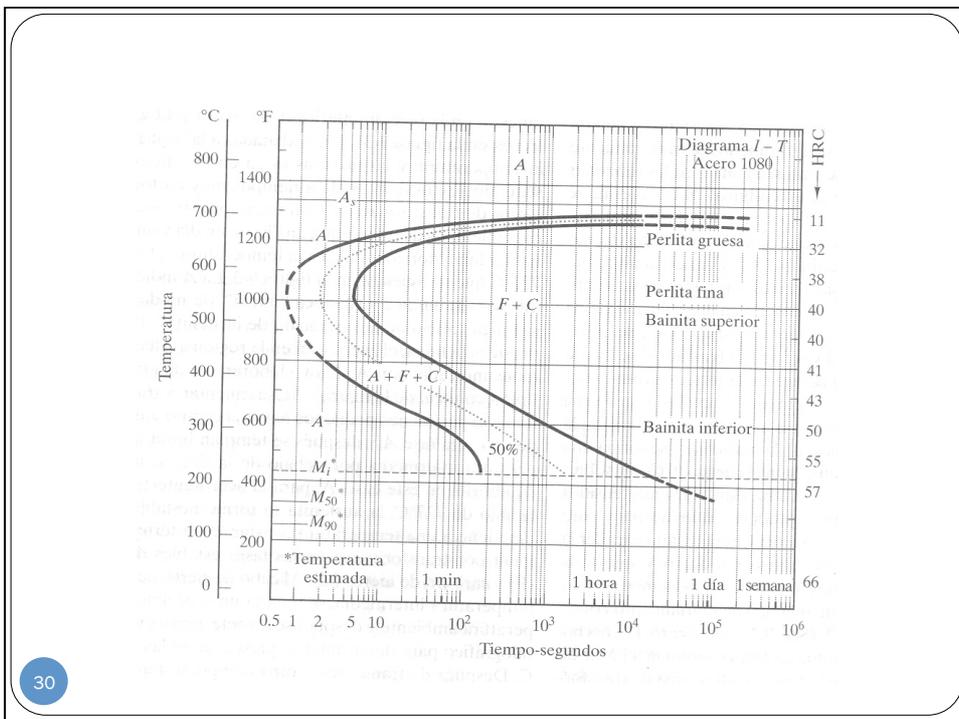
Problema 4

- Con el diagrama de transformación isotérmica del acero eutectoide, nombrar las etapas que producen las siguientes microestructuras
 - a) 100 % perlita gruesa
 - b) 50 % martensita y 50% austenita
 - c) 50 % perlita gruesa, 25% bainita, 50 % austenita.

28



29

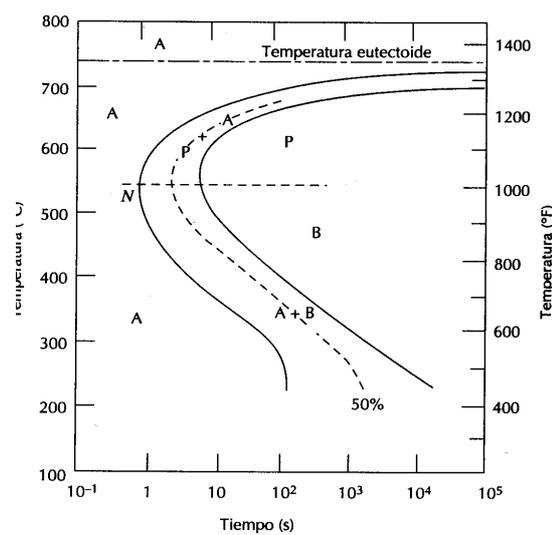


30

Solución Problema 4

- (Utilizar mejor el diagrama rayado)
- a) Bajar hasta 650° C desde la temperatura de austenización (760° C) y esperar 100 s y despues templar a T^a ambiente
- b) Bajar hasta 166° C y mantener a esa temperatura
- c) Bajar hasta 650°, esperar 50 s, volver a bajar rapidamente a 400° C, esperar otros 50 s y templar, finalmente.

31



32