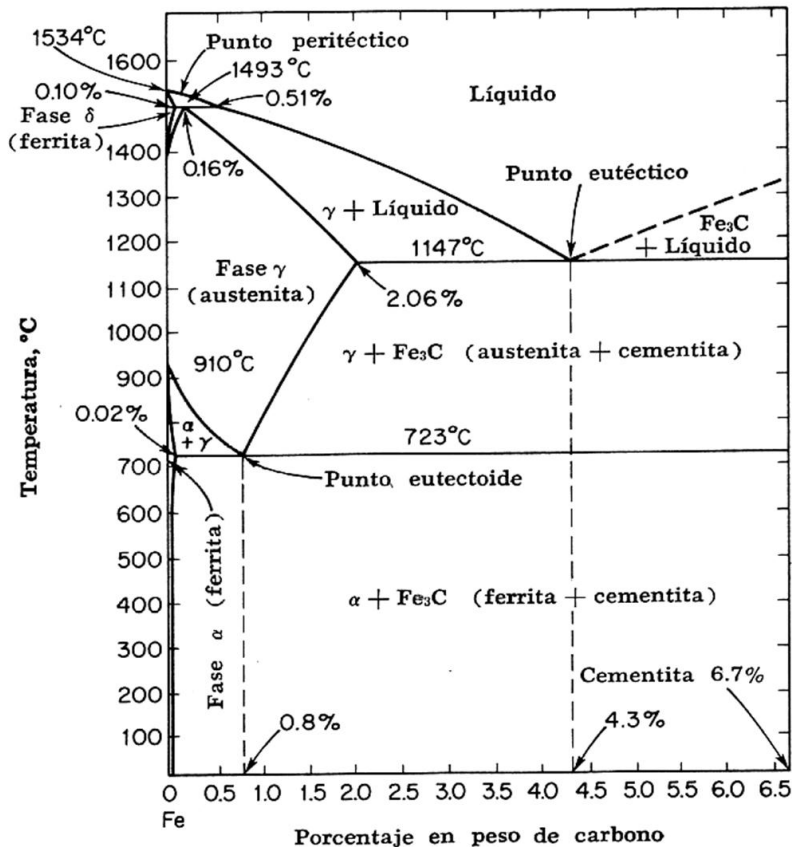


**PROBLEMAS RESUELTOS DE DIAGRAMAS DE FASES AL EQUILIBRIO.
ACEROS AL CARBONO**

Problema 1

Considere aleaciones Fe-C con $0\% \text{p.C} \leq W_0 \leq 6,7\% \text{p.C}$ y el diagrama de fases al equilibrio F-Fe₃C adjunto, un dato. Se pide, bajo condiciones de equilibrio, T= 800°C:

- Graficar la composición de la o las fases presentes en función de la composición W_0 de la aleación.
- Graficar la fracción de la o las fases presentes en función de la composición W_0 de la aleación.



Respuesta

Este es un problema de aplicación, donde se pide graficar la respuesta y no se necesita explicar cómo se llega a ella. Esto último podría ser objeto de una pregunta de teoría. No obstante, en este caso, se desarrollará también el procedimiento previo a la presentación de los gráficos respuesta. (NO es necesario hacerlo en una prueba como respuesta al anterior enunciado).

En la interpretación de un diagrama binario hay campos monofásicos y bifásicos, y en ellos se puede responder unívocamente las Preguntas Básicas 1, 2 y 3. Estas preguntas son: 1. ¿Cuál o cuáles son las fases presentes?, 2. ¿Cuál es la composición de la o las fases?, y 3. ¿Cuál es la fracción en peso de la o las fases presentes? Tales preguntas se pueden formular para un punto dado del diagrama (W_0 , T) o bien, como gráficos, en función de W_0 o de T.

En un campo monofásico, para una aleación de composición W_0 , a la temperatura T de interés: 1) habrá una fase, 2) la composición de esa fase será W_0 , y 3) la fracción de esa fase será $X=1$.

En un campo bifásico, para una aleación de composición W_0 , a la temperatura T de interés:

1) habrá dos fases, sean estas F_1 y F_2 .

2) la composición de cada una de esas fases corresponderá, de ser una solución sólida, a la respectiva composición de saturación, en tanto que, de ser un compuesto definido (NaCl , Fe_3C , por ejemplo), corresponderá a la composición de dicho compuesto.

Por ejemplo, en la nomenclatura $\underline{W_{F_2}}$ el subrayado indica que la composición de la fase F_2 corresponde a la de saturación.

Cabe señalar que las líneas no horizontales a cada costado de un campo bifásico corresponden a la composición, en función de la temperatura, de cada una de las dos fases presentes. Para leer la composición de cada fase hay que leer a la temperatura adecuada sobre la respectiva línea (“abrir los bracitos”).

3) la fracción de cada una de las fases presentes se calcula por la Regla de la Palanca, a partir de tres datos: W_0 , W_{F_1} y W_{F_2} .

Además, en esos diagramas puede haber puntos singulares, como lo son los puntos de fusión de los elementos participantes y los puntos eutécticos o eutéctoides. En estos puntos, las respuestas a las tres preguntas básicas no son únicas, dado que dependen del tiempo y es conveniente argumentar con un diagrama de enfriamiento continuo. Para este problema no intervienen puntos singulares.

Nótese que en ocasiones se formulan directamente las Preguntas Básicas 2 y 3, sin hacer explícita la Pregunta Básica 1. Sin embargo, no se pueden responder las dos últimas preguntas sin haber respondido la primera, aunque sea implícitamente. Y, por supuesto, la información necesaria se obtiene del diagrama de equilibrio usando los datos proporcionados en el enunciado.

Desarrollo detallado

Nótese que en diagrama de equilibrio proporcionado como dato, las variables en los ejes son W_0 y T , que son los dos grados de libertad del diagrama en uso

En esta pregunta se pide determinar, para $T= 800^\circ\text{C}$, la composición de la o las fases presentes **en función de W_0** , esto es:

$W_\alpha(W_0, T= 800^\circ\text{C})$, $W_\gamma(W_0, T= 800^\circ\text{C})$ y $W_{\text{Fe}_3\text{C}}(W_0, T= 800^\circ\text{C})$.

Más frecuentemente, lo anterior se escribirá, por simplicidad: $W_\alpha(W_0)$, $W_\gamma(W_0)$ y $W_{\text{Fe}_3\text{C}}(W_0)$ a $T= 800^\circ\text{C}$.

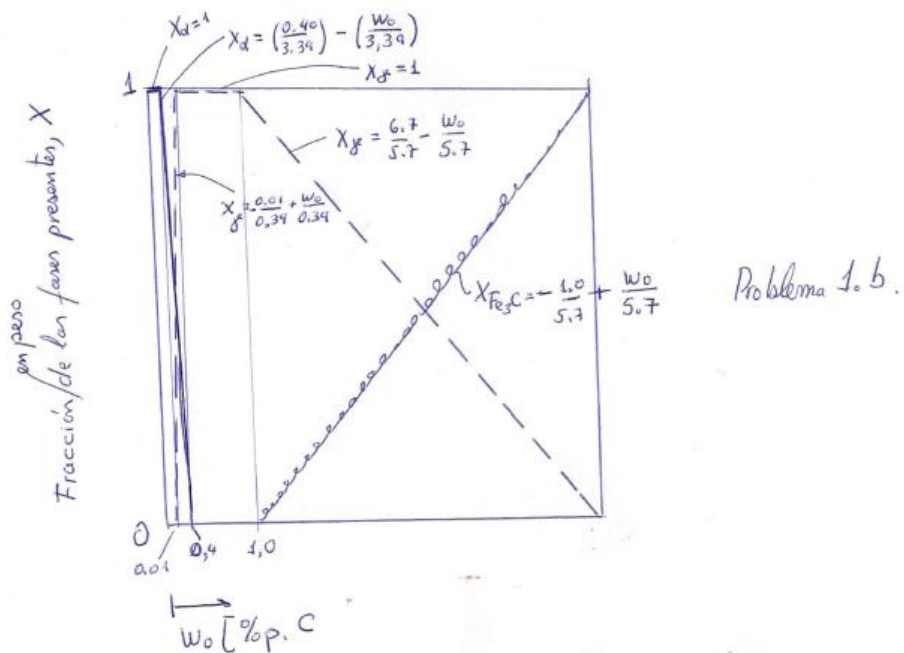
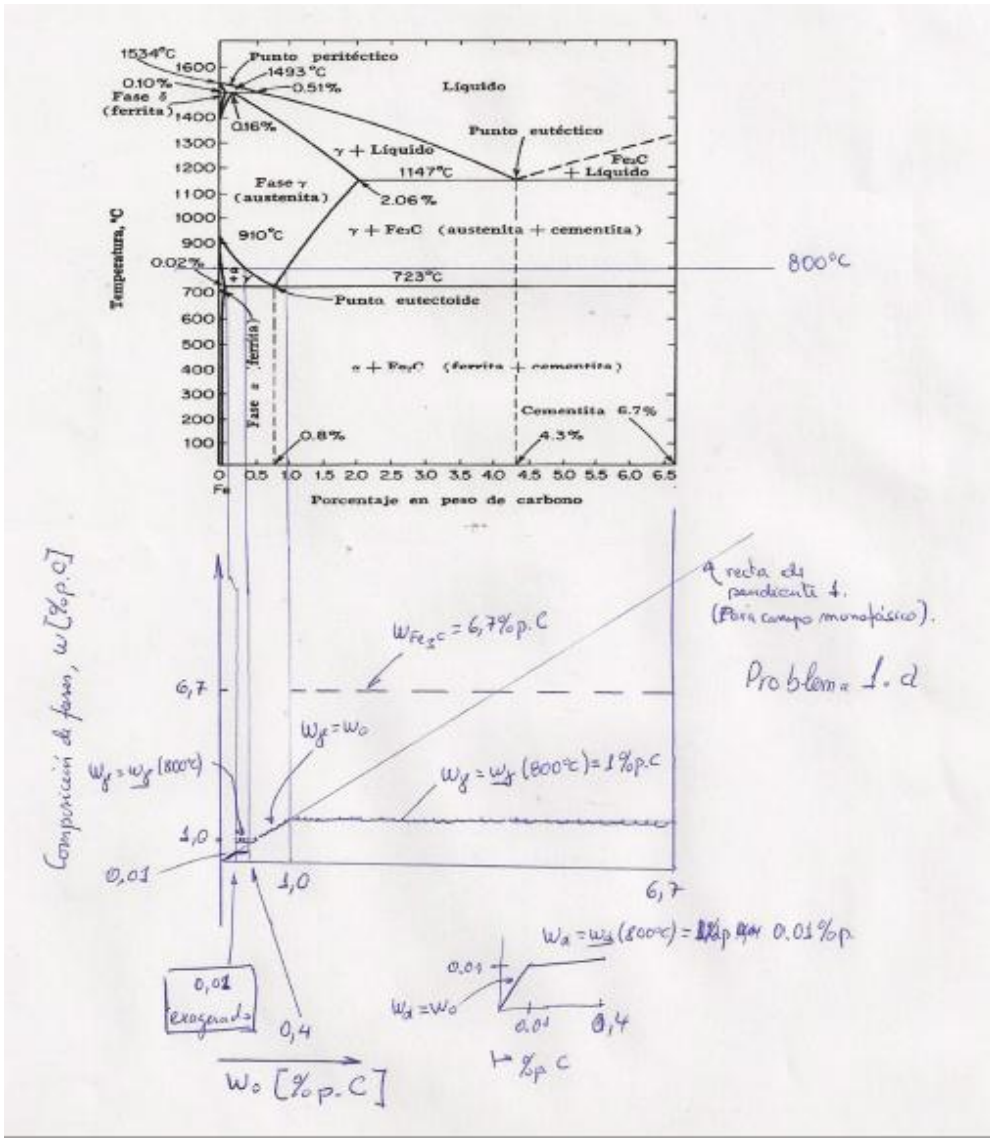
En este momento del análisis conviene dibujar la isoterma $T= 800^\circ\text{C}$, una línea horizontal, sobre el diagrama de fases.

Luego hay que recorrer esa isoterma de izquierda a derecha, recorrido según la variable W_0 , para determinar los rangos de fases presentes en función de W_0 . Así se obtiene la respuesta a la pregunta básica 1, ver primera columna de la Tabla 1.

Tabla 1. Respuestas a las tres preguntas básicas, en función de W_0 y para $T= 800^\circ\text{C}$.

P1. Rango)		
Monofásico α , desde 0 hasta $\approx 0,01\%$ p.C.	$W_\alpha = W_0$ En un gráfico W_α versus W_0 , esta es un recta que pasa por el origen y con pendiente 1.	$X_\alpha = 1$ fracción en peso
Bifásico $\alpha+\gamma$, desde $\approx 0,01$ hasta $\approx 0,4\%$ p.C.	Hay dos soluciones sólidas saturadas: $W_\alpha = \underline{W}_\alpha (800^\circ\text{C}) \approx 0,01$ $W_\gamma = \underline{W}_\gamma (800^\circ\text{C}) \approx 0,4$ Los valores se obtienen de interceptar, en el diagrama respectivo, la isoterma $T=$ 800°C con las respectivas curvas de saturación, a cada lado del campo bifásico.	Aplicando la R. de la P.: $X_\alpha \approx (0,40 - W_0)/(0,4-0,01)$ $= (0,4/(3,39) - (W_0/3,39)$ $X_\alpha (W_0)$ es una recta de pendiente negativa, que pasa por los puntos $(0,01\%$ p.C, 1) y $(0,4\%$ p.C, 0). Para $X_\gamma (W_0)$ se tiene la recta complementaria, de pendiente positiva: $X_\gamma \approx (W_0 - 0,01)/(0,40 - 0,01)$ $= (-0,01/0,39) + (W_0/0,39)$ Esta recta pasa por los puntos $(0,01\%$ p.C, 0) y $(0,40\%$ p.C, 1).
Monofásico γ , desde $\approx 0,4 \%$ p.C hasta $\approx 1,0\%$ p.C	$W_\gamma = W_0$ En un gráfico W_γ versus W_0 , esta es un recta que pasa por el origen y con pendiente 1.	$X_\gamma = 1$ fracción en peso
Bifásico $\gamma+ \text{Fe}_3\text{C}$, desde $\approx 1,0$ hasta $6,7\%$ p.C	Hay una solución sólida saturada (γ) y un compuesto definido Fe_3C : $W_\gamma = \underline{W}_\gamma (800^\circ\text{C}) \approx 1,0$ $W_{\text{Fe}_3\text{C}} = 6,7\%$ p.C Los precedentes valores se obtienen de interceptar, en el diagrama respectivo, la isoterma $T= 800^\circ\text{C}$ con las respectivas curvas de saturación, a cada lado del campo bifásico.	Aplicando la R. de la P.: $X_\gamma \approx (6,7 - W_0)/(6,7-1,0)$ $= (6,7/(5,7) - (W_0/5,7)$ $X_\gamma (W_0)$ es una recta de pendiente negativa, que pasa por los puntos $(1,0\%$ p.C, 1) y $(6,7\%$ p.C, 0). Para $X_{\text{Fe}_3\text{C}} (W_0)$ se tiene la recta complementaria, de pendiente positiva: $X_{\text{Fe}_3\text{C}} \approx (W_0 - 1,0)/(6,7 - 1,0)$ $= - (1,0/(5,7) + (W_0/5,7)$ Esta recta pasa por los puntos $(1,0\%$ p.C, 0) y $(6,7\%$ p.C, 1).

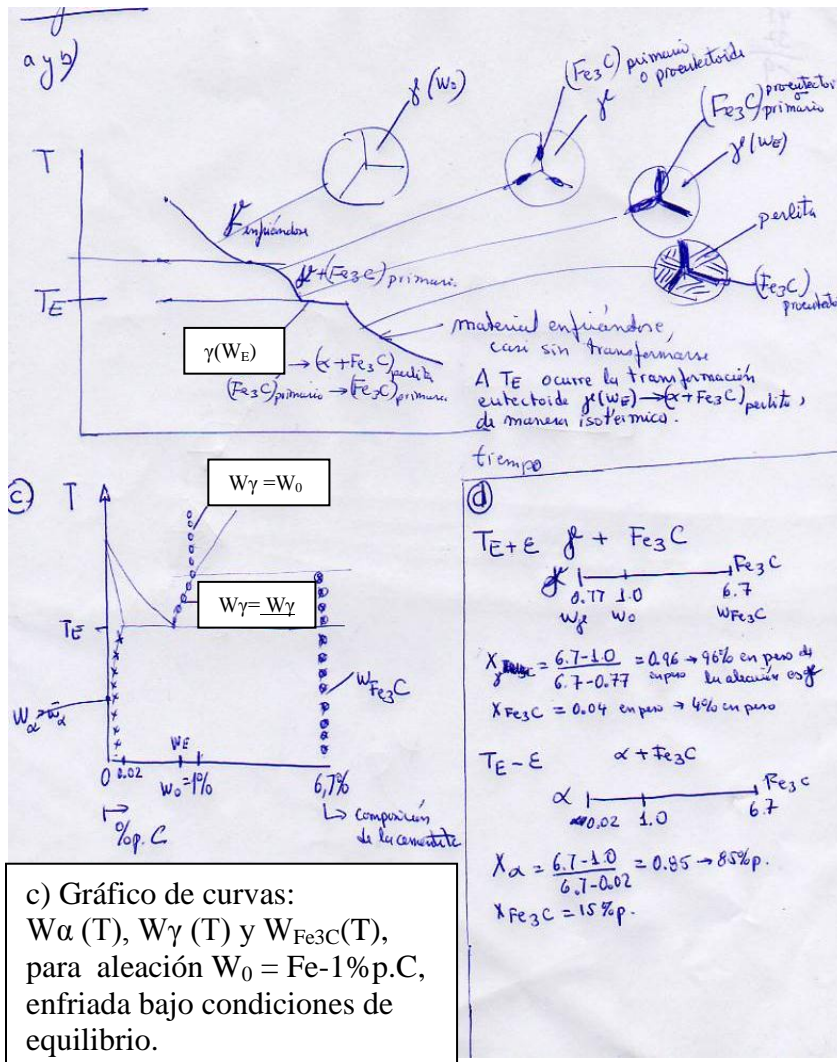
Finalmente, a continuación van los gráficos solicitados en el enunciado. En una respuesta de prueba no es necesario explicar todo lo anterior. Sin embargo, sobre la figura deben agregarse las ecuaciones empleadas y los valores específicos de composición asociados a las curvas representadas.



Problema 2

Considere un acero de composición Fe-1,0%p.C el cual es enfriado, bajo condiciones de equilibrio, desde 1200 °C hasta la temperatura ambiente.

- Dibuje una curva de enfriamiento continuo razonable, justificando los cambios de pendiente detectados. Recuerde que en este caso la acción es sacar calor.
- Para puntos representativos de la anterior curva, ilustre las estructuras metalográficas que se van obteniendo.
- Sobre un gráfico Temperatura versus Composición, represente la composición de la o las fases presentes en función de la temperatura. Ilustre la temperatura en el eje vertical.
- Para las temperaturas $T_{E+\epsilon}$ y $T_{E-\epsilon}$, identifique las fases presentes y calcule la fracción en peso correspondiente a cada una de ellas.



c) Gráfico de curvas: $W_\alpha(T)$, $W_\gamma(T)$ y $W_{Fe_3C}(T)$, para aleación $W_0 = Fe-1\%p.C$, enfriada bajo condiciones de equilibrio.

Muy importante, ante la acción de sacar calor lentamente:

Al llegarse a $T_{E+\epsilon}$ se tendrá Fe_3C proeutectoide y austenita de composición justo eutécticoide, $\gamma(W_E)$.

Al sacar calor se tendrá que $\gamma(W_E)$ se transformará a T_E , según la correspondiente transformación eutécticoide, en forma isotérmica, en $\alpha + Fe_3C$ con morfología perlítica.

Solo una vez que se haya completado esta transformación eutécticoide, la perlita resultante y la fase α se podrán seguir enfriando.

Nótese que entre $T_{E+\epsilon}$ y $T_{E-\epsilon}$, la fase Fe_3C proeutectoide no sufre ninguna transformación.