

DIAGRAMA HIERRO-CARBONO:

1.- Haciendo uso del diagrama Fe-C , verificar el enfriamiento lento (en condiciones próximas al equilibrio) de las siguientes aleaciones:

- a) Acero de 0.17% de C
- b) Acero de 0.30% de C
- c) Acero de 0.53% de C
- d) Acero de 0.77% de C
- e) Acero de 1.00% de C

2.- De las aleaciones del problema anterior, calcular los porcentajes y las fases constituyentes a 1496 y 1494 °C (sólo en el caso de las tres primeras) y a 728 y 726 °C para todas.

3.- Para las mismas aleaciones, construir las curvas de enfriamiento, especificando a que tipo de transformación corresponde cada punto de detención.

4.- Determinar cuantitativamente los constituyentes a temperatura ambiente de los siguientes aceros:

- a) Acero de 0.1% de C
- b) Acero de 0.2% de C
- c) Acero de 0.5% de C
- d) Acero de 1.5% de C

5.- Describir la solubilidad del Carbono en el Hierro en función de la temperatura y de sus distintos estados alotrópicos.

6.- Calcular el porcentaje de Ferrita y Cementita que contiene la Perlita a temperatura ambiente.

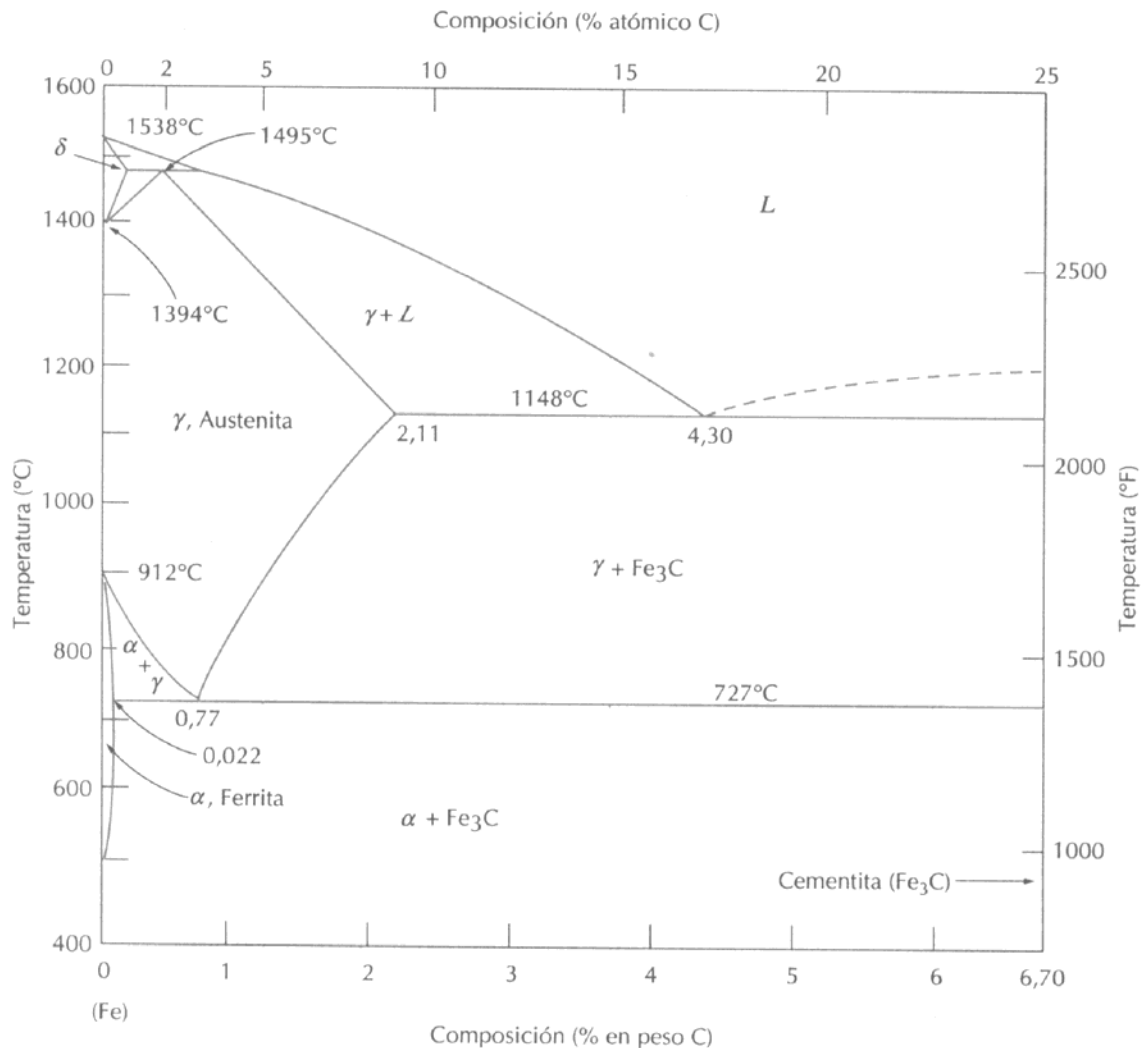
7.- Deducir el porcentaje de C que contiene un acero hipoeutectoide, sabiendo que en su estructura final a temperatura ambiente contiene un 94% de Ferrita.

8.- ¿ Por qué en el diagrama de las aleaciones Fe-C la concentración de C está limitada al 6.67%?

9.- ¿ Por qué la transformación $Fe \alpha \Leftrightarrow Fe \gamma$ produce una variación de volumen?

10.- Una pieza de hierro de 50 Kg contiene 800 g de C,

- a) ¿Qué tipo de aleación es ?
- b) ¿Cuales son sus constituyentes y su estructura a temperatura ambiente?
- c) Calcular su densidad a temperatura ambiente sabiendo que la $\rho Fe\alpha$ es 7.87 g cm^{-3} y que la ρCFe_3 es 7.54 g cm^{-3} .
- d) Estudiar su enfriamiento lento desde fase líquida hasta temperatura ambiente.



SOLUCIONES:

1. y 2 - a) 0.17% de C

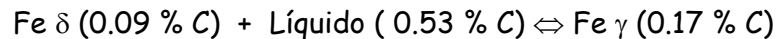
Comienza a solidificar a una temperatura (T_1) aproximada de 1520 °C con primeros gérmenes de Fe δ (0.06 % C).

A medida que desciende la temperatura hasta (T_2) 1495 °C + dT, la fracción sólida va haciéndose más importante en masa a expensas de la fase líquida cuya composición varía desde el 0.17 %C inicial hasta el 0.53 %C a esta temperatura, simultáneamente la fase sólida se concentra en C hasta alcanzar la composición 0.09 %C. Si el enfriamiento se verifica en condiciones de equilibrio, la fase sólida va homogeneizándose a medida que avanza la solidificación, mediante la acción de la difusión en fase sólida.

$T_2 = 1496 \text{ }^\circ\text{C}$:

$$\begin{aligned} \text{Fe } \delta (0.09 \% \text{ C}) &= 81,8\% \\ \text{Líquido (0.53 \% C)} &= 18,2 \% \end{aligned}$$

A $T_3 = 1495^\circ\text{C}$: Reacción peritética:



A $T_4 = 1494^\circ\text{C}$: temperatura a la cual se termina la solidificación, quedando toda la aleación formada por una única fase sólida, $\text{Fe } \gamma (0.17 \% \text{ de C})$.

$$\text{Fe } \gamma (0.17 \% \text{ C}) = 100\%$$

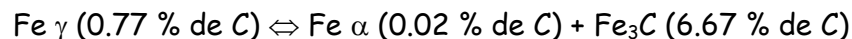
Durante el enfriamiento que sigue hasta los $850 \text{ }^\circ\text{C}$, la única fase presente es $\text{Fe } \gamma (0.17 \% \text{ de C})$.

Durante el enfriamiento entre $850 \text{ y } 727 \text{ }^\circ\text{C} + dT$, se produce la separación del $\text{Fe } \alpha (0.022 \% \text{ de C})$, mientras que el $\text{Fe } \gamma (0.17 \% \text{ de C})$ se concentra en C hasta alcanzar la concentración $0.77\% \text{ de C}$.

A $T_5 = 727 + dT = 728^\circ\text{C}$:

$$\begin{aligned} \text{Fe } \gamma (0.77 \% \text{ C}) &= 19,8\% \\ \text{Fe } \alpha (0.02 \% \text{ C}) &= 80,2\% \end{aligned}$$

A $T_6 = 727^\circ\text{C}$: Reacción eutectoide:



A $T_7 = 727 - dT = 726^\circ\text{C}$:

$$\begin{aligned} \text{Fe } \alpha (0.02 \% \text{ de C}) &= 97,75\% \\ \text{Fe}_3\text{C (6.67 \% C)} &= 2,25 \% \end{aligned}$$

Durante el enfriamiento entre $726 \text{ }^\circ\text{C}$ hasta temperatura ambiente se produce la separación de C del $\text{Fe } \alpha$ (desde $0.022 \% \text{ de C}$ hasta 0% a 500°C) en forma de Fe_3C .

A $T_8 = 0^\circ\text{C}$:

$$\begin{aligned} \text{Fe } \alpha (0.00 \% \text{ de C}) &= 95,5\% \\ \text{Fe}_3\text{C (6.67 \% C)} &= 4,5 \% \end{aligned}$$

b) 0.3% de C

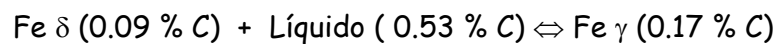
$T_1 = 1525\text{ }^\circ\text{C}$: Primeros gérmenes de $\text{Fe } \delta$ (0.04 % C).

$T_2 = 1496\text{ }^\circ\text{C}$: $\text{Fe } \delta$ (0.09 % C) \Leftrightarrow Líquido (0.53 % C)

$$\text{Fe } \delta$$
 (0.09 % C) = 52.3 %

$$\text{Líquido (0.53 % C) = 47.7 %}$$

$T_3 = 1495\text{ }^\circ\text{C}$: Reacción peritética:



$T_4 = 1494\text{ }^\circ\text{C}$: $\text{Fe } \gamma$ (0.17 % C) \Leftrightarrow Líquido (0.53 % C)

$$\text{Fe } \gamma$$
 (0.17 % C) = 63.9 %

$$\text{Líquido (0.53 % C) = 36.2 %}$$

$T_5 = 1470\text{ }^\circ\text{C}$: $\text{Fe } \gamma$ (0.3 % de C). = 100%

Durante el enfriamiento que sigue hasta los $T_6 = 800\text{ }^\circ\text{C}$, la única fase presente es $\text{Fe } \gamma$ (0.3 % de C).

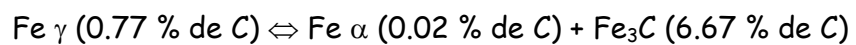
Durante el enfriamiento entre $800\text{ }^\circ\text{C}$ y $727\text{ }^\circ\text{C} + dT$, se produce la separación del $\text{Fe } \alpha$ (0.02 % de C), mientras que el $\text{Fe } \gamma$ (0.3 % de C) se concentra en C hasta alcanzar la concentración 0.77% de C a $727\text{ }^\circ\text{C}$.

$T_7 = 727 + dT = 728\text{ }^\circ\text{C}$ $\text{Fe } \gamma$ (0.77 % C) \Leftrightarrow $\text{Fe } \alpha$ (0.02 % de C)

$$\text{Fe } \gamma$$
 (0.77 % C) = 62.7 %

$$\text{Fe } \alpha$$
 (0.02 % C) = 37.3 %

$T_8 = 727\text{ }^\circ\text{C}$: Reacción eutectoide:



$T_9 = 727 - dT = 726\text{ }^\circ\text{C}$: $\text{Fe } \alpha$ (0.02 % de C) \Leftrightarrow Fe_3C (6.67 % de C)

$$\text{Fe } \alpha$$
 (0.02 % de C) = 95.8 %

$$\text{Fe}_3\text{C}$$
 (6.67 % C) = 4.2 %

Durante el enfriamiento entre $726\text{ }^\circ\text{C}$ hasta temperatura ambiente se produce la separación de C del $\text{Fe } \alpha$ (desde 0.022 % de C hasta 0% a $500\text{ }^\circ\text{C}$) en forma de Fe_3C .

A $T_{10} = 0\text{ }^\circ\text{C}$:

$$\text{Fe } \alpha$$
 (0.00 % de C) = 95,5%

$$\text{Fe}_3\text{C}$$
 (6.67 % C) = 4,5 %

c) 0.53% de C

$T_1 = 1495^\circ\text{C}$: Primeros gérmenes de $\text{Fe } \gamma$ (0.17 % C) \Leftrightarrow Líquido (0.53 % C)

$$\begin{aligned}\text{Fe } \gamma \text{ (0.17 \% C)} &= 0 \% \\ \text{Líquido (0.53 \% C)} &= 100 \%\end{aligned}$$

$T_2 = 1400^\circ\text{C}$: $\text{Fe } \gamma$ (0.53 % de C) = 100%

Durante el enfriamiento que sigue hasta los $T_3 = 750^\circ\text{C}$, la única fase presente es $\text{Fe } \gamma$ (0.53 % de C).

Durante el enfriamiento entre 750 y $727^\circ\text{C} + dT$, se produce la separación del $\text{Fe } \alpha$ (0.02 % de C), mientras que el $\text{Fe } \gamma$ (0.53 % de C) se concentra en C hasta alcanzar la concentración 0.77% de C a 727°C .

$$\begin{aligned}T_4 = 727 + dT = 728^\circ\text{C} \quad & \text{Fe } \gamma \text{ (0.77 \% C)} \Leftrightarrow \text{Fe } \alpha \text{ (0.02 \% de C)} \\ & \text{Fe } \gamma \text{ (0.77 \% C)} = 68,0 \% \\ & \text{Fe } \alpha \text{ (0.02 \% C)} = 32,0 \%\end{aligned}$$

$T_5 = 727^\circ\text{C}$: Reacción eutéctica:



$$\begin{aligned}T_6 = 727 - dT = 726^\circ\text{C}: \quad & \text{Fe } \alpha \text{ (0.02 \% de C)} \Leftrightarrow \text{Fe}_3\text{C (6.67 \% de C)} \\ & \text{Fe } \alpha \text{ (0.02 \% de C)} = 92,3 \% \\ & \text{Fe}_3\text{C (6.67 \% C)} = 7,7 \%\end{aligned}$$

Durante el enfriamiento entre 726°C hasta temperatura ambiente se produce la separación de C del $\text{Fe } \alpha$ (desde 0.022 % de C hasta 0% a 500°C) en forma de Fe_3C .

A $T_7 = 0^\circ\text{C}$:

$$\begin{aligned}\text{Fe } \alpha \text{ (0.00 \% de C)} &= 92,1\% \\ \text{Fe}_3\text{C (6.67 \% C)} &= 7,9 \%\end{aligned}$$

d) 0.77% de C

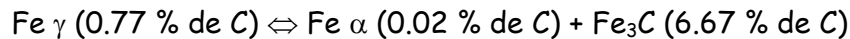
$T_1 = 1450^\circ\text{C}$: $\text{Fe } \gamma$ (0.3 % C) \Leftrightarrow Líquido (0.77 % C)

$$\begin{aligned}\text{Fe } \gamma \text{ (0.3 \% C)} &= 0 \% \\ \text{Líquido (0.77 \% C)} &= 100 \%\end{aligned}$$

$T_2 = 1370^\circ\text{C}$: $\text{Fe } \gamma$ (0.77 % de C) = 100%

Durante el enfriamiento que sigue hasta los 727 °C, la única fase presente es Fe γ (0.77 % de C).

$T_3 = 727 \text{ °C}$: Reacción eutectoide:



$$\text{Fe } \alpha \text{ (0.02 \% de C)} = 88.8 \%$$

$$\text{Fe}_3\text{C (6.67 \% C)} = 11.2 \%$$

Durante el enfriamiento entre 727 °C hasta temperatura ambiente se produce la separación de C del Fe α (desde 0.022 % de C hasta 0% a 500°C) en forma de Fe₃C.

A $T_4 = 0 \text{ °C}$:

$$\text{Fe } \alpha \text{ (0.00 \% de C)} = 88,5\%$$

$$\text{Fe}_3\text{C (6.67 \% C)} = 11,5 \%$$

e) 1,0% de C

$T_1 = 1440 \text{ °C}$: Fe γ (0.5 % C) \Leftrightarrow Líquido (1,0 % C)

$$\text{Fe } \gamma \text{ (0.5 \% C)} = 0 \%$$

$$\text{Líquido (1,0\% C)} = 100 \%$$

$T_2 = 1300 \text{ °C}$: Fe γ (1,0 % de C). = 100%

Durante el enfriamiento que sigue hasta los $T_3 = 900 \text{ °C}$, la única fase presente es Fe γ (1,0 % de C).

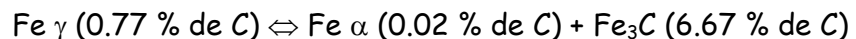
Durante el enfriamiento entre 900 y 727 °C + dT, se produce la separación del Fe₃C (6.67 % de C), mientras que el Fe γ (1,0 % de C) pierde C hasta alcanzar la concentración 0.77% de C a 727 °C .

$T_4 = 727 + dT = 728 \text{ °C}$ Fe γ (0.77 % C) \Leftrightarrow Fe₃C (6.67 % de C)

$$\text{Fe } \gamma \text{ (0.77 \% C)} = 95,0 \%$$

$$\text{Fe}_3\text{C (6.67 \% de C)} = 5,0 \%$$

$T_5 = 727 \text{ °C}$: Reacción eutectoide:



$T_6 = 727 - dT = 726 \text{ °C}$: Fe α (0.02 % de C) \Leftrightarrow Fe₃C (6.67 % de C)

$$\text{Fe } \alpha \text{ (0.02 \% de C)} = 85,3 \%$$

$$\text{Fe}_3\text{C (6.67 \% C)} = 14.7 \%$$

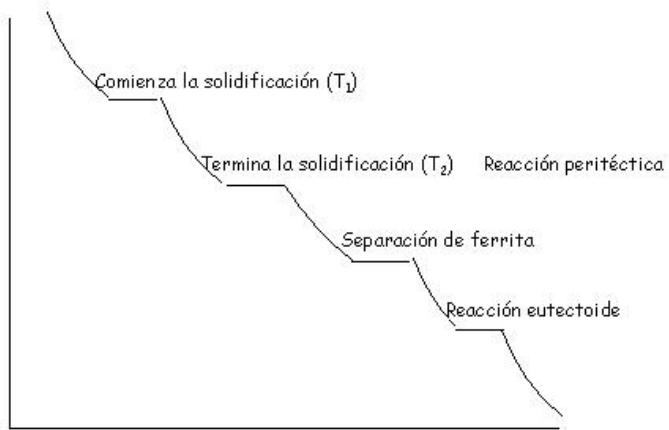
Durante el enfriamiento entre 726 °C hasta temperatura ambiente se produce la separación de C del Fe α (desde 0.022 % de C hasta 0% a 500°C) en forma de Fe₃C.

A $T_7 = 0 \text{ °C}$:

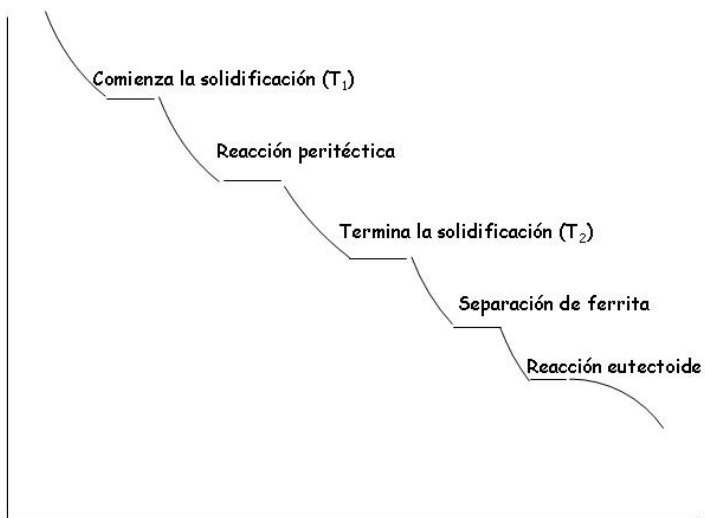
$$\text{Fe } \alpha \text{ (0.00 \% de C)} = 85,0\%$$

$$\text{Fe}_3\text{C (6.67 \% C)} = 15,0 \%$$

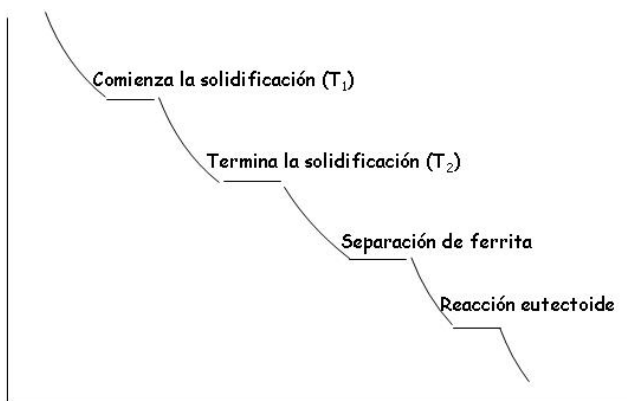
3.- a)



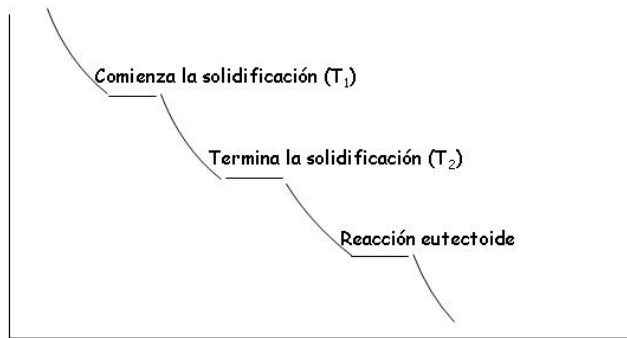
b)



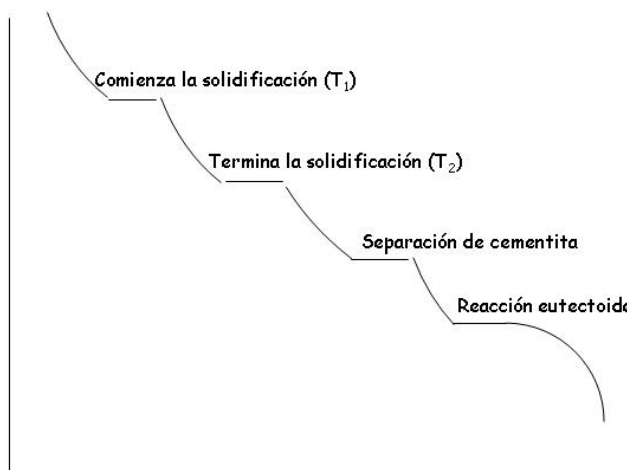
c)



d)



e)



4.-

a) $\text{Fe } \alpha$ (0.00 % de C) = 98,5%
 Fe_3C (6.67 % C) = 1,5 %

b) $\text{Fe } \alpha$ (0.00 % de C) = 97,0%
 Fe_3C (6.67 % C) = 3,0 %

c) $\text{Fe } \alpha$ (0.00 % de C) = 92,5%
 Fe_3C (6.67 % C) = 7,5 %

d) $\text{Fe } \alpha$ (0.00 % de C) = 77,6%
 Fe_3C (6.67 % C) = 22,4 %

5.- De 0°C a 500°C	$\text{Fe } \alpha$ (0.00 % de C)
De 500°C a 727°C	$\text{Fe } \alpha$ (0,0 a 0.0228 % de C)
De 727°C a 912°C	$\text{Fe } \alpha$ (0.0228 a 0,0 % de C)
De 727°C a 1148°C	$\text{Fe } \gamma$ (0.77 a 2,11 % de C)
De 1148 a 1495°C	$\text{Fe } \gamma$ (2,11 a 0,17% de C)
De 1394 a 1495°C	$\text{Fe } \delta$ (0,0 a 0.09 % C)
De 1495 a 1538°C	$\text{Fe } \delta$ (0.09 a 0,0 % C)

6.- $\text{Fe } \gamma$ (0.77 % de C) \Leftrightarrow $\text{Fe } \alpha$ (0.02 % de C) + Fe_3C (6.67 % de C)

$$\begin{array}{ll} \text{Fe } \alpha \text{ (0.02 \% de C)} = 88.8 \% & \text{Fe}_3\text{C (6.7 \% C)} = 11.2 \% \\ \text{Fe } \alpha \text{ (0.0 \% de C)} = 88.5 \% & \text{Fe}_3\text{C (6.7 \% C)} = 11.5 \% \end{array}$$

7.- $x = 0,4\%$ de C

8.- Porque es la concentración de C que contiene la cementita, Fe_3C (6.67 % de C)

9.- $\text{Fe } \gamma \Leftrightarrow \text{Fe } \alpha ; \text{ FCC } \Leftrightarrow \text{ BCC}$

10.- a) Acero hipereutectoide (1,6 % C)

b) $\text{Fe } \alpha$ (0.0 % de C) = 76.1 %

Fe_3C (6.7 % C) = 23.9 %

c) $\rho = 7,79 \text{ g cm}^{-3}$