



**fcfm**

Ingeniería de Minas  
FACULTAD DE CIENCIAS  
FÍSICAS Y MATEMÁTICAS  
UNIVERSIDAD DE CHILE

**Pauta P2 Control 1**  
**MI4110 - Físico Química Metalúrgica**

**Profesor: Leandro Voisin A.**  
**Profesor Auxiliar: Julio Díaz M**

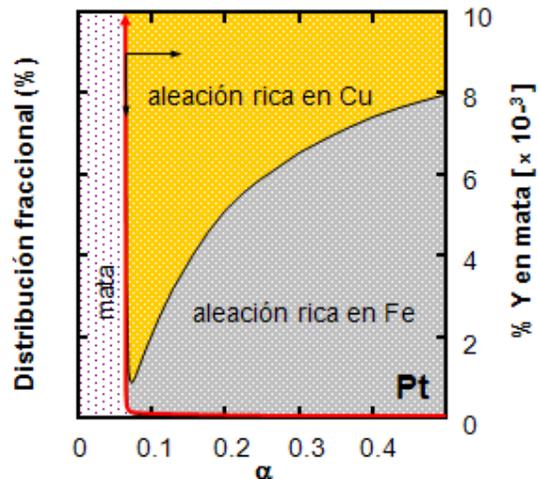
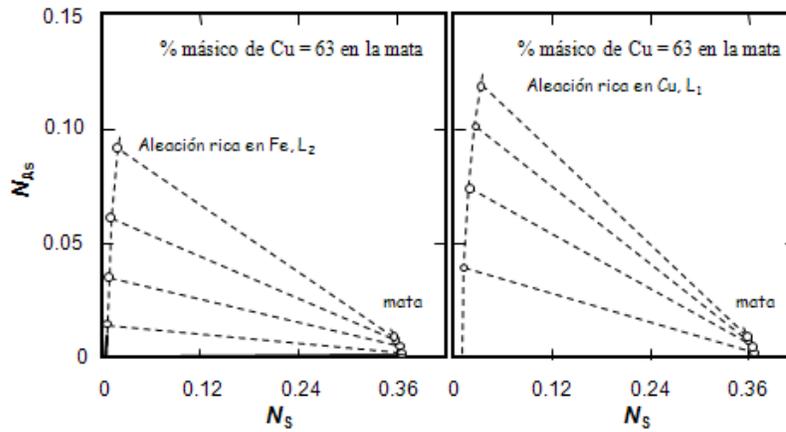
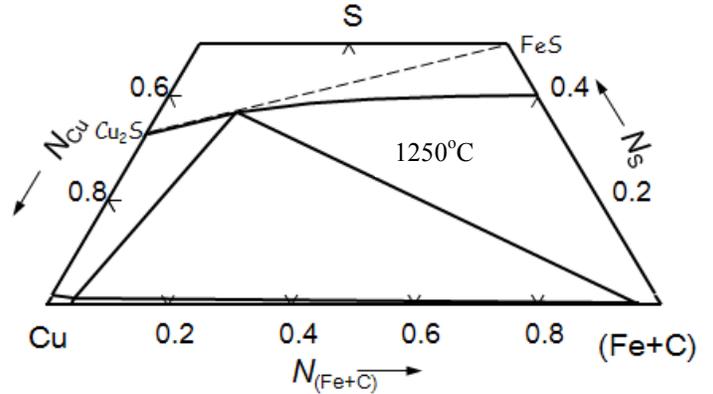
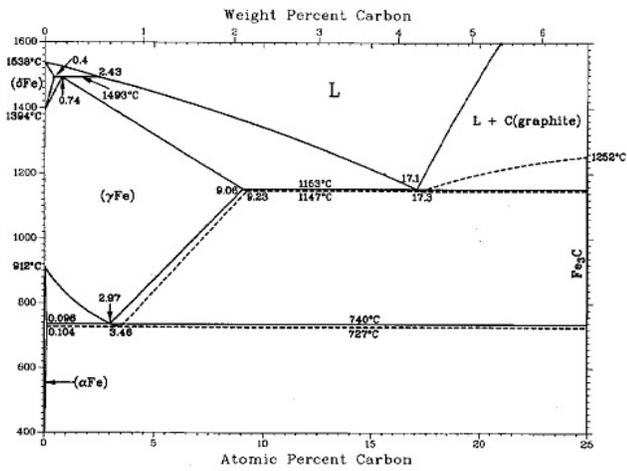
Se requiere tratar 100 Kg de mata compleja de cobre rica en arsénico (70% Cu, 1%As, 0.1% Pt) mediante la utilización de Speiss a una temperatura de 1250°C.

- Indique el rango de carbón (Kg) y de composición (% masa) de la aleación de pig-iron que ha de incorporar al sistema.
- Indique la cantidad mínima de pig-iron que Ud. debe adicionar al sistema para formar 3 fases condensadas en el equilibrio (Sistema Cu-Fe-S-C).
- Ud. decidió agregar 50 Kg de pig-iron al sistema Cu-Fe-S-C. Identifique los puntos de equilibrio antes y después de agregar pig-iron al sistema y confeccione los diagramas de bloques correspondientes.
- Considerando el punto c), determine las masas y composiciones de las fases condensadas generadas en el equilibrio luego del tratamiento. (desprecie el As y el Pt para realizar sus cálculos).
- Mediante el uso de los diagramas de fases  $N_{As}$  v/s  $N_S$ , determine la masa de As que se distribuye en cada una de las fases condensadas.
- Mediante el uso del diagrama de distribución fraccional del Pt, indique los contenidos de dicho elemento en cada una de las fases condensadas.
- De acuerdo a todos los ptos anteriores concluya, si es factible o tratar la mata compleja de cobre mediante la adición de pig-iron.

**DATOS**

Peso atómico de elementos, (g/mol)

Cu	64
Fe	56
As	75
Pt	195
S	32

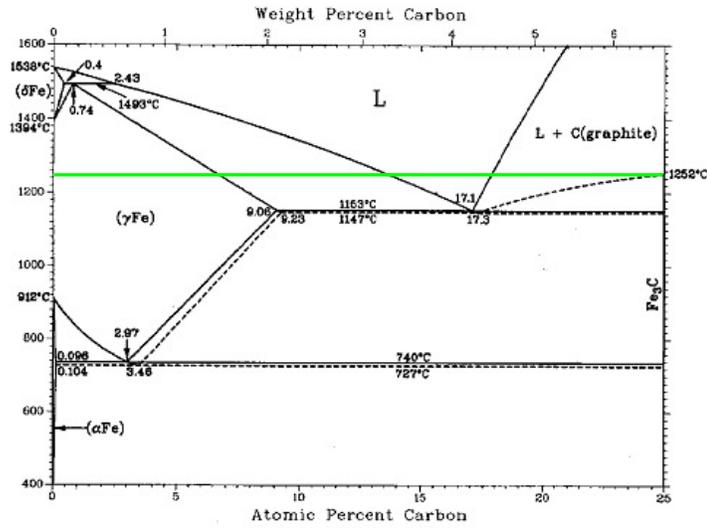




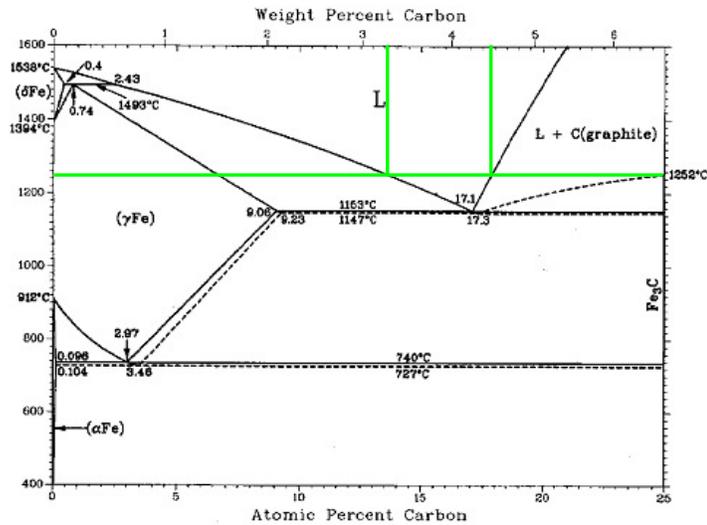
**Solución:**

**a) Indique el rango de carbón (Kg) y de composición (% masa) de la aleación de pig-iron que ha de incorporar al sistema.**

El rango de carbón en el pig-iron (Fe+C) se determina directamente del diagrama binario Fe-C. Si trazamos una isoterma a 1250°C se tiene lo siguiente:



Nos interesa el rango de composición donde no existe saturación con ninguna fase sólida, en otras palabras, es necesario determinar el rango donde existe únicamente una región monofásica líquida.

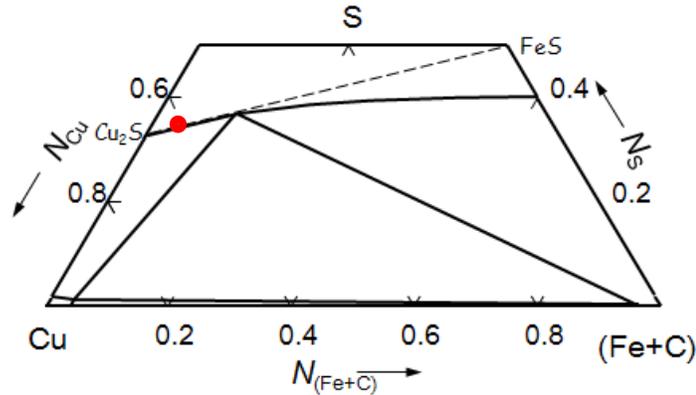


Proyectando hacia el eje X superior (porcentaje en peso de carbono), se obtiene que el rango de composición másica se encuentra entre 3.3% y 4.5%.



b) Indique la cantidad mínima de pig-iron que Ud. debe adicionar al sistema para formar 3 fases condensadas en el equilibrio (Sistema Cu-Fe-S-C).

Se tiene 100 kg de mata rica en arsénico (70%Cu, 1%As, 0.1%Pt). Una mata conteniendo 70% de Cu se ubica en el punto rojo de la figura, dentro de la línea segmentada dada por el pseudo-binario Cu<sub>2</sub>S-FeS



Al estar la mata compuesta de Cu<sub>2</sub>S-FeS, es posible calcular el contenido de Fe y S en la mata inicial. Primero se calcula la masa de Cu<sub>2</sub>S presente:

$$m_{Cu_2S} = \frac{m_{Cu,Cu_2S} \cdot PM_{Cu_2S}}{2 \cdot PA_{Cu}} = \frac{70 \cdot 160}{128} = 87.5kg$$

La masa de FeS y por ende de Fe y S presente en la mata (despreciando la masa de As y Pt) se calcula como:

$$m_{FeS} = 100 - m_{Cu_2S} = 12.5kg$$

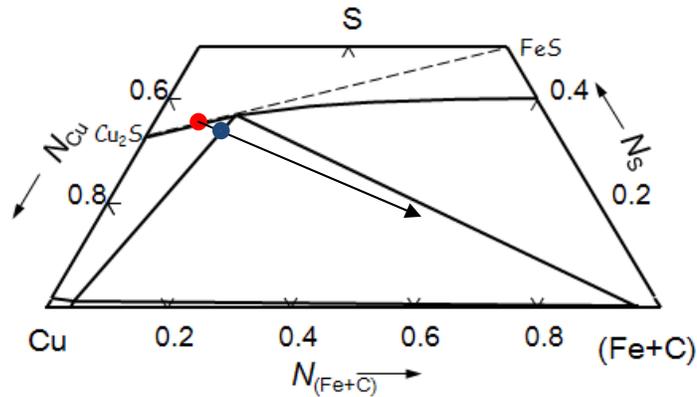
$$m_{Fe} = \frac{m_{FeS} \cdot PA_{Fe}}{PM_{FeS}} = \frac{12.5 \cdot 56}{88} = 7.95kg$$

$$m_S = 100 - m_{Cu} - m_{Fe} = 22.05kg \Rightarrow n_S = 22.05/32 = 0.69 \text{ kmol}$$

$$n_{Cu} = 70/64 = 1.09 \text{ kmol}$$



Para formar tres fases condensadas en el equilibrio, es necesario adicionar pig-iron de tal forma de entrar a la región de coexistencia trifásica dado por el punto azul.



Este punto azul posee aproximadamente la siguiente composición (en fracción molar):

$$N_{Cu}=0.55$$

$$N_S =0.35$$

$$N_{(Fe+C)}=0.1$$

Al agregar pig-iron, las masas de Cu y S no varían, de esta forma se puede obtener fácilmente la masa de Fe+C en este nuevo punto de composición.

$$N_{(Fe+C)} = 0.1 = \frac{n_{(Fe+C)}}{n_{Cu} + n_S + n_{(Fe+C)}} \Rightarrow n_{(Fe+C)} = 0.2 \text{ kmol}$$

Teniendo los moles de pig-iron, se debe determinar la masa de este. En clases vieron que el pig-iron agregado debe tener la composición límite de saturación con C. De la parte a) se tiene que la composición de saturación es de 4.5%. De esta forma, el PM ponderado es de 48.08 [kg/kmol].

$$m_{(Fe+C)} = n_{(Fe+C)} \cdot PM_{(Fe+C)} = 0.2 \cdot 48.08 = 9.62 \text{ kg}$$

Inicialmente, el sistema ya tenía una cierta cantidad de Fe, por lo que la cantidad mínima adicionada se calcula:

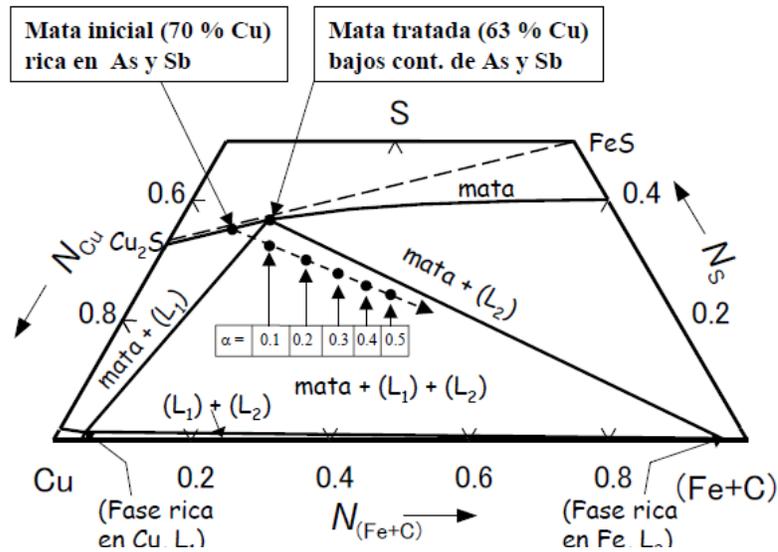
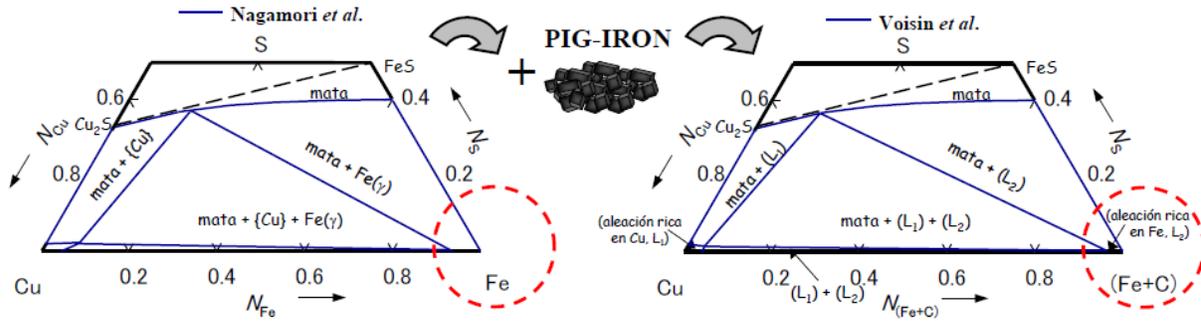
$$m_{(Fe+C)\text{agregado}} = m_{(Fe+C)} - m_{Fe,\text{inicial}} = 9.62 - 7.95 = 1.67$$



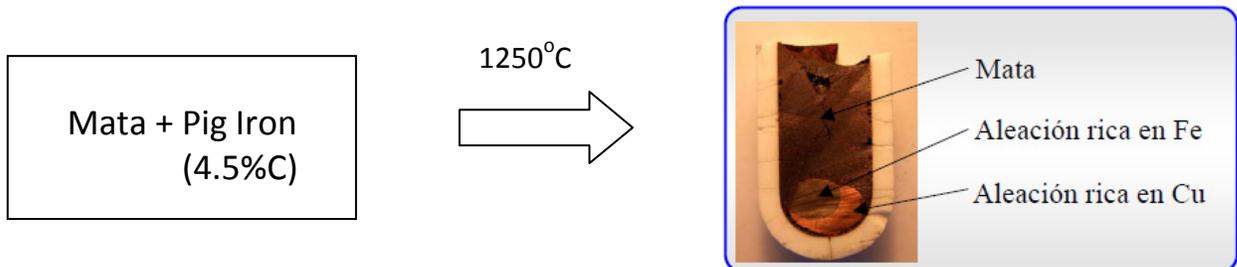


El diagrama de bloques es el siguiente:

**i. Desde un punto de vista termodinámico**



**ii. Desde un punto de vista experimental**



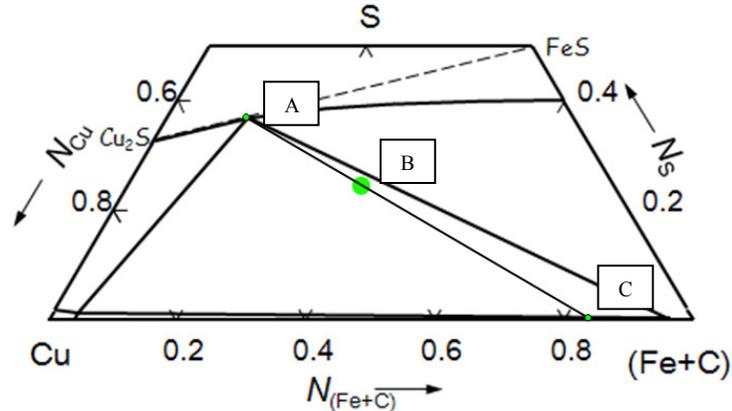
\*A 1250°C, la proporción entre las fases condensadas va a depender de la composición inicial de la mata y de la cantidad de pig-iron adicionado ( $\alpha$ ).



d) Considerando el punto c), determine las masas y composiciones de las fases condensadas generadas en el equilibrio luego del tratamiento. (desprecie el As y el Pt para realizar sus cálculos).

A partir del punto verde de la parte c), se utiliza la regla de la palanca para determinar las masas de cada fase.

**Mata:**



$$\%Mata = \frac{BC}{AC} \approx 66.34\% \Rightarrow m_{Mata} = 0.6634 \cdot 150 = 99.51 \text{ kg}$$

La composición de la mata corresponde a la composición del punto A, en fracción molar se tiene:

$$\begin{aligned} N_{Cu} &= 0.5 \\ N_S &= 0.38 \\ N_{(Fe+C)} &= 0.12 \end{aligned}$$

Conociendo las fracciones molares de todos los componentes, es posible determinar de manera rápida su composición en peso:

$$\% i = \frac{N_i \cdot PA_i}{\sum_i (N_i \cdot PA_i)} \cdot 100$$

De esta forma:

$$\%Cu = 64\% \Rightarrow m_{Cu} = 0.64 \cdot 99.51 = 63.68 \text{ kg} \Rightarrow n_{Cu} = 0.99 \text{ kmol}$$

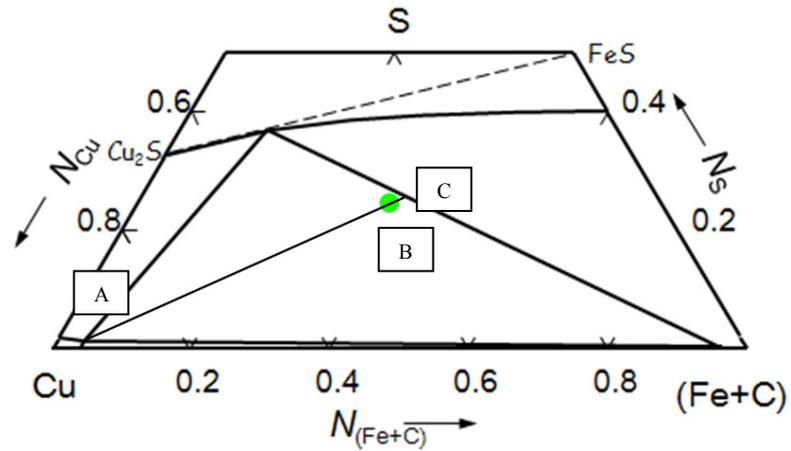
$$\%S = 24.3\% \Rightarrow m_S = 0.243 \cdot 99.51 = 24.18 \text{ kg} \Rightarrow n_S = 0.75 \text{ kmol}$$

$$\%(Fe+C) = 11.7\% \Rightarrow m_{(Fe+C)} = 0.117 \cdot 99.51 = 11.64 \text{ kg} \Rightarrow n_{(Fe+C)} = 0.24 \text{ kmol}$$

**\*En teoría el punto A debe tener un 63% de Cu, esta pequeña diferencia se justifica debido a la aproximación en los pesos atómicos y a la inexactitud en la determinación de las fracciones molares.**



### Fase Rica en Cu ( $L_1$ )



$$\%L_1 = \frac{\overline{BC}}{\overline{AC}} \approx 5.1\% \Rightarrow m_{L_1} = 0.051 \cdot 150 = 7.65 \text{ kg}$$

La composición de la fase  $L_1$  corresponde a la composición del punto A:

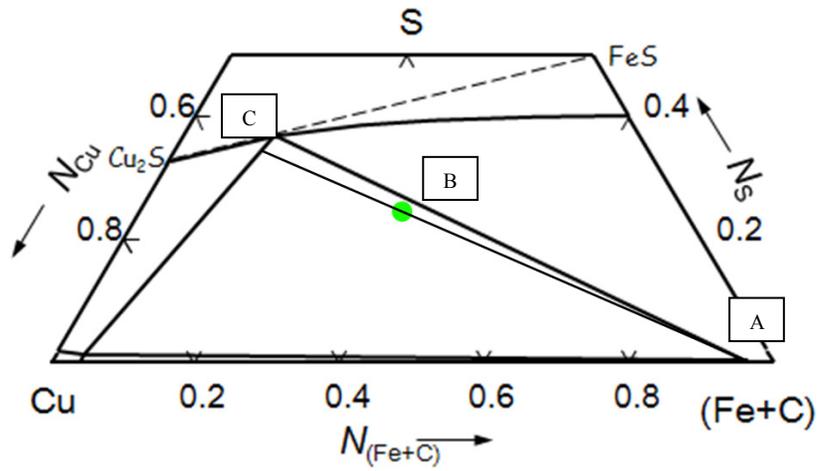
$$\begin{aligned} N_{Cu} &= 0.95 \\ N_S &= 0.015 \\ N_{(Fe+C)} &= 0.035 \end{aligned}$$

En porcentaje en peso se tiene:

$$\begin{aligned} \%Cu &= 96.56\% \Rightarrow m_{Cu} = 0.9656 \cdot 7.65 = 7.38 \text{ kg} \Rightarrow n_{Cu} = 0.11 \text{ kmol} \\ \%S &= 0.76\% \Rightarrow m_S = 0.0076 \cdot 7.65 = 0.058 \text{ kg} \Rightarrow n_S = 0.0018 \text{ kmol} \\ \%(Fe + C) &= 2.68\% \Rightarrow m_{(Fe+C)} = 0.0268 \cdot 7.65 = 0.2 \text{ kg} \Rightarrow n_{(Fe+C)} = 0.004 \text{ kmol} \end{aligned}$$



### Fase Rica en Fe ( $L_2$ )



$$\%L_2 = \frac{\overline{BC}}{\overline{AC}} \approx 28.56\% \Rightarrow m_{L_2} = 0.2856 \cdot 150 = 42.84 \text{ kg}$$

La composición de la fase  $L_2$  corresponde a la composición del punto A:

$$\begin{aligned} N_{Cu} &= 0.04 \\ N_S &= 0 \\ N_{(Fe+C)} &= 0.96 \end{aligned}$$

En porcentaje en peso se tiene:

$$\begin{aligned} \%Cu &= 5.25\% \Rightarrow m_{Cu} = 0.0525 \cdot 42.84 = 2.25 \text{ kg} \Rightarrow n_{Cu} = 0.035 \text{ kmol} \\ \%S &= 0\% \\ \%(Fe + C) &= 94.75\% \Rightarrow m_{(Fe+C)} = 0.9475 \cdot 42.84 = 40.6 \text{ kg} \Rightarrow n_{(Fe+C)} = 0.84 \text{ kmol} \end{aligned}$$

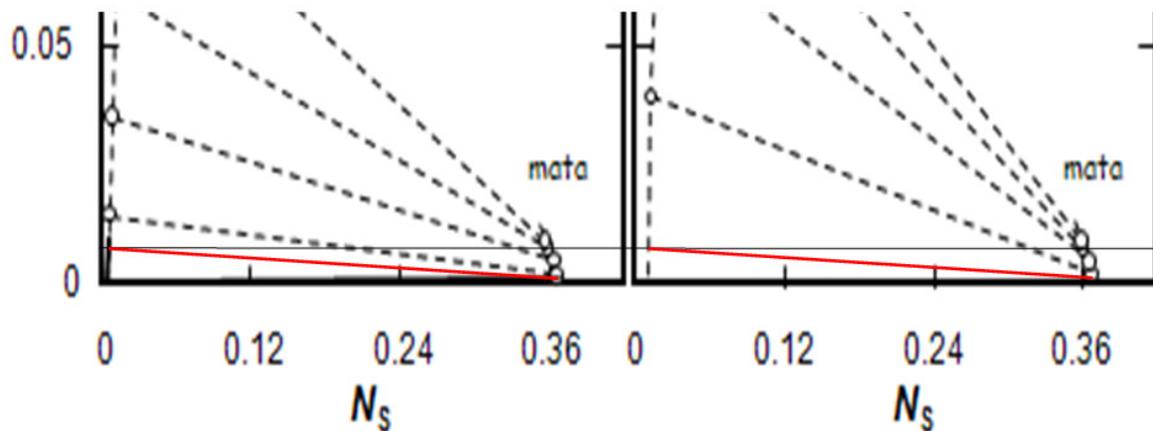
e) Mediante el uso de los diagramas de fases  $N_{As}$  v/s  $N_S$ , determine la masa de As que se distribuye en cada una de las fases condensadas.

Se debe calcular la fracción molar de As en la aleación inicial (ignorando la presencia de Pt), este valor corresponderá al parámetro de entrada del diagrama  $N_{As}$  v/s  $N_S$ .

A la tabla obtenida en la parte c) se le agrega la masa de arsénico:

Componente	Masa [kg]	Moles [kmol]	Fracción Molar
Cu	70	1.09	0.5697
S	21.68	0.68	0.3554
Fe	7.32	0.13	0.0679
As	1	0.013	0.007
		<b>1.913</b>	<b>1</b>
<b>Total</b>			

Con  $N_{As}$  entramos al diagrama y determinamos la razón de distribución del As en las distintas fases:



Aproximadamente, las razones de distribución entre las distintas fases son:

$$\frac{N_{As(L_2)}}{N_{As(mata)}} = \frac{0.007}{0.00125} = 5.6$$

$$\frac{N_{As(L_1)}}{N_{As(mata)}} = \frac{0.007}{0.00125} = 5.6$$

Si aproximamos esta distribución molar a una distribución en peso:

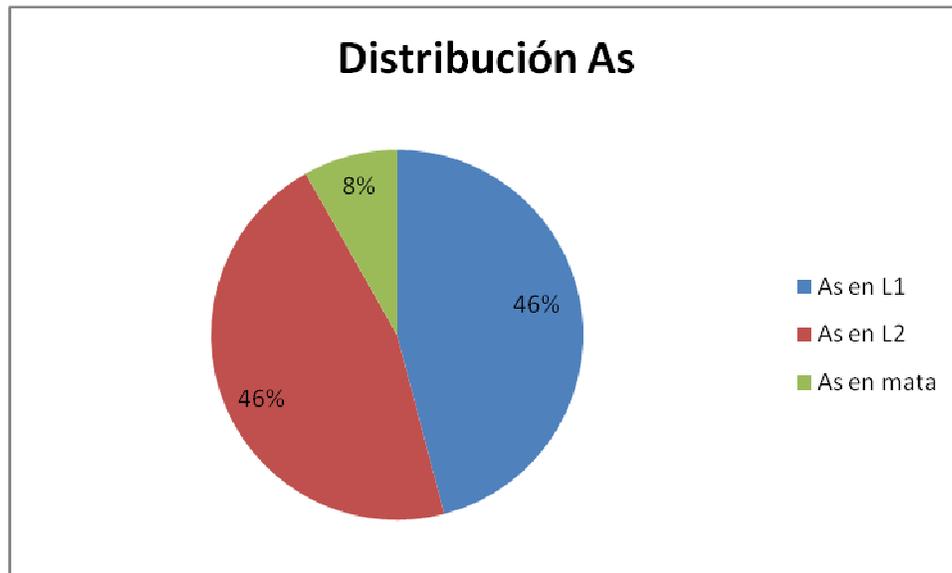
$$m_{As(L1)} : m_{As(L2)} : m_{As(mata)} = 5.6 : 5.6 : 1$$

Si tenemos que hay 1 kg de As en la aleación, se tiene:

$$m_{As(L1)} = 0.459kg$$

$$m_{As(L2)} = 0.459kg$$

$$m_{As(mata)} = 0.082kg$$



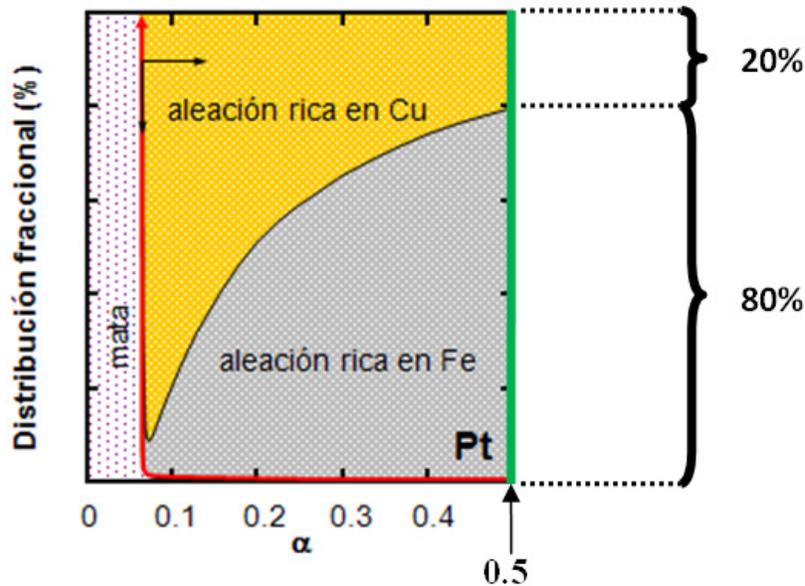


f) Mediante el uso del diagrama de distribución fraccional del Pt, indique los contenidos de dicho elemento en cada una de las fases condensadas.

El diagrama de distribución fraccional de Pt muestra el porcentaje de distribución de platino entre las distintas fases en función del parámetro  $\alpha$ .

$$\alpha = \frac{\text{Masa de pig iron alimentado}}{\text{Masa mata}} = \frac{50}{100} = 0.5$$

Situándonos en  $\alpha = 0.5$  (extremo derecho) vemos que un 20% del platino inicial se distribuye en la fase rica en cobre y un 80% en la fase rica en hierro



Inicialmente se tiene 0.1 kg de Pt, por lo que en la fase rica en cobre hay 0.02kg de Pt y la fase rica en hierro contiene 0.08 kg de Pt.

Conociendo las masas de cada una de las fases, se tiene que los contenidos de platino en estas es:

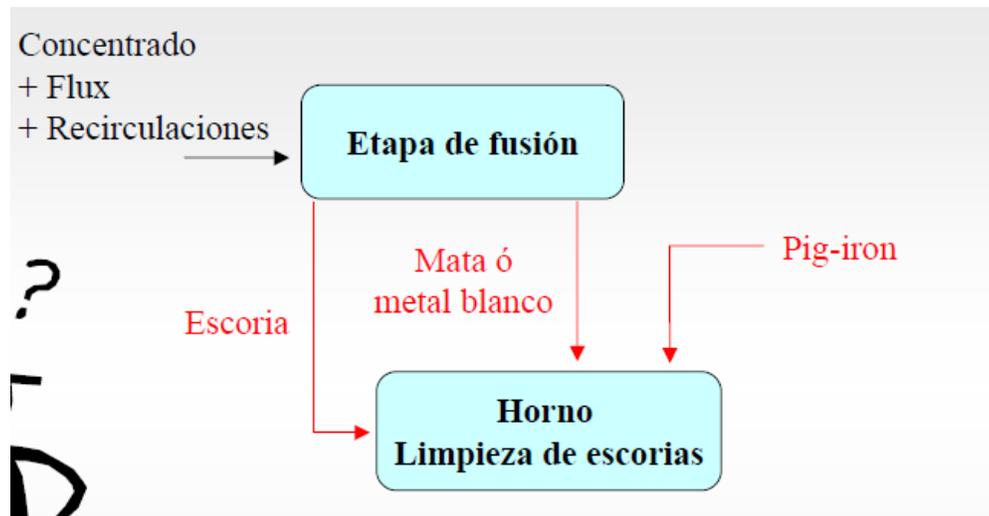
$$\%Pt_{(L1)} = \frac{\text{Masa Pt}}{\text{Masa } L_1} \cdot 100 = \frac{0.02}{7.67} \cdot 100 = 0.26\%$$

$$\%Pt_{(L2)} = \frac{\text{Masa Pt}}{\text{Masa } L_2} \cdot 100 = \frac{0.08}{42.92} \cdot 100 = 0.19\%$$



g) De acuerdo a todos los puntos anteriores concluya, si es factible o tratar la mata compleja de cobre mediante la adición de pig-iron.

El proceso antes visto podría ser utilizado para tratar matas y escorias de fusión ricas en impurezas.



Con respecto a la eliminación de As, se logra una distribución importante hacia la fase rica en hierro permitiendo en primera instancia la factibilidad del proceso.

Sin embargo, si se tiene una mata con contenidos importantes de platino, la distribución de éste es principalmente hacia la fase rica en hierro. Interesa que los metales preciosos se distribuyan principalmente hacia la mata o hacia la fase rica en cobre para poder ser recuperados en una posterior etapa de electro-refinación como barro anódico. Esta mayor distribución hacia la fase hierro hace que el proceso no sea factible.

En resumen:

- Si no se tiene Pt y si se desea eliminar As, el proceso es factible
- Debido al alto valor económico del Pt, este proceso es inviable al menos que se genere un proceso para recuperar Pt desde la fase rica en Fe.