

1. Como usted sabe la fusión a mata de un concentrado de cobre es una operación de fusión sin reacción. El cobre pasa casi en su totalidad a la mata como  $\text{Cu}_2\text{S}$ . El hierro se reparte entre la mata, como  $\text{FeS}$ , y la escoria, como  $\text{FeO}$ . Si se funde un concentrado de cobre que tiene 36 % Cu, 27 % S, 27 % Fe y 10 % de  $\text{SiO}_2$ , para una base de cálculo de 1000 kg de concentrado:

- i) ¿Cuál será la ley de la mata (% de Cu) si un 75 % del S del concentrado se asocia a éste ?,
- ii) ¿Cuál será el peso de la escoria, si esta contiene 42 % de  $\text{FeO}$  ?,
- iii) ¿Cuánto fundente ( $\text{CaO}$ ) debe cargarse y cuál es su porcentaje en la escoria?

En los cálculos considere los siguientes pesos atómicos: 63,54 Cu; 32,06 S; 55,85 Fe; 16,00 O; 40,08 Ca.

Solución:

Cobre a la mata:  $m_{\text{Cu}} = 360 \text{ kg}$

$\text{Cu}_2\text{S}$  en la mata:  $m_{\text{Cu}_2\text{S}} = m_{\text{Cu}} \cdot \frac{M_{\text{Cu}_2\text{S}}}{M_{\text{Cu}}} = 360 \cdot \frac{159,14}{127,08} = 450,8 \text{ kg}$

Azufre a la mata:  $m_{\text{S}} = 270 \text{ kg} \cdot 0,75 = 202,5 \text{ kg}$

Azufre en  $\text{Cu}_2\text{S}$ :  $m_{\text{Cu}_2\text{S}} \cdot \frac{M_{\text{S}}}{M_{\text{Cu}_2\text{S}}} = 450,8 \cdot \frac{32,06}{159,14} = 90,8 \text{ kg}$

Azufre en  $\text{FeS}$ : S en la mata – S en el  $\text{Cu}_2\text{S}$  =  $202,5 - 90,8 = 111,7 \text{ kg}$

$\text{FeS}$  en la mata:  $m_{\text{FeS}} = m_{\text{S}} \cdot \frac{M_{\text{FeS}}}{M_{\text{S}}} = 111,7 \cdot \frac{87,91}{32,06} = 306,3 \text{ kg}$

Peso de la mata:  $m_{\text{mata}} = m_{\text{Cu}_2\text{S}} + m_{\text{FeS}} = 450,8 + 306,3 = 757,1 \text{ kg}$

Ley de la mata:  $\% \text{ Cu en la mata} = \frac{m_{\text{Cu}}}{M_{\text{Cu}_2\text{S}}} \cdot 100 = \frac{360}{757,1} \cdot 100 = 47,5 \% \quad (\text{i})$

Hierro en la mata:  $m_{\text{Fe,mata}} = m_{\text{FeS}} \cdot \frac{M_{\text{Fe}}}{M_{\text{FeS}}} = 306,3 \cdot \frac{55,85}{87,91} = 194,6 \text{ kg}$

Hierro a la escoria:  $m_{\text{Fe,escoria}} = m_{\text{Fe,total}} - m_{\text{Fe,mata}} = 270,0 - 194,6 = 75,4 \text{ kg}$

$\text{FeO}$  a la escoria:  $m_{\text{FeO}} = m_{\text{Fe,escoria}} \cdot \frac{M_{\text{FeO}}}{M_{\text{Fe}}} = 75,4 \cdot \frac{71,85}{55,85} = 97,0 \text{ kg}$

Peso de la escoria:  $m_{\text{escoria}} = \frac{m_{\text{FeO}}}{\% \text{FeO}/100} = \frac{97,0}{42/100} = 231,0 \text{ kg} \quad (\text{ii})$

Fundente a cargar:  $m_{\text{CaO}} = m_{\text{escoria}} - m_{\text{FeO}} - m_{\text{SiO}_2} = 231,0 - 97,0 - 100 = 34,0 \text{ kg}$

$\text{CaO}$  en escoria:  $\% \text{CaO} = \frac{m_{\text{CaO}}}{m_{\text{escoria}}} \cdot 100 = \frac{34,0}{231,0} \cdot 100 = 14,7 \% \quad (\text{iii})$

2. Usted, como gerente de compras de una compañía productora de cobre, es también suministrador de concentrado de cobre. Por tanto, es su responsabilidad negociar el precio que su compañía pagará por el concentrado de cobre. Esta procesará el concentrado y producirá cobre que usted puede vender a US \$1,25/lb de Cu. El costo de refinar el concentrado de cobre a cobre puro es US \$ 85/t métrica de concentrado de cobre. El concentrado de cobre contiene 90 % en peso de  $\text{CuFeS}_2$ , siendo el resto ganga sin valor. En el proceso total, la recuperación de cobre es de 95 %. Para que su compañía gane dinero, el precio total de venta debiera ser de un 15 % por sobre los costos combinados de compra y procesamiento. ¿Cuál es la máxima cantidad que usted puede ofrecer al suministrador por tonelada métrica de concentrado de cobre?

Solución:

El primer paso es encontrar cuanto cobre se puede recuperar por 1000 kg de concentrado,

$$\text{masa Cu} = \text{masa Cu en concentrado} * \text{recuperación} = \left( 1000 * 0,9 * \frac{M_{\text{Cu}}}{M_{\text{CuFeS}_2}} \right) * 0,95$$

$$m_{\text{Cu}} = 900 * \frac{63,54}{63,54 + 55,847 + 2 * 32,064} * 0,95 \text{ kg} = 296 \text{ kg}$$

El precio de venta por kg es US \$1,25\*2,2046=US \$2,756 y el valor del cobre puro por tonelada métrica es,

$$\text{Valor de Venta} = 296 \frac{\text{kg Cu}}{\text{t}} * 2,756 \frac{\text{US \$}}{\text{kg Cu}} = 815,9 \frac{\text{US \$}}{\text{t}}$$

Para encontrar lo que se desea pagar, se debe resolver la siguiente relación:

$$\left( \frac{\text{Pr ecio del concentrado}}{\text{t métrica}} + \frac{\text{Costo procesamiento}}{\text{t métrica}} \right) * 1,15 = \frac{\text{Valor de venta}}{\text{t métrica}}$$

que en forma matemática es equivalente a

$$\left( \frac{\text{Pr ecio}}{\text{t}} + \frac{85 \text{ US \$}}{\text{t}} \right) * 1,15 = 815,6 \frac{\text{US \$}}{\text{t}}$$

lo que da un precio de 624,22 US \$/t. Este es entonces el máximo precio que usted desearía pagar por el concentrado de cobre.

3. En pirometalurgia se utiliza mucho el concepto de “aire enriquecido”. Para tener una clara idea de lo que eso significa, se pide especificar la mezcla necesaria para producir un aire enriquecido que contenga 30 %  $O_2$ . Suponer que el oxígeno utilizado para enriquecer contiene 100 %  $O_2$ .

Solución:

El aire atmosférico contiene 21 %  $O_2$ , en volumen. Cuando se desea elevar su contenido es preciso mezclarlo con oxígeno proveniente de algún depósito. Para efectos prácticos de ingeniería los cálculos siempre se efectúan en condiciones normales. Si la mezcla resultante es:

$$1 \text{ m}^3\text{N (0}^\circ\text{C, 1atm) se tienen: } \begin{matrix} 0,30 \text{ m}^3\text{N } O_2 \\ 0,70 \text{ m}^3\text{N } N_2 \end{matrix}$$

Al usar  $O_2$  como aditivo, los 0,70  $\text{m}^3\text{N}$  sólo provienen del aire utilizado, eso significa

que se utilizaron:  $\frac{0,70}{0,79} = 0,886 \text{ m}^3 \text{ aire, y}$

$$0,886 - 0,700 = 0,186 \text{ m}^3\text{N } O_2 \text{ (del aire)}$$

Para llegar a 0,30  $\text{m}^3\text{N } O_2$  faltan:  $0,300 - 0,186 = 0,114 \text{ m}^3\text{N } O_2$

Es decir, en cada  $\text{m}^3\text{N}$  de aire enriquecido debe utilizarse una mezcla de:

$$0,886 \text{ m}^3\text{N aire atmosférico}$$

$$0,114 \text{ m}^3\text{N oxígeno puro}$$

Otra forma de resolver el problema es mediante un sistema de ecuaciones. Si consideramos que en la realidad industrial el oxígeno puro es de grado técnico (95 %  $O_2$  y 5 %  $N_2$ ), denominando A, a éste y B al aire (21 %  $O_2$  y 79 %  $N_2$ ), se tendrían los balances:

$$O_2 : 0,95A + 0,21B = 0,30$$

$$N_2 : 0,05A + 0,79B = 0,70$$

Al resolver las ecuaciones, se tiene para este caso una mezcla de aire enriquecido de:

$$0,878 \text{ m}^3\text{N aire atmosférico}$$

$$0,122 \text{ m}^3\text{N oxígeno puro}$$

4. Usted, como gerente de compras de una compañía productora de cobre, es también suministrador de concentrado de cobre. Por tanto, es su responsabilidad negociar el precio que su compañía pagará por el concentrado de cobre. Esta procesará el concentrado y producirá cobre que usted puede vender a US \$1,25/lb de Cu. El costo de refinar el concentrado de cobre a cobre puro es US \$ 85/t métrica de concentrado de cobre. El concentrado de cobre contiene 90 % en peso de  $\text{CuFeS}_2$ , siendo el resto ganga sin valor. En el proceso total, la recuperación de cobre es de 95 %. Para que su compañía gane dinero, el precio total de venta debiera ser de un 15 % por sobre los costos combinados de compra y procesamiento. ¿Cuál es la máxima cantidad que usted puede ofrecer al suministrador por tonelada métrica de concentrado de cobre?

Solución:

El primer paso es encontrar cuanto cobre se puede recuperar por 1000 kg de concentrado,

$$\text{masa Cu} = \text{masa Cu en concentrado} * \text{recuperación} = \left( 1000 * 0,9 * \frac{M_{\text{Cu}}}{M_{\text{CuFeS}_2}} \right) * 0,95$$

$$m_{\text{Cu}} = 900 * \frac{63,54}{63,54 + 55,847 + 2 * 32,064} * 0,95 \text{ kg} = 296 \text{ kg}$$

El precio de venta por kg es US \$1,25\*2,2046=US \$2,756 y el valor del cobre puro por tonelada métrica es,

$$\text{Valor de Venta} = 296 \frac{\text{kg Cu}}{\text{t}} * 2,756 \frac{\text{US \$}}{\text{kg Cu}} = 815,9 \frac{\text{US \$}}{\text{t}}$$

Para encontrar lo que se desea pagar, se debe resolver la siguiente relación:

$$\left( \frac{\text{Pr ecio del concentrado}}{\text{t métrica}} + \frac{\text{Costo procesamiento}}{\text{t métrica}} \right) * 1,15 = \frac{\text{Valor de venta}}{\text{t métrica}}$$

que en forma matemática es equivalente a

$$\left( \frac{\text{Pr ecio}}{\text{t}} + \frac{85 \text{ US \$}}{\text{t}} \right) * 1,15 = 815,6 \frac{\text{US \$}}{\text{t}}$$

lo que da un precio de 624,22 US \$/t. Este es entonces el máximo precio que usted desearía pagar por el concentrado de cobre.

5. Una carga de 20 t de cobre líquido es enfriado de 1350 °C a 1200 °C por adición de cobre sólido a 25 °C. El cobre puro funde a 1083 °C. Asumiendo que no hay pérdidas de calor calcule el número de toneladas de cobre sólido utilizados.

Datos:	Cu (s)	$C_p = 22,64 + 0,0063 T$	(J/mol K)
	Cu (l)	$C_p = 31,38$	J/mol K
	$\Delta H^\circ$ (fusión)	13.054	J/mol

Solución:

$$m_{\text{Cu(l)}} \int_{1623}^{1473} C_{p,\text{Cu(l)}} dT + m_{\text{Cu(s)}} \left( \int_{298}^{1356} C_{p,\text{Cu(s)}} dT + \Delta H_{\text{fusión Cu}}^0 + \int_{1356}^{1473} C_{p,\text{Cu(l)}} dT \right) = 0$$

$$20 \text{ t} * 31,38 \text{ J/molK} * (1623 - 1473) \text{ K} = m_{\text{Cu(s)}} * \left( (22,64 * (1356 - 298) + \frac{0,0063}{2} * (1356^2 - 298^2) + 13054 + 31,38 * (1473 - 1356)) \text{ J/mol} \right)$$

$$94140,0 \text{ t} = m_{\text{Cu(s)}} * (23953,1 + 5512,3 + 13054 + 3671,5)$$

$$m_{\text{Cu(s)}} = \frac{94140,0}{46190,9} \text{ t} = 2,04 \text{ t}$$