

Copper Flash Smelting: Balance de Proceso

/ MARÍA BACEDONI MORALES (1), IGNACIO MORENO-VENTAS BRAVO (1*), JUAN CARLOS FERNÁNDEZ CALIANI (1), IRENE RUIZ ORIA (2), FRANCISCO JIMÉNEZ (2), GUILLERMO RIOS RANSANZ (2).

(1) Departamento de Geología. Facultad de Ciencias Experimentales. Universidad de Huelva. 21071, Huelva (España)

(2) Atlantic Copper. Avenida Francisco Montenegro s/n. 21001, Huelva (España)

INTRODUCCIÓN

Los procesos Pirometalúrgicos del cobre consisten en la oxidación a alta temperatura de los sulfuros que forman los concentrados con objeto de obtener, finalmente, cobre metálico (Cu^0).

Los concentrados de cobre están formados por una mezcla de sulfuros y óxidos de diversos metales, principalmente Cu y Fe, junto con un agregado de silicatos, óxidos, carbonatos, etc.

La necesidad de separar el Fe (y los demás metales) del Cu manteniendo en valores mínimos las pérdidas de Cu, ha conducido a diseñar un proceso en dos etapas. En la primera, conocida como Copper Flash Smelting (CFS) se efectúa una oxidación parcial a alta temperatura de los sulfuros. En la segunda, conocida como Copper Making, se lleva la oxidación de la mata obtenida en el primer proceso hasta la obtención de cobre metálico (Cu^0).

En el proceso de CFS se añade al concentrado una cantidad de fundente (SiO_2) con objeto de llevar la isopleta del sistema al interior de un solvus de dos líquidos que regulará los equilibrios entre los fundidos de escoria y mata producidos en este proceso (Yazawa & Kameda (1953) (Fig. 1). De manera simplista, la escoria puede describirse como un fundido de $[\text{SiO}_2\text{-FeO}]$ y la mata como uno de $[\text{FeS-Cu}_2\text{S}]$. El fundente además de cuarzo (SiO_2) puede contener cantidades menores de otros silicatos, óxidos, carbonatos, etc.

Los sulfuros son oxidados mediante una mezcla gaseosa de O_2 y N_2 que forman el aire de trabajo (blast). La fuente de oxígeno es oxígeno industrial (con cantidades de hasta 1% de N_2) y aire atmosférico (78 % N_2). Las reacciones de oxidación de los sulfuros son exotérmicas. El nitrógeno, al no participar en la reacción, consume energía desempeñando así un papel de modulador térmico.

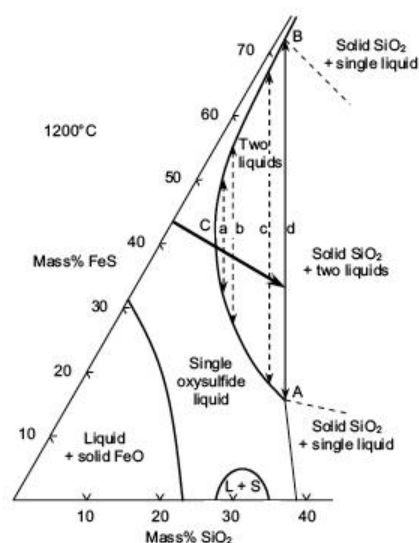


fig 1. Diagrama de fases del sistema $[\text{FeO-SiO}_2\text{-FeS}]$ de Yazawa & Kameda (1953). Los fundidos tipo B de la parte superior del solvus son equivalentes a la mata, mientras que los de tipo A son equivalentes a la escoria.

Los productos del CFS están formados por tres fases (Fig. 2): dos fundidos inmiscibles (mata y escoria) y una fase gaseosa de SO_2 (efluente gaseoso, en lo sucesivo offgas). Este proceso puede ser autotérmico, o ayudado mediante combustión de fueloil para mantener la temperatura en el nivel térmico deseado.

La separación de mata y escoria se efectúa por decantación de las gotas de mata contenidas en la escoria fundida. Los factores que afectan al proceso de decantación son: 1) la relación FeO/SiO_2 que junto con la temperatura, determinan la viscosidad cinemática y la densidad de la escoria; 2) la temperatura y grado de la mata (% Cu), ya que determinan su densidad; 3) la distribución térmica en la capa de escoria. La eficiencia de la decantación está relacionada también con el tiempo de residencia de la escoria en los reposadores del horno de fusión y con el tamaño de las gotas de mata producidas en la cámara de reacción.

La complejidad de las reacciones CFS

requiere un control del proceso que permita conducirlo hacia los productos con las especificaciones requeridas. La herramienta fundamental para este control es el Balance de Proceso.

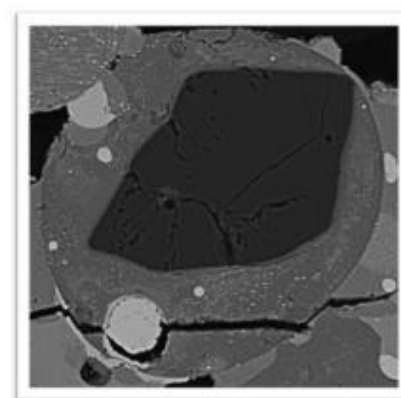


fig 2. Imagen BSE. Gota triple producida por el proceso de fusión flash. Las gotas claras corresponden al sistema mata que consiste en dos líquidos inmiscibles con cobre metálico (Cu^0) en el centro rodeado por calcosina fundida. La tonalidad gris intermedia de la gota corresponde a la escoria fundida. En el centro se observa un cristal residual de cuarzo del fundente. La asociación de fases corresponde al campo "Solid SiO_2 + two liquids" de la fig.1.

BALANCE DE PROCESO

En un proceso metalúrgico los productos han de tener las características requeridas por el operador. En el proceso CFS, tanto la relación FeO/SiO_2 , como el grado de la mata (% Cu) son definidos previamente. Además, la temperatura de los productos del CFS también queda especificada y debe ser cuidadosamente controlada, para que el proceso se desarrolle en condiciones estacionarias.

Los objetivos propuestos y las condiciones operativas, deben ser adecuados para la liga de concentrados que se pretende tratar. En este estudio se ha partido de un concentrado simple formado por calcopirita y pirita en proporciones diferentes y con cantidades de cuarzo variables.

El Balance de Proceso está constreñido por dos requerimientos: 1) la masa de

palabras clave: Pirometalurgia del cobre, Horno flash, Balance de proceso.

key words: Copper pyrometallurgy, Flash furnace, Process balance, Copper Flash Smelting.

los materiales que entran en el proceso (reactivos) debe ser igual a la de los materiales que salen del proceso (productos); 2) La entalpía de proceso autotérmico debe ser cero puesto que no habrá aporte adicional de energía y la temperatura se mantendrá constante gracias al carácter exotérmico de las reacciones de oxidación que intervienen en el proceso. Estas dos restricciones generan las ecuaciones de balance de masa, en el primer caso y la ecuación de balance de entalpía en el segundo.

Otro grupo de ecuaciones describen los productos buscados: 1) ratio FeO/SiO_2 de la escoria; 2) grado de la mata; etc...

Finalmente, tenemos los coeficientes de reparto de metales entre mata, escoria y offgas. Estos coeficientes se expresan a través de las ecuaciones de balance de masas de metales como Pb, Zn, As, Mo, etc. Generalmente estos metales entran como óxidos en la escoria y como sulfuros en la mata.

Las ecuaciones de balance de masa expresan la restricción de conservación de masa para cada elemento que participa en el proceso. La masa de un elemento en cada fase producto se escribe en función de los componentes de dichas fases como un producto de un coeficiente, que expresa la abundancia de dicho elemento en el componente de que se trate, por la masa del componente en la fase. Esto último es una variable del sistema de ecuaciones resultante.

La ecuación de balance de entalpía expresa que la entalpía del [concentrado + fundente + aire de proceso] debe ser igual a la entalpía de [escoria + mata + pérdidas disipativas de energía en el horno de fusión].

La resolución de este sistema de ecuaciones nos aportará los valores adecuados de un conjunto de variables constituido por las masas de fundente, oxígeno, nitrógeno, dióxido de azufre (offgas), mata y escoria (Davenport et al, 2003).

DISCUSIÓN Y RESULTADOS

Hemos estudiado el efecto de la composición del concentrado, del grado de la mata y de la relación SiO_2/FeO de la escoria sobre el Balance de Proceso.

El aumento de la proporción de pirita (Fig. 3) en el concentrado aumenta la

entalpía de proceso haciendo que las necesidades de N_2 , que actúa como enfriador, sean mayores para conseguir que se mantenga la temperatura objetivo (1500 K).

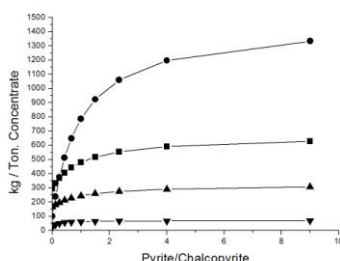


fig 3. Diagrama que muestra el efecto de la relación Pirita/Calcopirita del concentrado sobre el porcentaje de N_2 en el aire de proceso (triángulos hacia abajo), la demanda de oxígeno (cuadrados) y nitrógeno (círculos) como aire de proceso, y de cuarzo (triángulos hacia arriba) como fundente.

Al mismo tiempo, para conseguir el grado de mata fijado (65 % Cu) y de escoria ($\text{SiO}_2/\text{FeO} = 35/65$) se hace necesario aumentar la oxidación de los sulfuros por lo que aumenta la demanda de oxígeno y cuarzo (fundente). Los porcentajes de N_2 necesarios son asumibles ya que en todos los casos son inferiores a 78 %.

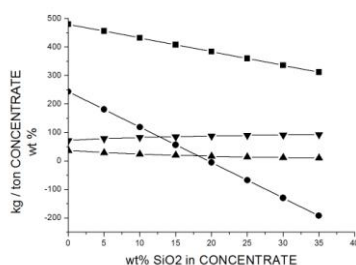


fig 4. Diagrama que muestra el efecto del porcentaje de cuarzo en el concentrado sobre el porcentaje de N_2 en el aire de proceso (triángulos hacia abajo), el porcentaje de SO_2 en el offgas (triángulo hacia arriba), y la demanda de oxígeno (cuadrados llenos) y de fundente (círculos llenos).

Al aumentar el porcentaje de cuarzo en el concentrado (Fig. 4) las necesidades de fundente disminuyen pero el proceso se vuelve más energético haciendo que la demanda de N_2 (enfriador) aumente aunque disminuya la de oxígeno. Un porcentaje constante de SO_2 en el offgas y creciente de N_2 en el aire de proceso significan un aumento de la producción de offgas. Valores negativos de la demanda de fundente significan que el concentrado tiene más cuarzo del requerido para el proceso.

Una mata de mayor grado requiere una mayor oxidación de los sulfuros (Fig. 5) que se traduce en una mayor demanda

de O_2 y también de N_2 (enfriador). También aumenta la demanda de fundente, pero la producción de mata disminuye al tiempo que aumenta la de offgas.

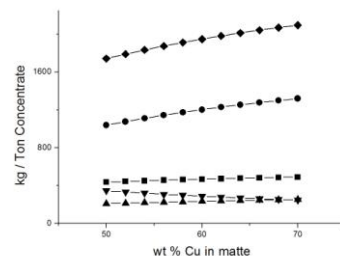


fig 5. Diagrama que muestra el efecto del grado de la mata sobre la demanda de N_2 y O_2 en el aire de proceso (círculos y cuadrados, respectivamente) y de fundente (triángulos hacia arriba) y sobre la producción de offgas y de mata (rombos y triángulos hacia abajo, respectivamente).

Al aumentar la ratio SiO_2/FeO (mayor viscosidad) de la escoria (Fig. 6), disminuye la demanda de O_2 , N_2 y la producción de offgas porque disminuye la cantidad necesaria de oxidación de los concentrados. Sin embargo, aumenta la demanda de fundente.

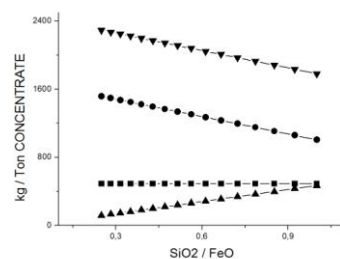


fig 6. Diagrama que muestra el efecto de la ratio SiO_2/FeO de la escoria sobre la demanda de N_2 y O_2 en el aire de proceso (círculos y cuadrados, respectivamente) y de fundente (triángulos hacia arriba), y sobre la producción de offgas (triángulos hacia abajo).

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha sido financiado por Atlantic Copper a través del Convenio de Colaboración con la Universidad de Huelva. Proyecto 10/2014.

REFERENCIAS

- Davenport, W.G., Jones, D.M., King, M.J., Partelpoeg, E.H. (2003): *Flash Smelting: Analysis, Control and Optimization*. 2th Ed. TMS, 323 p.
- Yazawa, A, Kameda, A. (1953): *Copper Smelting. I. Partial liquidus diagram for FeS-FeO-SiO2 system*. Tech. Rep. Tohoku Univ., 16, 40-58.