

Temperaturas Liquidus de Escorias de Fusión Flash

María Bacedoni (1,2*), Ignacio Moreno-Ventas (1,2), Guillermo Ríos (3)

(1) Departamento Ciencias de la Tierra. Universidad de Huelva, 21007, Huelva (España)

(2) Centro de Investigación en Química Sostenible (CIQSO). Universidad de Huelva, 21007, Huelva (España)

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

* maria.bacedoni@dgeo.uhu.es

Palabras Clave: Fusión Flash, Escoria, Temperatura liquidus. | **Key Words:** Flash Smelting, Slag, Liquidus Temperature

INTRODUCCIÓN

Más del 50% de la producción mundial de cobre es producido por el proceso de fusión flash. Este tiene lugar en un horno flash (HF) y consiste en la oxidación parcial a alta temperatura de un concentrado seco de sulfuros polimetálicos de cobre y un fundente rico en SiO₂ en una corriente de aire precalentado y enriquecido en oxígeno. Los productos de este proceso de oxidación son dos fundidos inmiscibles, un fundido rico en óxidos, denominado escoria [SiO₂-FeO], y un fundido rico en sulfuros y enriquecido en Cu, denominado mata [Cu₂S-FeS], y gases, compuestos principalmente por SO₂ y N₂ (Shamsuddin, 2016).

La fusión oxidativa es un proceso exotérmico, que genera el calor suficiente como para que el proceso sea autotérmico, manteniéndose unas condiciones térmicas en torno a 1300°C por encima del liquidus de las escorias.

El objetivo de este estudio ha consistido en la caracterización del fundido escoria mediante modelización termodinámica. El cálculo de las temperaturas liquidus y solidus permite evaluar las relaciones de fases del sistema escoria bajo condiciones similares a las de operación del HF.

MATERIALES Y MÉTODO

Se definió una composición representativa de escoria del HF a partir de análisis FRX, y el contenido de magnetita utilizando la balanza Satmagan, tabla 1.

Para caracterizar las relaciones de fases de los fundidos escoria y mata, se ha hecho uso de la modelización termodinámica por el método de minimización de la energía libre de Gibbs (FactSage™, Bale et al, 2016). Estos cálculos permiten determinar las fases, y su composición, que coexisten en equilibrio a una determinada presión y temperatura, minimizando la energía libre total del sistema, ecuación (1).

$$\Delta G^\circ = -RT \ln K; \Delta G=0 \quad (1)$$

Composición del sistema de partida

Componentes	Composición %
Cu ₂ S	1.95
FeS	0.46
SiO ₂	31.00
Al ₂ O ₃	3.14
FeO	45.05
Fe ₃ O ₄	12.00
MgO	0.60
CaO	1.61
Na ₂ O	0.04
K ₂ O	0.65

Tabla 1: Composición del sistema de partida. Escoria del HF con gotas de mata en equilibrio.

RESULTADOS

El estudio del equilibrio químico del fundido escoria-mata por encima de su temperatura liquidus, 1264°C, muestra la coexistencia de dos fundidos inmiscibles marcada por una curva solvus (Fig. 1).

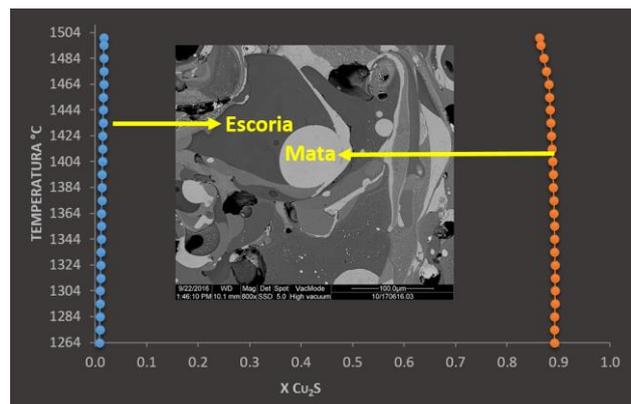


Fig 1. Curva solvus del sistema escoria-mata.

El cálculo de la fracción de sólidos entre la temperatura liquidus y solidus, muestra que la primera fase que comienza a cristalizar es magnetita (Mag: Fe²⁺+Fe³⁺+O₄) a una temperatura de 1236°C, a continuación fayalita (Fa: Fe₂SiO₄) y por último tridimita (Trd: SiO₂) (Fig.2).

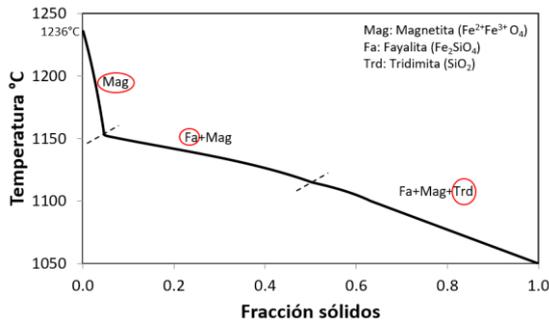


Fig 2. Gráfico T vs X de sólidos en la escoria de fusión flash.

Esta secuencia de cristalización puede ser descrita a partir del diagrama de fases experimental FeO-SiO₂ y Fe₂O₃ (Muan, 1955), (Fig. 3), y a su vez a partir de las relaciones texturales del fundido escoria una vez solidificado según imágenes BSE. El sistema escoria comienza con la cristalización de la magnetita en el estadio que va de L1 a L2. Cuando el líquido residual alcanza el cotéctico fayalita-magnetita comienza el siguiente estadio que va de L2 a L3, en el que cristalizan Mag y Fa al mismo tiempo. En este diagrama el sistema evoluciona hasta cerca del eutéctico ternario Mag-Fa-Trd, pero debido al sobreenfriamiento que se produce en la muestra en el momento del muestreo la cristalización finaliza en L3, donde el líquido residual se transforma en vidrio, no llegando por tanto a cristalizar tridimita.

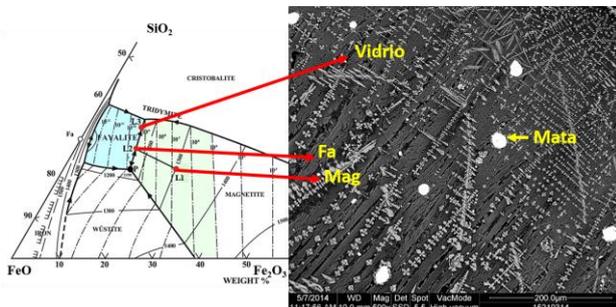


Fig 3. Secuencia de cristalización de las escorias de fusión flash.

La temperatura liquidus varía con la ratio Fe/SiO₂ y con la presión parcial de oxígeno (pO₂). La curva liquidus de la Mag, que es la primera fase en cristalizar, se representa a partir de pO₂=10⁻⁹ y ratio Fe/SiO₂ de 1.1 y aumenta 8°C por cada incremento de 0.1 en la ratio Fe/SiO₂. El punto rojo representa la pO₂ promedio de operación del HF (Fig.4).

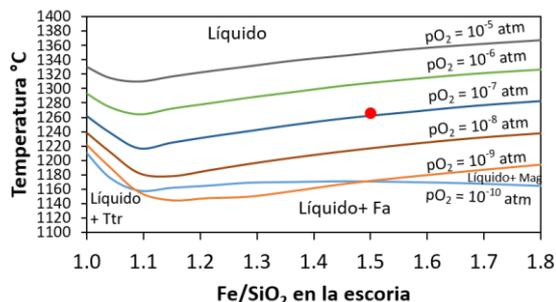


Fig 4. Efecto de la ratio Fe/SiO₂ y de la pO₂ en la temperatura liquidus.

El liquidus de la Mag aumenta con el contenido de Al₂O₃ y CaO en la escoria. Para una ratio media Fe/SiO₂ de 1.4 el liquidus aumenta 6 y 5°C por cada aumento de 1% de Al₂O₃ y CaO, respectivamente (Fig 5 y 6) (Henao et al, 2010).

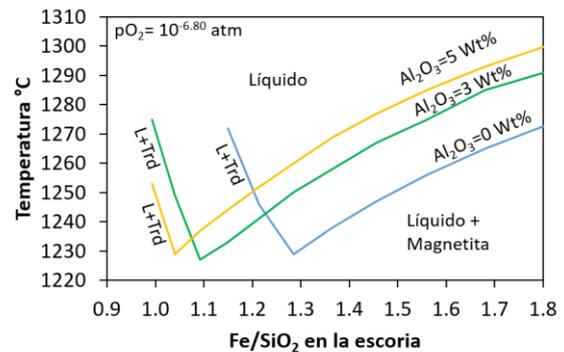


Fig 5. Efecto de Al₂O₃ en la temperatura liquidus.

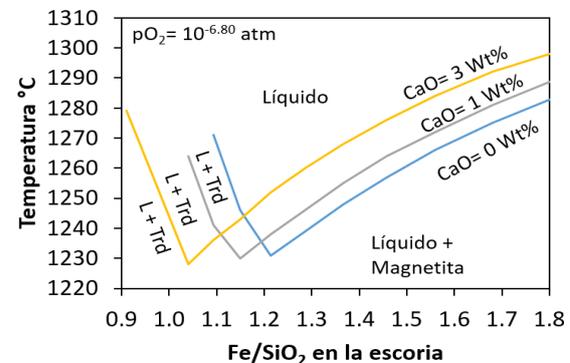


Fig 6. Efecto de CaO en la temperatura liquidus.

CONCLUSIONES

El proceso de fusión flash da lugar a dos fundidos inmiscibles, escoria y mata, cuya composición, representada por un solvus, es función de la temperatura. La primera fase que cristaliza en el fundido escoria es magnetita, seguida de fayalita y por último tridimita. La determinación de la temperatura liquidus en el sistema escoria en condiciones de equilibrio termodinámico permite conocer el límite de saturación de la primera fase que cristaliza, lo cual resulta útil para el control operacional, y depende de pO₂, de la ratio Fe/SiO₂ y del contenido en Al₂O₃ y CaO en el fundido escoria.

REFERENCIAS

- Bale C, et al. (2016): FactSage thermochemical software and databases, 2010-2016. Calphad., **54**, 35-53.
- Henao HM, et al. (2010): Investigación of Liquidus Temperatures and Phase Equilibria of Copper Smelting Slags in the FeO-Fe₂O₃-SiO₂-CaO-MgO-Al₂O₃ System at PO₂ 10⁻⁸ atm. Metal. Trans., **41B**. DOI: 10.1007/s11663-010-9369-1.
- Muan A, (1955): Phase equilibria in the system FeO-Fe₂O₃-SiO₂. JOM, **7**, 965-76.
- Shamsuddin M. (2016): Physical chemistry of metallurgical processes. John Wiley & Sons. 592 p.