

Modelos de viscosidad en fundidos: escorias de *fusión flash* de la metalurgia del cobre

Irene Raposo-Gutiérrez (1*), José Rodríguez-Quintero (2), Ignacio Moreno-Ventas-Bravo (1,3)

(1) Departamento Ciencias de la Tierra, Facultad de Ciencias Experimentales. Universidad de Huelva. 21017, Huelva (España)

(2) Departamento de Física Aplicada, Facultad de Ciencias Experimentales. Universidad de Huelva. 21017, Huelva (España)

(3) Centro de investigación de Química Sostenible (CIQSO). Universidad de Huelva. 21017, Huelva (España)

* corresponding author: irene_rg27@hotmail.com

Palabras Clave: Escoria, Mata, Viscosidad, Pirometalurgia del cobre. | **Key Words:** Slag, Matte, Viscosity, Copper pyrometallurgy

INTRODUCCIÓN

Los procesos pirometalúrgicos de cobre se basan en la extracción del cobre contenido en concentrados formados por una mezcla de sulfuros polimetálicos de cobre. Para ello, se realiza una fusión en dos pasos: 1) Fusión Flash; 2) Conversión en hornos de tipo Pierce Smith.

La Fusión Flash produce dos líquidos inmiscibles, un fundido rico en Cu (mata) que aparece como gotas dentro del fundido silicatado rico en Fe (escoria).

La decantación incompleta de las gotas de mata genera pérdidas mecánicas en el proceso de extracción del cobre. El proceso de decantación está limitado por el tamaño de las gotas, la viscosidad de la escoria, la densidad de las gotas de mata y el tiempo de residencia de las escorias fundidas en los reposadores del horno Flash.

Se ha calculado la viscosidad de escorias líquidas utilizando varios modelos en los que la viscosidad es dependiente de la temperatura, la densidad y la composición de las escorias. Las gotas de mata se clasifican en tipo I (Fe-Cu₂S) y tipo II (Cu⁰-Cu₂S).

También se ha calculado el tamaño crítico de las gotas de mata (tipo I y tipo II) que decantan en el tiempo de residencia disponible (4h), utilizando el modelo de Stokes (Heywood, 1948).

MATERIALES Y MÉTODOS

La cristalización de las escorias fue modelada mediante computación termodinámica por el método de minimización de la energía libre de Gibbs (FactSage™, Bale et al. 2016). La fracción de cristales entre liquidus y solidus fue utilizada para estimar las viscosidades aparentes.

El tamaño crítico para la decantación de las gotas de mata se calculó para viscosidades de la escoria a temperaturas por encima del liquidus, asumiendo una geometría esférica para las gotas de mata. Los tamaños

de las gotas de mata se estimaron mediante técnicas de análisis de imagen (Image J) aplicadas a imágenes de BSE (Back Scattered Electrons) obtenidas con SEM (Scanning Electron Microscope) (Fig. 1 y 2).

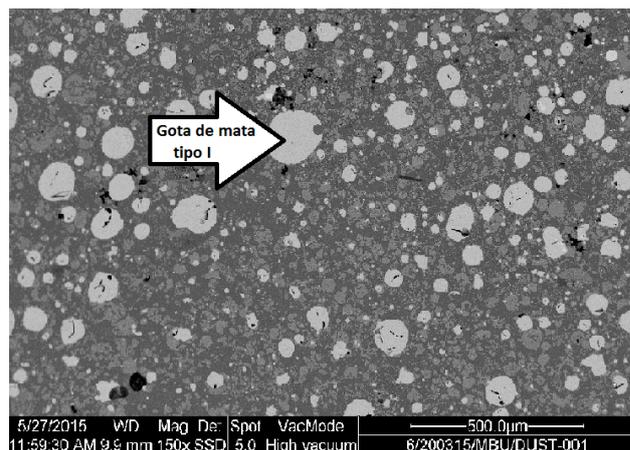


Fig 1. Imagen BSE de escoria con gotas de mata tipo I (FeS-Cu₂S)

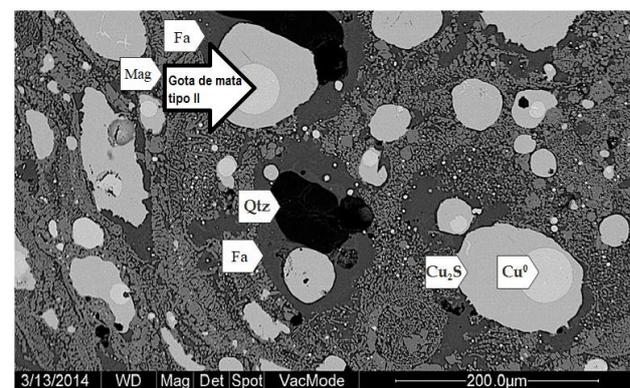


Fig 2. Imagen BSE de escoria con gotas de mata tipo II (Cu⁰-Cu₂S)

La viscosidad terminal de las gotas de mata fue calculada mediante el método de Heywood (1948) utilizando las densidades de cada tipo de mata (Tipo I: 5381 Kg/m³; Tipo II: 7840 Kg/m³). Para los cálculos se usó un rango

de tamaño de tamaños de las gotas de 225-2000 μm y un espesor para la capa de escoria de 40 cm.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los valores de viscosidad obtenidos mediante computación termodinámica (siguiendo a Brandaleze y Bentancour, 2001) y el modelo de Hasegawa y Tanaka, 2000 (en Bazán et al., 2006) quedan en el rango de los valores experimentales (Fig. 3).

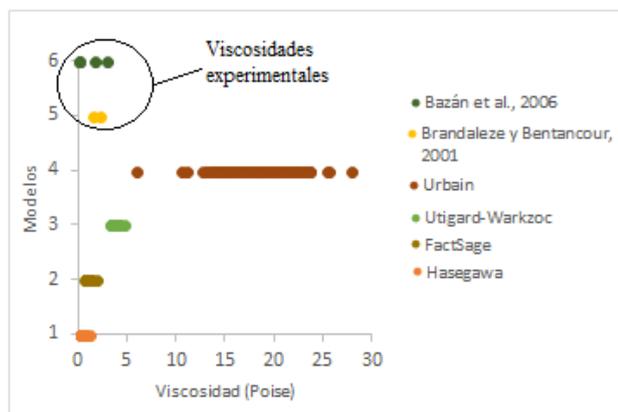


Fig 3. Viscosidades experimentales vs. Viscosidades estimadas

La viscosidad aparente aumenta con la fracción de cristales que aparecen en el fundido a medida que disminuye la temperatura, llegando a hacerse infinita en el solidus del sistema, (Ej: Temperatura: 1064 $^{\circ}\text{C}$; Viscosidad: $1,8 \cdot 10^4$ Poise) (Fig. 4).

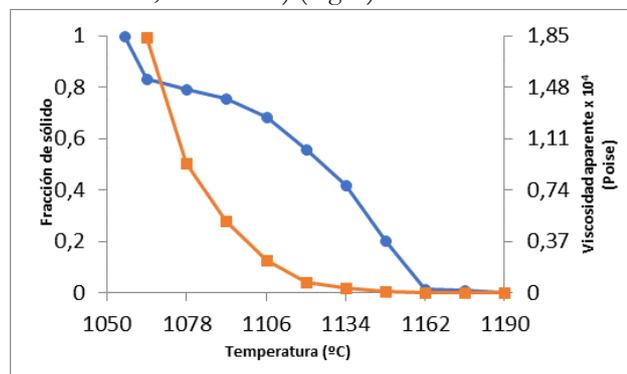


Fig 4. Viscosidades aparentes (línea izquierda naranja cuadrados) y fracción de sólidos de la escoria (línea derecha azul círculos) en función de la temperatura. Modelo de Hasegawa. (Bazán et al., 2006).

El tamaño crítico para las gotas de mata tipo I es de 284 μm (Fig. 5).

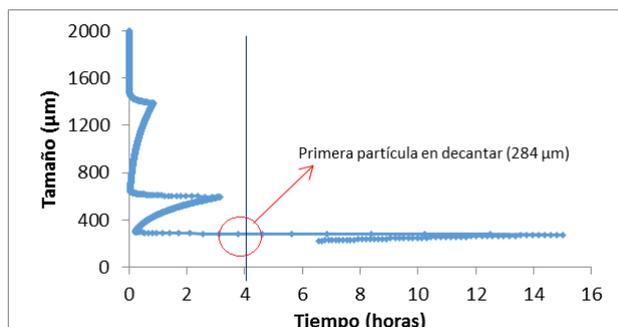


Fig 5. Tamaño frente al tiempo que necesitan las gotas de mata para atravesar la lámina de escoria tipo I de 40 cm.

Para las gotas de mata tipo II, se produce una decantación total en el rango de tamaño de 225-2000 μm (Fig. 6).

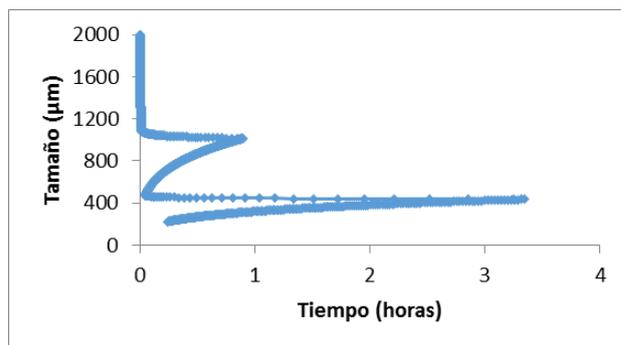


Fig 6. Tamaño frente al tiempo que necesitan las gotas de mata para atravesar la lámina de escoria tipo II de 40 cm.

CONCLUSIÓN

Los valores de viscosidad estimados mediante computación con FactSage y con el modelo de Hasegawa se encuentran dentro del rango determinado experimentalmente.

La viscosidad aparente aumenta a medida que disminuye la temperatura siguiendo un patrón similar para todos los modelos estudiados, haciéndose infinita en el solidus del sistema escoria (Temperatura: 1064 $^{\circ}\text{C}$).

Se produce una decantación total para las gotas de mata tipo II, mientras que para las gotas de mata tipo I se produce decantación de gotas a partir de 284 μm .

AGRADECIMIENTOS

Este estudio ha sido financiado por Atlantic Copper S.L.U.

REFERENCIAS

- Bazán, V., Goñi, C. A., Castellá, L., Brandaleze Etchebarne, E., Verdeja González, L. F., y Parra, R. A (2006): Estimación de la viscosidad de escorias fayalíticas utilizando el modelo de cálculo Kv y el método experimental del plano inclinado. Revista de Metalurgia, 42, 84-90.
- Brandaleze, E., y Bentancour, M. E (2001): Estimación de valores de viscosidad a altas temperaturas por modelo de Urbain y mediciones mediante plano inclinado. Jornadas SAM - CONAMET - AAS 2001, Instituto Argentino de Siderurgia, 1033-1040.
- C. W. Bale, E. Bélisle, P. Chartrand, S. A. Decterov, G. Eriksson, A.E. Gheribi, K. Hack, I. H. Jung, Y. B. Kang, J. Melançon, A. D. Pelton, S. Petersen, C. Robelin, J. Sangster, P. Spencer and M-A. Van Ende. (2016): FactSage Thermochemical Software and Databases, 2010 – 2016, Calphad, 54, 35-53.
- Heywood, H. (1948): Calculation of particle terminal velocities. J. Imp. Coll. Chem. Eng. Soc., 140-157.