

XVI Congreso Ibérico y
XII Congreso Iberoamericano
de Energía Solar
Madrid, España, 20-22 junio 2018
©Asociación Española de Energía Solar

EVALUACIÓN DEL DESEMPEÑO ENERGÉTICO DEL PROCESO DE FUNDICIÓN DE CONCENTRADOS DE COBRE ACOPLADO A UNA PLANTA SOLAR DE TORRE CENTRAL COMO FUENTE DE ENERGÍA TÉRMICA

Cruz-Robles I.*, Vázquez A. J. **, Alonso E. *, Pérez-Rábago C. A. *, Estrada C. A. ***

* Institute of Renewable Energy – National Autonomus University of México (IER-UNAM). Priv. Xochicalco, Azteca, 62588 Temixco, Morelos, México. irerr@ier.unam.mx, capr@ier.unam.mx, cestrada@ier.unam.mx

** National Center of Metallurgical Research. Madrid, España. alfonsojvvv@gmail.com

*** University of Antofagasta. Energy Development Center of Antofagasta (CDEA-UA), Chile. elisa.alonso@uantof.cl

RESUMEN

El cobre es un insumo indispensable en gran parte de los sectores económicos. Sin embargo, su cadena productiva tiene consecuencias adversas sobre el medio ambiente. El escenario de producción y consumo proyectado induce a que se exploren nuevas alternativas en la producción de cobre. De acuerdo con la cadena productiva de la vía pirometalúrgica se ha seleccionado al proceso de fundición como un campo de oportunidad para introducir una planta de torre central como fuente térmica de alta temperatura. Esta energía se suministra precalentando un flujo de blast (mezcla aire-oxígeno). En este trabajo se realiza una evaluación técnica del concepto. Con la hibridación se reduce en 7.5 % la demanda anual de energía y en 21.5 % la producción de CO₂. Las temperaturas de precalentamiento (de 700 a 800 °C) y los actuales dispositivos de control facilitan la integración de la tecnología solar.

PALABRAS CLAVE: Energía Solar, Metalurgia Solar, Planta de Torre Central.

ABSTRACT

Copper is an essential commodity in many economic sectors. Nevertheless, its production process carries a huge environmental issue. The production and consumption scenario that has been projected leads to explore new alternatives for copper production. According to the production process line of the pyrometallurgical route, the smelting process has been selected as an attractive field to introduce central tower plants as a high-temperature thermal source for the process. This energy is supplied by preheating a flux of blast (air and oxygen mixture). In this work, a technical evaluation is carried out for this concept. By hybridizing the process, a 7.5 % reduction in annual energy consumption and a 21.5 % in CO₂ production are achieved. The preheating temperatures (between 700 and 800 °C) and current flux control systems make feasible this integration.

KEYWORDS: Solar Energy, Solar Metallurgy, Central Tower Plant

INTRODUCCIÓN

El cobre es un insumo indispensable en gran parte de los sectores económicos. Sin embargo, su cadena productiva tiene consecuencias adversas sobre el medio ambiente. La proyección de producción primaria de cobre para el año 2019 ascienden a 26,500 kT, de las cuales el 79 % serán por la vía pirometalúrgica (International Copper Study Group, 2016). Se estima que cada kilogramo de cobre refinado por esta vía consume 33 MJ y genera una huella de 3.3 kg de CO₂ (Norgate et al., 2007). Tal previsión invita a explorar procesos alternativos que mitiguen el impacto ambiental de la producción de este insumo.

Algunos trabajos se han enfocado en la producción metalúrgica de cobre haciendo uso directo de la radiación solar concentrada como fuente de energía (Sturzenegger et al., 2006), (Winkel et al., 2008). Estas experiencias convergen en el enorme reto tecnológico de este método para competir con los procesos convencionales

Aunque esta propuesta tiene alcances atractivos, el enfoque que en este trabajo se intenta consolidar para el uso de la energía solar térmica dentro de la cadena productiva de cobre tiene como eje el uso directo de la tecnología de concentración y la robustez de la tecnología para emplearse intensivamente. Así, este trabajo expone el potencial tecnológico de las plantas de torre central para integrarse a la industria convencional de producción pirometalúrgica de cobre refinado.

MARCO TEÓRICO DE INTEGRACIÓN

De acuerdo con la cadena productiva convencional de cobre por la vía pirometalúrgica, compuesta por las etapas globales de minería, beneficio, fundición y refinación electroquímica, existe un campo natural para estudio en la etapa de fundición. La etapa se compone por los procesos de tostación, fundición, conversión y refinamiento térmico. Las temperaturas de operación de los últimos tres procesos mencionados alcanzan los 1250 °C. Estos procesos son prácticamente autógenos por una reacción exotérmica de óxido-reducción asociada a la recomposición química de los materiales. Sin embargo, a diferencia del uso de combustibles para controlar la temperatura de operación en los procesos de conversión y refinamiento térmico, el proceso de fundición requiere un aporte significativo de energía externa. La Fig. 1 muestra el esquema general del proceso de fundición de concentrados de cobre en un horno de tipo Outokumpu.

Esta energía externa se suministra por medio de combustible, oxígeno industrial y/o precalentamiento de blast (mezcla aire-oxígeno). Definidas las características de la materia prima y del producto, se pueden obtener soluciones paramétricas que describen a los posibles modos de operación a través de un balance de materia y energía del proceso de fundición de concentrados de cobre en estado estable (Davenport and Partelpeg, 1987). En el balance, Ecs. (1) y (2), se puede utilizar la capacidad de variación de los tres parámetros energéticos mencionados. Con este razonamiento, se ha considerado la participación de una planta de torre central como una fuente de energía solar térmica para precalentar el blast, hibridando el proceso de fundición.

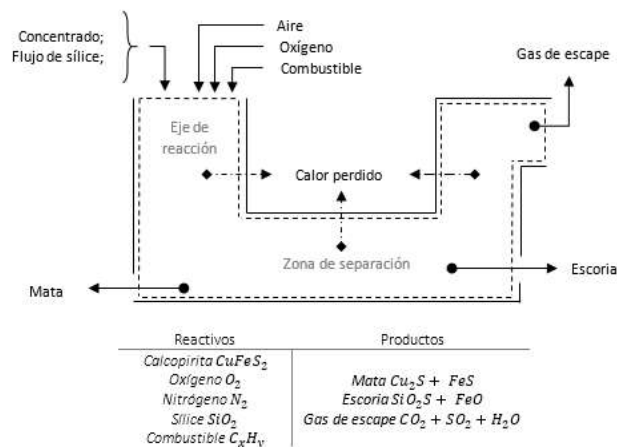


Fig. 1 Esquema general del horno de fundición.

$$\sum Masa_{Reactivos} = \sum Masa_{Productos} \quad (1)$$

$$\sum Entalpía_{Reactivos} = \sum Entalpía_{Productos} + Q_{Pérdida\ cond.,\ conv.,\ rad.} \quad (2)$$

IMPLEMENTACIÓN DEL ESTUDIO TÉCNICO

Se ha generado un conjunto de ecuaciones a partir del análisis de las soluciones paramétricas, estas ecuaciones estudian el desempeño energético del proceso de fundición como una función de la variación del recurso solar. Con este fin, se ha empleado el modelo descrito por Zhang (Zhang et al., 2013) para generar información de recurso solar anual con base horaria. Así mismo, se ha establecido un criterio de solución que cubre cualquier modo de operación del horno de fundición. En el cual se ha definido a la magnitud de producción de gases de escape como un parámetro fijo para resolver las ecuaciones. Esto se fundamenta en su relación con la tasa de procesamiento de concentrados y con la capacidad de la planta de tratamiento de gases.

PUNTO DE DISEÑO

Se han definido cinco consideraciones para el punto de diseño de la integración: una tasa de procesamiento de concentrados de cobre (1 tonelada por hora), un nivel de irradiación solar (850 W por m^2), una eficiencia anual del campo solar (58 %), una eficiencia del receptor térmico (78 %) y la producción de gases (1318 kg por tonelada de concentrado procesado). Tomando en cuenta esto, se ha calculado la dimensión de la superficie del campo necesaria para suministrar totalmente la demanda de energía del proceso cuando se tiene este nivel de irradiación. Esta dimensión es de 525 m^2 , correspondientes a un múltiplo solar igual a 1.

RESULTADOS

En la Fig. 2 se muestra el desempeño energético del acoplamiento solar en un día con irradiaciones horarias superiores a los 850 W por m² solar del año. Una primera condición se da en los momentos sin aporte térmico solar, aquí el proceso se realiza con los requerimientos nominales de combustible y oxígeno industrial. La segunda condición se caracteriza por una participación térmica solar parcial, en la cual se inyecta combustible y oxígeno industrial en función de la energía suministrada por la planta solar. La tercera condición se da cuando el aire se precalienta a un nivel donde el proceso de fundición es autógeno, sin inyectar combustible y oxígeno industrial al horno.

La porción gris dentro de la gráfica señala el gasto de energía que se evita por la simple modificación del modo de operación. La magnitud de recuperación de calor no sufre una variación perceptible, esto se debe a una correspondencia con la generación de gases de escape. Anexo a esto se grafica el excedente de energía solar. De acuerdo con la energía de precalentamiento y el flujo másico, el aire alcanza una temperatura ligeramente superior a 700 °C en los niveles máximos de precalentamiento. Para estas condiciones de diseño, el flujo de aire varía entre 1149 y 1080 kg por tonelada de concentrado procesado.

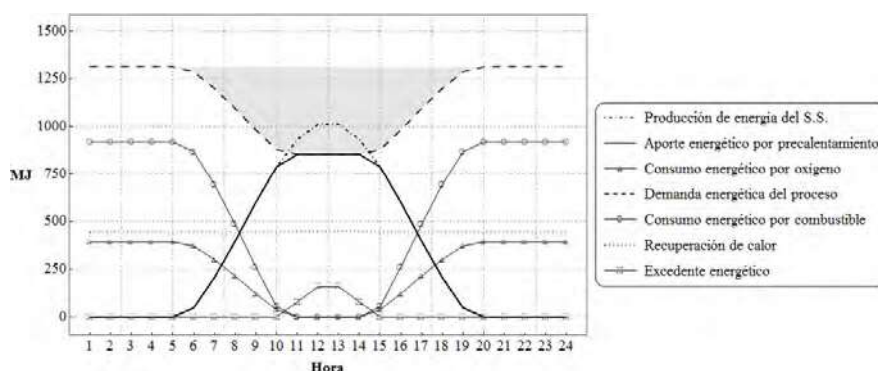


Fig. 2 Desempeño energético del proceso de fundición con integración solar.

De acuerdo con la evaluación anual, de las 8760 horas del año, el proceso de fundición se desarrolla 152 horas utilizando únicamente el recurso solar térmico, momentos en los cuales el nivel de radiación solar es igual o mayor a 850 W/m². El proceso opera 4226 horas en un modo híbrido, utilizando recurso solar, flujo de combustible y flujo de oxígeno industrial. El modo de operación convencional, sin participación solar, comprende 4382 horas. En un análisis anual acumulado, la producción de CO₂ se reduce en 21.5 % y el consumo de energía del proceso en 7.5 %. Esta reducción de energía cobra sentido cuando se entiende a detalle el proceso. Las Fig. 3 y 4 reflejan este desempeño anual en una escala acumulada.

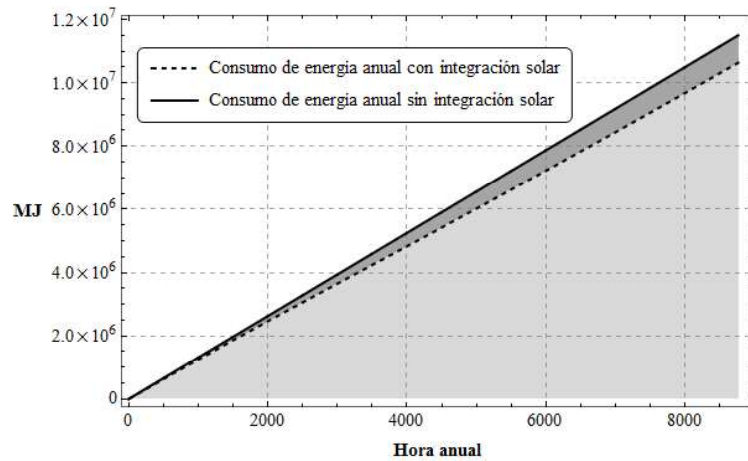


Fig. 3 Comparativa del consumo de energía anual con y sin integración solar.

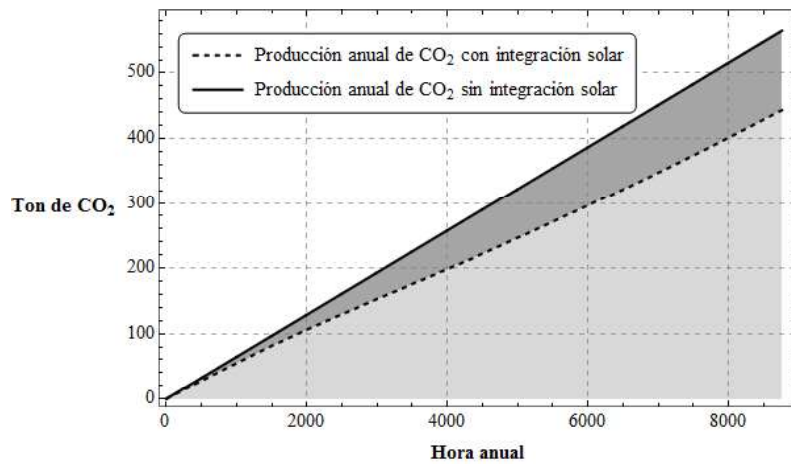


Fig. 4 Comparativa de producción anual de CO₂ con y sin integración solar.

VIABILIDAD GEOGRÁFICA

En este concepto existe una atractiva viabilidad geográfica, cerca del 20 % de las plantas de fundición de concentrados de cobre se ubican en zonas con altos niveles de irradiación solar anual (U.S. Geological Survey, 2016). Este potencial se extiende cuando se considera que alrededor del 50 % de la producción de concentrados de cobre se realiza dentro de las mismas zonas.

CONCLUSIONES

En correspondencia con la temperatura de precalentamiento para que el proceso sea autógeno, debe mencionarse la capacidad térmica y estructural de los materiales actuales para operar en esas condiciones. La tecnología de torre central sobresale por su capacidad para alcanzar temperaturas en el mismo rango que el proceso de fundición o mayores. Por otra parte, los dispositivos de control de flujo permiten un control integral entre el proceso y la planta solar. Como ejemplo de lo anterior, ya se ha demostrado a escala piloto la interacción directa entre la tecnología de torre central y un ciclo de potencia de tipo Brayton. En lo que concierne al desempeño energético del proceso de fundición, se han mostrado las ventajas energéticas y ambientales que vienen con la integración de tecnología solar: una disminución sustancial en el gasto anual de energía y una reducción significativa en la producción de CO₂. Por último, la viabilidad geográfica le proporciona a este concepto un importante potencial de investigación y desarrollo.

REFERENCIAS

- Davenport, W.G., Partelpeg, E.H., 1987. Flash Smelting; Analysis, Control and Optimization. Pergamon Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-025464-7.50008-9>
- International Copper Study Group, 2016. The World Copper Factbook 2016.
- Norgate, T.E., Jahanshahi, S., Rankin, W.J., 2007. Assessing the environmental impact of metal production processes. *J. Clean. Prod.* 15, 838–848. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2006.06.018>
- Sturzenegger, M., Winkel, L., Guesdon, C., 2006. Solar extraction of copper: on application of concentrated sunlight in extractive metallurgy. *Miner. Process. Extr. Metall.* 115, 31–40. <https://doi.org/10.1179/174328506X91338>
- U.S. Geological Survey, 2016. 2014 Minerals Yearbook - COPPER [Advance Release].
- Winkel, L., Alxneit, I., Sturzenegger, M., 2008. Thermal decomposition of copper concentrates under concentrated radiation - Mechanistic aspects of the separation of copper from iron sulfide phases. *Int. J. Miner. Process.* 88, 24–30. <https://doi.org/10.1016/j.minpro.2008.04.004>
- Zhang, H.L., Baeyens, J., Degève, J., Cacères, G., 2013. Concentrated solar power plants: Review and design methodology. *Renew. Sustain. Energy Rev.* 22, 466–481. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2013.01.032>