

## UNA REVISIÓN DE LOS USOS DE LAS ESCORIAS DE COBRE

A. Nazer<sup>(1)</sup>, O. Pavez<sup>(2,3)</sup>, F. Rojas<sup>(2)</sup>, C. Aguilar<sup>(4)</sup>

(1) Instituto Tecnológico, Universidad de Atacama, CHILE

(2) Departamento de Metalurgia, Universidad de Atacama, CHILE

(3) Centro Regional de Investigación y Desarrollo Sustentable de Atacama, CRIDESAT, CHILE

(4) Departamento de Ciencia de Materiales, Universidad Austral de Chile, CHILE

E-mail (autor de contacto): amin.nazer@uda.cl

### RESUMEN

*La escoria de cobre es un residuo del proceso pirometalúrgico aplicado a los concentrados de minerales de cobre que ingresan a la fundición. La escoria habitualmente es depositada directamente en vertederos autorizados. En ocasiones, si posee una rentabilidad comercial y previa al vertido final, éstas pasan por un proceso de flotación que permite recuperar los metales contenidos en ella. Finalmente, la escoria resultante se vierte en lugares aptos para ello. La escoria se considera un pasivo ambiental y puede permanecer en los lugares de acopio por décadas, lo que involucra la ocupación de grandes extensiones de superficies de terreno. Es por ello que en los últimos años, ha habido un creciente interés en buscar alternativas de uso para éstas. A nivel mundial, la escoria de cobre es usada en diversos sectores productivos, siendo usado, como un sustituto parcial del cemento hidráulico, como gravilla para líneas de ferrocarriles, como árido en mezclas asfálticas de obras viales, asimismo como árido constituyente de los morteros y hormigones de cemento, como abrasivo en la limpieza por chorro de arena de estructuras metálicas y en ocasiones en albañilerías de bloques de escoria moldeados. Los estudios más recientes que se presentan en la literatura están enfocados a la utilización de las escorias como un material que reemplace en forma parcial al cemento Pórtland, y en ese sentido, los resultados que se han informado ratifican que algunas escorias de cobre tienen propiedades cementosas y pueden considerarse materiales alternativos al cemento. En esta ponencia, el estudio realizado por los autores del presente trabajo, aporta resultados comparativos de la resistencia a la compresión de hormigones fabricados con áridos de escoria de cobre de la Fundición Hernán Videla Lira (Paipote) versus un hormigón con áridos convencionales de río. Los resultados alcanzados son alentadores, observándose que a los 28 días de edad, la resistencia a la compresión del hormigón con escoria de cobre fue 34 % mayor que en el hormigón convencional.*

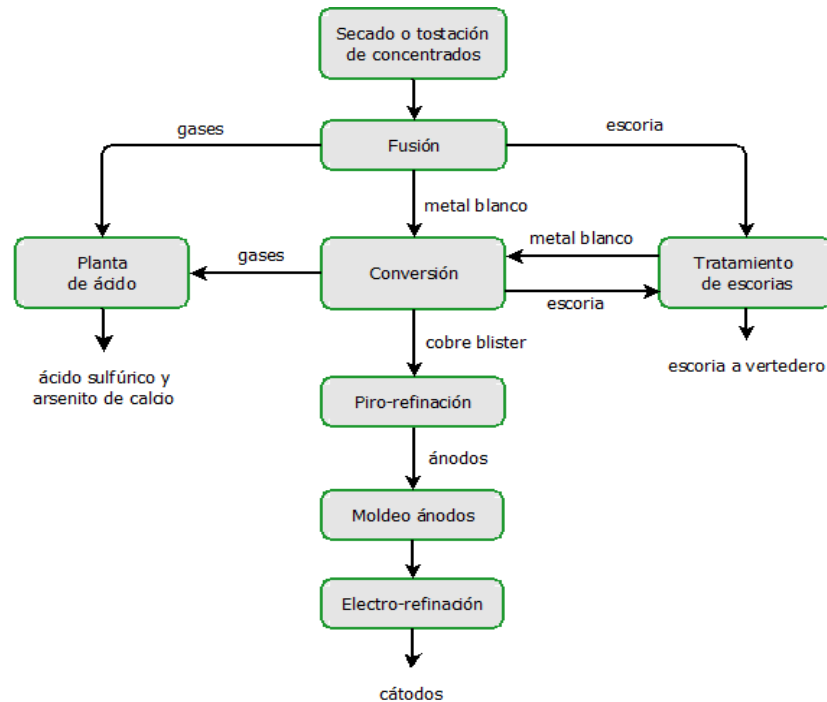
**Tópico:** Tópico 5: Materiales Compuestos

**Palabras clave:** hormigones con escorias de cobre, hormigones de cemento, usos de escorias de cobre, residuos masivos.

### 1. INTRODUCCIÓN

El cobre es un material muy demandado por la industria actual, empleándose en sectores tan diversos como la construcción, electricidad, electrónica, computación o la medicina. El proceso pirometalúrgico del cobre permite la obtención de cobre metálico de alta pureza a partir de los concentrados de minerales de cobre. La pirometalurgia del cobre comprende los procesos de fundición y la refinación del cobre, siendo el cátodo de cobre el producto final de esa cadena productiva (Fig. n° 1). El cátodo de cobre de 99,99 % de pureza, es la materia prima para la obtención de nuevos materiales mediante otros procesos industriales. El cobre es, y ha sido por muchas décadas, la base de la economía chilena. La escoria de cobre es un residuo metalúrgico masivo producto de la fusión de los concentrados de cobre en la fundición y es depositada directamente en vertederos autorizados. La escoria se considera un pasivo ambiental y puede permanecer en los lugares de acopio por tiempo indefinido, en Chile se registran depósitos de alrededor de 200 años de antigüedad. Los volúmenes

vertidos ocupan grandes extensiones de superficies de terreno y muchas veces restan terreno cultivable e impactan negativamente al medio ambiente por la potencial lixiviación natural de metales pesados [1] y por la contaminación visual del paisaje. Es por ello que en los últimos años ha habido un creciente interés en buscar alternativas de uso para las escorias de cobre.



**Figura 1.** Proceso pirometalúrgico del cobre [2]

La escoria de cobre en general, se somete a un enfriamiento natural en el lugar del vertido. Se compone principalmente de óxidos de hierro, silicio y aluminio. Por otra parte, en la composición mineralógica es común la presencia de fayalita y magnetita, entre otras composiciones [3]. A escala mundial, se generan alrededor de 24,6 millones de toneladas de escoria anualmente [3]. La mayor parte de estas, se vierte sin reciclaje apropiado [4]. Las fundiciones chilenas produjeron 2.360.000 toneladas métricas de escorias de cobre en el año 2002 [5]. En Chile, este residuo metalúrgico no tiene un uso industrial masivo. A nivel mundial se han realizado experiencias de usos, en particular el uso de las escorias de cobre en la industria de la construcción y con buenos resultados. Poblaciones asentadas en lugares próximos a las fundiciones de cobre han aprovechado las escorias como un material de construcción basado en bloques de escoria moldeada [6]. También se ha utilizado como materia prima en la fabricación de cemento, como sustituto de áridos tanto en hormigones como en morteros de cemento [7, 8, 9,10, 11, 12, 13,14]. Las escorias de cobre también se han usado en el pulido y limpieza por chorro abrasivo de estructuras metálicas [15,9] y como gravilla en obras viales [16] entre otras aplicaciones comerciales. En las dos últimas décadas, se han publicado artículos que muestran resultados del uso de las escorias de cobre en hormigones y morteros de cemento. La escoria de cobre puede ser utilizada como un material alternativo a la arena en mezclas de morteros y hormigones de cemento [14]. El uso de la escoria de cobre se establece en la publicación de un manual técnico para el uso de escorias de cobre en morteros y hormigones en una localidad china [11]. Tang et al. (2000) en [11], concluye que morteros de cemento con escoria de cobre, incrementa su resistencia a la abrasión. Por otra parte, Resende et al. (2008) estudiaron el comportamiento mecánico de morteros con escorias de cobre recicladas de los procesos de chorro abrasivo [9]. En Australia se comercializan hormigones con escorias de cobre [17]. Algunos países han regulado el empleo de finos de escorias como aditivo para el cemento, contando con las normas, DIN 4226; BS 6599; BS EN 12620; ASTM C 989, entre otras [18]. En este trabajo, los autores presentan resultados comparativos de la resistencia a

la compresión de hormigones fabricados con áridos de escoria de cobre de la Fundición Hernán Videla Lira (Paipote) versus un hormigón de cemento fabricados con áridos convencionales de río.

## 2. PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

### 2.1 Materiales

En este estudio se prepararon hormigones con cemento clase Puzolánico según la norma chilena 148 Of.1968, grava y arena proveniente de depósitos del Río Copiapó de acuerdo a los requisitos de la norma chilena NCh 163Of.1979, escoria de cobre del depósito de la Fundición Hernán Videla Lira, Copiapó, Chile, la que se usó sin modificar su granulometría (Tabla 1) y agua potable.

**Tabla 1.** Característica granulométrica de la escoria de cobre.

Abertura Tamiz		Escoria % Pasa		Requisitos NCH 163 Of.1979 % pasa	
NCH (mm)	ASTM (mm)	Grava	Arena	Grava (25-5)	Arena
25	25,0			100	
20	19,0	100		90-100	
12.5	12,5	50,43		-	
10	9,5	23,54		20-55	100
5	4,75	5,03	100	0-10	95-100
2.5	2,36	0	54,84	0-5	80-100
1.25	1,18		33,57		50-85
0.630	0,6		21,03		25-60
0.315	0,30		12,69		10-30
0.160	0,16		7,59		2-10

La caracterización química de la escoria de cobre se realizó en los laboratorios de la Fundición Hernán Videla Lira (Tabla 2), mientras que la caracterización mineralógica se realizó en los laboratorios de la Universidad de Atacama, en Copiapó. Los resultados mineralógicos indican un 50 % de fayalita, 39 % de magnetita y 10 % de fayalita magnesiana.

**Tabla 2.** Composición química de la escoria de cobre de la fundición Hernán Videla Lira.

Cu (%)	Ag (g/t)	Au (g/t)	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	Fe <sub>(total)</sub> (%)	Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub> (%)	SiO <sub>2</sub> (%)	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	CaO (%)	MgO (%)	S (%)	Cl (%)	Sb (%)	As (%)	Pb (%)
0,75	1,83	0,20	0,05	41,45	5,14	27,89	2,91	2,10	0,88	1,01	0,12	0,01	0,01	0,11

### 2.2 Procedimiento

Se fabricó hormigón para una resistencia de 20 MPa a los 28 días de edad, siguiendo la dosificación propuesta por la American Concrete Institute (ACI) de acuerdo a las proporciones en masa mostrada en la tabla 3. La muestra de hormigón con escorias de cobre (HE20), se fabricó con una relación agua/cemento de 0,53; mientras que el hormigón con áridos de río (HC20) consideró una relación agua/cemento de 0,46.

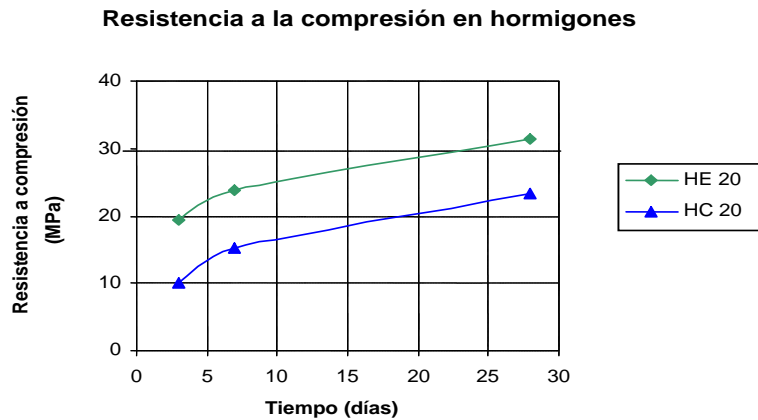
**Tabla 3.** Proporción en masa de los componentes de los hormigones producidos.

Hormigón	A/C	Cemento : Arena : Grava	Dosis de cemento (kg/m <sup>3</sup> )	Dens. Ap. Comp. Kg/m <sup>3</sup>	Asentamiento cm
HE20 (Escoria)	0,53	1 : 2,91 : 3,45	296,70	3.240	4.5
HC20 (convencional)	0,46	1 : 3,84 : 2,52	296,70	2.485	4.0

Se determinó la resistencia media a la compresión en una prensa hidráulica calibrada. Las probetas cúbicas de hormigón de 20 mm de aristas se ensayaron a las edades de 3, 7 y 28 días.

### 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados comparativos de las resistencias a la compresión a las edades de 3, 7 y 28 días se muestran en la figura 2. Las resistencias obtenidas en el hormigón con escoria son mayores en un 34 % respecto a las obtenidas en el hormigón de referencia. El motivo por el cual el hormigón con escoria presenta resistencia más alta que su referencia, es probablemente debida a la interacción de la escoria con el agua, al volumen de áridos en los hormigones y a las mejoras que la escoria aporta a la zona de contacto (Por un lado actúa la forma del árido de escoria y por otro lado el tipo de superficie.).



**Figura 2.** Resistencia media de hormigón con escorias de cobre y resistencias de hormigón de referencia

Aún considerando el hecho que la escoria de cobre no se ajustó a los requisitos granulométricos establecidos en la norma NCh 163, de igual manera arroja resultados superiores a un hormigón fabricado con arena y grava de río. Se hace notar que la resistencia final de diseño de 20 MPa a los 28 días, se logra prematuramente a los tres días en el hormigón con escorias de cobre, por lo que podría ser empleado como un hormigón de alta resistencia inicial.

### 4. CONCLUSIONES

Los resultados de los hormigones con escoria de cobre analizados, presentan una resistencia y una densidad mayor que los hormigones convencionales debido a la alta densidad de la escoria de cobre. Los hormigones con escoria de cobre pueden ser clasificados como hormigones pesados. En ingeniería se necesita en ocasiones, disponer de estructuras de la mayor densidad posible, para lo cual los hormigones pesados de escoria proveen una solución económica. Si la empresa de fundición estimara conveniente recuperar la ley residual de mineral de la escoria, siempre retornará a las canchas de acopio, por lo que tendremos una cantidad importante de pasivo metalúrgico disponible para la construcción.

### AGRADECIMIENTOS

Agradecemos la especial colaboración de las siguientes empresas: Empresa de Cementos Inacesa de Antofagasta, Fundición Hernán Videla Lira y Servilabhor quienes prestaron apoyo en el desarrollo del trabajo.

### REFERENCIAS

- [1] S. Demetrio, J. Ahumada, M. Duran, E. Mast, U. Rojas, J. Sanhueza, P. Reyes, and P. Morales, "Slag Cleaning: The Chilean Copper Smelter Experience," *JOM*, vol. 52, 2000, pp. 20-25.
- [2] A. Nazer, M.J. Bastante, B. Pacheco, and S. Capuz, "Indicadores de sostenibilidad ambiental para la industria metalúrgica del cobre primario en Chile. Una propuesta basada en estudios ACV.," *XIV Congreso Internacional de Ingeniería de Proyectos*, Madrid, España: 2010.

- [3] B. Gorai, R.K. Jana, and Premchand, "Characteristics and utilization of copper slag--a review," *Resources, Conservation and Recycling*, vol. 39, 2003, pp. 299-313.
- [4] Oman Daily Observer, "Using copper slag as a construction material," 2009, p. 27.
- [5] T.G. Goonan, "Flows of Selected Materials Associated with World Copper Smelting," 2005, p. 132.
- [6] N. Spry, "Blocks in Gloucestershire - A survey.," *Industrial Archaeology*, 2003, pp. 36 - 58.
- [7] M.F. Zain, M.N. Islam, S.S. Radin, and S.G. Yap, "Cement-based solidification for the safe disposal of blasted copper slag," *Cement and Concrete Composites*, vol. 26, 2004, pp. 845-851.
- [8] S. Goñi, M. Lorenzo, and J. Sagrera, "Durability of hydrated portland cement with copper slag addition in NaCl + Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> medium," *Cement and Concrete Research*, vol. 24, 1994, pp. 1403-1412.
- [9] C. Resende, P. Cachim, and A.M. Bastos, "Copper Slag Mortar Properties," *Materials Science Forum*, vol. 587-588, 2008, pp. 862-866.
- [10] K. Al-Jabri, R. Taha, A. Al-Hashmi, and A. Al-Harthy, "Effect of copper slag and cement by-pass dust addition on mechanical properties of concrete," *Construction and Building Materials*, vol. 20, 2006, pp. 322-331.
- [11] C. Shi, C. Meyer, and A. Behnood, "Utilization of copper slag in cement and concrete," *Resources, Conservation and Recycling*, vol. 52, 2008, pp. 1115-1120.
- [12] W. Wu, W. Zhang, and G. Ma, "Optimum content of copper slag as a fine aggregate in high strength concrete," *Materials & Design*, vol. 31, 2010, pp. 2878-2883.
- [13] W. Wu, W. Zhang, and G. Ma, "Mechanical properties of copper slag reinforced concrete under dynamic compression," *Construction and Building Materials*, vol. 24, 2010, pp. 910-917.
- [14] W. Moura, A. Masuero, D. Molin, and A. Dal Vilela, "Concrete performance with admixtures of electrical steel slag and copper slag concerning mechanical properties.," *American Concrete Institute*, vol. 186, 1999, p. 81-100.
- [15] K. Kambham, S. Sangameswaran, S. Datar, and B. Kura, "Copper slag: optimization of productivity and consumption for cleaner production in dry abrasive blasting," *Journal of Cleaner Production*, vol. 15, 2007, pp. 465-473.
- [16] E. Douglas and P. Mainwaring, "Hydration and Pozzolanic Activity of Nonferrous Slags," *Am. Ceram. Soc. Bull.*, vol. 64, 1985, pp. 700-706.
- [17] T.A. ASA, "Copper slag aggregates solve local supply problem," *Connections*, vol. 1, 2000, pp. 1-4.
- [18] A. Nazer, O. Pavez, F. Rojas, and J. Palacios, "Uso de las escorias de cobre como agregado pétreo en hormigones.," *X Congreso de Control de Calidad en la Construcción - VIII Congreso Latinoamericano de Patología de la Construcción.*, Asunción, Paraguay: 2005.