

LA VALORACIÓN DE LAS ESCORIAS METALÚRGICAS COMO RECURSOS INDUSTRIALES

Daniel F. Lovera Dávila, Vladimir Arias, Rosa Coronado Falcón*

RESUMEN

En la actualidad se utilizan diversos procesos metalúrgicos para la obtención y recuperación de metales y en cada uno de ellos se producen residuos inevitables como la formación de escorias, tratándose de que tengan el menor contenido de metal posible y que sus residuos finales tengan un valor posterior para otros procesos industriales; tema que la presente investigación desarrolla.

Escoria es una fase que contiene sustancias inútiles de un mineral, que se encuentran presentes en cualquier proceso metalúrgico que involucre fundiciones. Por lo general, las escorias de cobre son óxidos de hierro silicatos SiO_2 , aunque existen otros elementos que no superan el 20% por lo que no se toman en cuenta. Con respecto a las impurezas, éstas ejercen un papel negativo en sus propiedades como su conductividad eléctrica, térmica, su color su dureza y demás; se pueden clasificar en tres grupos de fácil eliminado (Zn, Fe, O y S), impurezas que se eliminan parcialmente (As, Sb, Bi y Ni), e impurezas que no se eliminan (Au, Ag).

Palabras clave: Metalurgia, escorias metalúrgicas, residuos sólidos, minería.

THE APPRAISAL OF METALLURGY SLAG AS INDUSTRIAL RESOURCES

ABSTRACT

Various metallurgy processes for obtaining and recovering metals are used nowadays. Unavoidable waste is therefore made through each of them, such as slag build-up. Efforts are made to get the least of metal content, and end waste to be best employed in following industrial processes. Such is the concern developed by the present research.

Slag is part of a stage containing minerals useless substances. These are present in any metallurgy process covering metal melting. Copper slag is generally made of iron oxides, silicates, although there are some other elements accounting for less than 20% of the content, and are thus not taken into consideration. As for impurities, they play a negative role in properties such as electric conductivity, thermic conductivity, colour, hardness, among others. They can be classified into three groups: easily removable impurities (Zn, Fe, O and S), partially removable impurities (As, Sb, Bi and Ni) and non-removable impurities (Au and Ag).

Keywords: Metallurgy, solid waste, mining, environment.

1. INTRODUCCIÓN

En un proceso de fundición, la escoria puede ser definida como una fase que contiene sustancias inútiles de un mineral y que inevitablemente

estará en cualquier operación pirometalúrgica que involucre sistemas fundidos [1, 2, 3].

Todas las escorias poseen, en alguna medida, bondades para la purificación del efluente metálico

* Instituto de Investigación-Facultad de Ingeniería Geológica, Minera, Metalúrgica y Geográfica-Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Lima-Perú.
E-mail: dloverad@unmsm.edu.pe / vladiarias@hotmail.com / rcoronado@udec.cl

y van adquiriendo mayor importancia cuando se encuentran más cerca del lecho metálico. En particular, en caso del cobre, estas escorias tienen un rol fundamental durante la pirorefinación, en la disolución de impurezas de la fase metálica.

De acuerdo a Mackey, seis son las características más importantes que deben poseer las escorias de extracción de cobre para asegurar la máxima eficiencia durante la operación pirometalúrgica:

- a) La escoria debe encontrarse completamente líquida a la temperatura de fusión del metal o de la mata.
- b) La escoria debe ser fácilmente manejable durante el proceso; esto es, debe existir un compromiso entre baja viscosidad.
- c) Las escorias que van a descarte deben contener mínimas cantidades del metal, disueltas o en suspensión.
- d) El rango de operación de la escoria debe ser tal, que admita variaciones tanto en la composición de la escoria misma como en la alimentación al reactor sin producir trastornos de funcionamiento.
- e) La escoria debe asegurar una buena eliminación de los elementos menores no deseados.
- f) Las escorias, como en cualquier sistema metalúrgico, suelen representarse por diagramas de equilibrio, conocidos también como diagramas de fases.

Con el propósito de modelar el comportamiento de minerales y concentrados durante las etapas pirometalúrgicas, se han estudiado los sistemas que mejor pudieran representarlo, llegándose a la conclusión, por parte de muchos autores, que el quinario Cu-Fe-S-O-SiO₂ cumple en buena medida lo requerido.

Tal como expresara Elliot, el quinario Cu-Fe-S-O-SiO₂ contiene, prácticamente, todas las fases presentes durante los procesos pirometalúrgicos de extracción de cobre en los rangos de temperatura (1100-1350°C) y presión de oxígeno (10-16-1 atm); escorias de fusión, conversión y pirorefinación, matas pobres, matas cercanas al metal blanco, fase metálica durante la pirorefinación y fase gaseosa involucrada en cualquiera de las etapas del proceso [4, 5, 6, 7].

A través de la historia de la metalurgia, la escoria ha sido normalmente considerada como el desecho resultante de las operaciones de fusión y

conversión; sin embargo, ya los primeros metalurgistas pudieron darse cuenta que algunas de sus propiedades químicas y/o físicas podían modificarse mediante la adición de fundentes adecuados, específicos al proceso que se lleva a cabo.

II. ESCORIAS METALÚRGICAS [2, 5, 6, 7, 8, 9]

Las escorias industriales se han ido formando en los diversos procesos pirometalúrgicos que a continuación mencionamos:

Escorias de reverberos

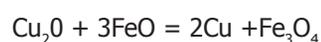
En la actualidad hay bastante conocimiento con respecto a la influencia del reciclaje de la escoria de conversión en las pérdidas de cobre en el horno reverbero. Es claro que durante el reciclaje de esta escoria ocurre una reducción de los óxidos de hierro y cobre mediante los sulfuros contenidos en el mate del horno del reverbero. Existe una tendencia, en algunas partes, de tratar a las escorias de conversión separadamente, lo que ha significado una reacción importante de las pérdidas de cobre y mayores tonelajes de producción. En este reactor, las pérdidas mecánicas en las escorias van desde un 65 a un 80% del total, el resto corresponde al cobre oxidado y sulfurizado soluble, y, en el caso del reverbero, la mayor parte del sulfídico.

Escorias de horno flash y procesos de fusión-conversión continuos

Cuando se emplea un tratamiento separado de la escoria que generalmente es necesario cuando el grado de las matas es del orden del 60-65% de cobre no se necesita un control tan riguroso de las escorias extraídas del reactor de fusión.

Cuando el cobre se produce directamente a partir del concentrado en una sola etapa, las escorias contienen desde 9-12% de cobre. Cerca de la mitad del cobre —en este caso— está disuelto como óxido y el resto atrapado como mata o cobre metálico.

Se considera que los costos de tratamiento para recuperar el cobre de las escorias vía molienda seguida de flotación son más altos que la pirometalúrgica o electrometalúrgica, ellos sin tomar en cuenta la posibilidad de emplear molienda autógena. Durante el enfriamiento lento de una escoria, la mayoría del cobre disuelto como óxido se reduce a cobre metálico de acuerdo a la reacción:



Y aparentemente, para un mismo consumo, la molienda autógena debería entregar colas más bajas, debido a la fragilidad favorable del material obtenido.

Escorias de convertidor

Tal como en el caso de la fusión, las escorias de conversión tienen cobre disuelto como sulfuros y óxidos (mayormente óxidos), mata y cobre atrapados mecánicamente. En algunas fundiciones se practica, hoy en día, el tratamiento de escorias por flotación y se comienza en otras a practicar la limpieza en horno eléctrico.

En la operación de convertidores, para asegurar un buena escoria, es importante considerar una adición apropiada de fundentes relativas al flujo de aire utilizado. Esta operación cambia de una planta a otra, en algunas se estila agregar el fundente unos minutos después de comenzado el soplado, en otras se agrega inmediatamente comenzado. También la forma de controlar el proceso está aún muy ligada a un operador, mediante el catálogo visual de la escoria y las llamas del reactor [8].

III. REFINERÍAS METALÚRGICAS

Refinería La Oroya

En la fundición de cobre de La Oroya, al igual que en otras fundiciones donde se emplea el método convencional de fusión de concentrados, las escorias generadas en los convertidores son retornadas en forma fundida a los hornos de reverberos donde, bajo condiciones relativas de reposo, se recupera por sedimentación la mayor parte del cobre contenido en ellas.

Si se tiene en cuenta que estas escorias están constituidas mayormente por óxidos de hierro y silicatos, se encuentra que la mayor parte de lo retornado no reporta mayores beneficios a los reverberos; por el contrario, es causa de problemas en ellos como la acumulación de magnetita en el fondo, restarles capacidad de tratamiento y posiblemente de mayores pérdidas en sus escorias. De ahí que, aunque simple, se haya encontrado que resulta económico reemplazar este procedimiento por uno que permita separar los valores de cobre de la matriz de óxidos y silicatos previo a su recirculación. A estos procedimientos se les da la denominación de métodos de «limpieza» de escorias, existiendo en la actualidad dos comercialmente probados y en uso industrial en varias fundiciones:

1) el de limpieza con horno eléctrico, y 2) el de limpieza por flotación previo enfriamiento, chancado y molienda.

Las escorias metalúrgicas de la refinería de La Oroya se almacenan en el lugar denominado Huanchán, allí se encuentran millones de toneladas esperando que una tecnología innovadora recupere sus tenores metálicos y reaprovechar la escoria, propiamente, como materia prima e insumo comercial.

Refinería Southern

La fundición de Ilo de SPCC provee el cobre blister a la refinería. El cobre blister producido por la fundición excede la capacidad de la refinería, por lo cual el excedente es vendido a otras refinerías alrededor del mundo.

La fundición de Ilo procesó 1.18 millones de toneladas de concentrados, igual que en el 2002. La fundición de concentrado de SPCC aumentó en 8.0%, mientras que la fundición de los concentrados de terceros disminuyó en 87,639 toneladas. Como resultado de ello, la producción de cobre blister disminuyó a 314,900 toneladas en el 2003, comparado con 316,500 toneladas en el 2002.

La producción total de cobre refinado de SPCC disminuyó 0.8% a 731.4 millones de libras en el 2003 con respecto a las 737.5 millones de libras en el 2002. La producción de la refinería de Ilo alcanzó los 626.1 millones de libras en el 2003, un incremento de 0.8% con respecto al 2002 debido a que ahora hay una mayor eficiencia en la planta. La producción proveniente de la planta de SX/EW disminuyó a 105.3 millones de libras de cobre, una disminución del 9.7% con respecto al año anterior, debido a una disminución en la ley de la PLS. La fundición de Ilo de SPCC provee el cobre blister a la refinería. El cobre blister producido por la fundición excede la capacidad de la refinería, por lo cual el excedente es vendido a otras refinerías alrededor del mundo [10].

Las escorias producidas son depositadas en el lecho marino.

IV. PROCESOS METALÚRGICOS CON TECNOLOGÍA LIMPIA

La producción limpia es especialmente interesante para conseguir el objetivo de reducción de escorias. Consiste en la adopción de medidas de organización que permitan reducir las escorias en

su origen y reciclar en el proceso. En cambio, una vía que puede contribuir a valorizar las escorias es comercializarlas como subproductos, encontrándose otra industria que pueda utilizar las escorias como materia prima.

El procesamiento de minerales es la fase más compleja y, por lo tanto, más demandante de soluciones tecnológicas para las tareas de preparación del material y su procesamiento hasta la entrega del producto comercial. Los focos de investigación principalmente se orientan a disminuir el consumo de energía en la cominución y en los procesos de separación, hacia una optimización del manejo y aprovechamiento del material fino, a procurar una aceleración de las reacciones químicas, a optimizar la eficiencia calórica y maximizar la continuidad de los procesos. También es relevante la preocupación por incrementar el reaprovechamiento de los residuos y disminuir la producción de desechos [7].

V. LEGISLACIÓN AMBIENTAL

La Legislación Ambiental Nacional D.S. N.º 016-92-EM 1993, en el artículo 36, planteaba la deposición de relaves y/o escorias en tierra, que se depositen en canchas ubicadas preferentemente cerca a las plantas de beneficio, para permitir el reciclaje del agua y así minimizar o evitar la descarga de efluentes fuera de la zona de almacenamiento.

En el artículo 37, en cuanto los estudios y la implementación de proyectos para depósitos de relaves y/o escorias deben garantizar la estabilidad estructural del depósito, así como de las obras complementarias a construirse, como en las laderas adyacentes al depósito y la presa o presas de sostén, asegurando la estabilidad física de los elementos naturales integrantes y circundantes para prevenir la ocurrencia de cualquier falla o interacción desestabilizadora, como consecuencia de fenómenos naturales tales como actividad volcánica, sísmica, inundaciones e incendios.

En el artículo 38, en cuanto a la ubicación de los depósitos de relaves y/o escorias en los casos de plantas de beneficio que, por razones topográficas, geológicas, edafológicas o hídricas, no es factible ubicar los depósitos de relaves y/o escorias en zonas cercanas, éstos podrán ser conducidos y depositados en el fondo de cuerpos lacustres o del mar, mediante tecnología adecuada que garantice la estabilidad física y química de los relaves y/o escorias, de tal manera que no

constituya riesgo para la flora, fauna marina y/o lacustre.

En el artículo 39, en cuanto para el abandono definitivo de los depósitos de relaves y/o escorias, necesariamente se elaborarán y ejecutarán las obras o instalaciones requeridas para garantizar su estabilidad, especialmente en lo que respecta a la permanencia y operatividad de los elementos de derivación de los cursos de agua, si los hubiere, y el tratamiento superficial del depósito y de la presa para evitar su erosión. El material depositado deberá ser estabilizado de tal forma que inhiba la percolación de aguas meteóricas y el transporte de contaminantes que puedan degradar los cuerpos de agua superficiales o subterráneos [11].

La legislación no contempla la revalorización, recuperación, reutilización y reciclaje, de las escorias y residuos metalúrgicos como contribución a la descontaminación del medio ambiente.

VI. INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO RECIENTES

A nivel regional se viene trabajando en esta línea de investigación en el marco del Programa Iberoamericano de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo (CYTED), ya que se trata de un problema común de la industria metalúrgica.

En ese contexto, se plantea un proyecto de investigación en ejecución. El desarrollo de los procesos de tratamiento de escorias y residuos metalúrgicos ha transcurrido de forma similar en los principales países productores de acero, arrabio, ferroaleaciones y metalurgia no férrea. Antiguamente los metalúrgicos no valoraban en su completa dimensión a las escorias y a otros desechos, existían limitados conocimientos y experiencias sobre las masas fundidas y, por consiguiente, sobre la posibilidad de obtener materiales y artículos valiosos como resultado de su tratamiento. No existían tecnologías ni instalaciones destinadas a este fin, la organización del tratamiento de las escorias y residuos industriales se desarrollaba en empresas aisladas.

Los volúmenes de escoria y residuos crecieron de año en año en la medida que crecía y se desarrollaba la industria en los países con tradición metalúrgica. Sin embargo, el aprovechamiento de estos subproductos ha sido una inquietud permanente de las empresas metalúrgicas, no sólo por las posibilidades económicas (tanto en el uso propio como la venta a terceros); sino también por

su contribución a la descontaminación del medio ambiente y a la necesidad de recuperar grandes extensiones de patios y terrenos aledaños a las factorías, donde se depositan las escorias.

Mediante investigaciones científicas y la actividad práctica se ha demostrado que el procesamiento integral y el uso racional de la escoria y otros residuos metalúrgicos permiten no sólo mejorar los índices económicos de la industria sino que a su vez son un importante sustituto de materias primas vírgenes empleadas en la industria de materiales de construcción, de agricultura y de otras [12].

VII. CONCLUSIONES

- a) La producción nacional de cobre genera grandes cantidades de escorias en las plantas metalúrgicas de La Oroya y de Ilo.
- b) La legislación ambiental no contempla la revalorización, recuperación, reutilización y reciclaje, de las escorias y residuos metalúrgicos como contribución a la descontaminación del medio ambiente.
- c) Mediante investigaciones científicas se puede lograr la conversión de las simples escorias metalúrgicas a insumos industriales.

VIII. AGRADECIMIENTO

A la Escuela de Ingeniería Metalúrgica por el apoyo brindado y a los profesores (que forman parte del equipo) Alfonso Romero, Luis Puente, Sixto Vidal Aramburú y Carlos Malpartida Domínguez.

IX. BIBLIOGRAFÍA

1. G. Tantaleán V. *Recursos Metalúrgicos*, UNMSM, 2004.
2. A.K. Biswas, W.G. Davenport. *Extraction Metallurgy of Copper*, Pergamon Press 1980.
3. P.J. Mackey. «The Physical Chemistry of Copper Smelting Slags a review». *Can Metall. Quart.* 21, N.º 3, 1982, p. 221.
4. I. Wilkomirsky. *Metalurgia no ferrosa*. Departamento de Ingeniería Metalúrgica, Universidad de Concepción, 1991.
5. D.R. Gaskell. *Introduction to Metallurgical Thermodynamics*. Mc-Graw Hill, Tokio, 1973.
6. Sánchez, M. *Escorias en pirometalurgia del cobre*. Departamento de Ingeniería Metalúrgica, Universidad de Concepción, 1992.
7. Sánchez, M. *Pirometalurgia del cobre y comportamiento de sistemas fluidos*. Departamento de Ingeniería Metalúrgica, Universidad de Concepción, 2002.
8. Comisión Chilena del Cobre. *La investigación e innovación tecnológica en la minería del cobre*. Dirección de Estudios, 2001.
9. Tarassoff P. Process R&D-The Noranda Process. *Metallurgical Transactions* vol. 15B, Sept. 1984, pp. 411-432.
10. Web Site: SPCC, Doe Run, MEM. 2004.
11. Reglamento de la Protección Ambiental para las Actividades Minero-Metalúrgicas. D.S. N.º 016-93-EM-1993.
12. Ortiz, O. *et al.* «Recuperación, reutilización y reciclaje de escorias y residuos metalúrgicos», Proyecto CYTED, 2004.