

Caracterización química y mineralógica de escorias de acería

Jorge H. Agudelo L., J. Henry Salazar B. y Juan C. Parra G.*

Resumen

El artículo describe la caracterización química y mineralógica de las escorias producidas en la Siderúrgica de Medellín, S.A., Simesa. Los principales elementos constitutivos fueron cuantificados por medio de un espectrómetro de adsorción atómica (UNICAM 929 AA SPECTROMETER) tanto para las escorias de horno thermex (HT) y las de horno cuchara (HC). La caracterización mineralógica fue realizada con técnicas de difracción de rayos X y la identificación de las fases presentes se realizó en el Laboratorio de Materialografía de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Antioquia.

----- *Palabras clave:* escoria básica, XRD, microestructura, ortosilicato de calcio, horno eléctrico de arco, horno cuchara.

Abstract

Slag is a generic term used to designate a great variety of simple or complex compounds, which may be solutions of oxides from different sources.

Steelmaking industries releases slags, a solid waste, which in our country, Colombia, does not have a definite use, and because of that, it is wasted..

The US Bureau of Mines reported that in 1994, 7.8 million metric tons were used in USA.

A research was designed to stablish the possible uses of HT and HC slags produced at Siderúrgica de Medellín, S.A., Simesa, collecting a set of 72 samples of both, by performing a chemical and mineralogical characterization.

Heavy metals contents were analyzed either in HT and HC slags because of the limitation in uses generated by their presence.

----- *Key words:* basic slag, XRD, microstructure, calcium orthosilicate, electric arc furnace, ladle.

* Grupo de Investigaciones en Cerámicos, Medio Ambiente y Metalurgia Extractiva, Ceramex. Departamento de Ingeniería Metalúrgica y de Materiales. Facultad de Ingeniería. Universidad de Antioquia. jagudelo@udea.edu.co.

Introducción

Las escorias son un residuo inevitable en la industria metalúrgica de producción de acero (en este caso horno eléctrico de arco), las cuales no tienen utilización específica y por tanto son desechadas.

Se diseñó un muestreo de los diferentes tipos de escoria producidas en la Siderúrgica de Medellín, S.A., Simesa, se recolectaron 72 muestras (HT y HC), para analizarlas química y mineralógicamente, también se tuvo en cuenta el tipo de acero producido en cada colada de acero y el tipo de chatarra adicionada, con el fin de observar la variación de la composición química de la escoria.

Además, se realizaron análisis de los metales pesados contenidos en los dos tipos de escorias producidas.

Diseño experimental

Ya que se requería garantizar el cubrimiento de todas las variables del proceso, se diseñó un muestreo aleatorio que barrió un rango de aproximadamente 600 coladas en un período de tres meses, pues, por tratarse de una siderúrgica semi-integrada, la materia prima está constituida por chatarras de diferentes calidades y composiciones. Además Simesa produce gran variedad de aceros, lo cual multiplica el número de factores que deben tenerse en cuenta para el muestreo.

Se realizaron análisis químicos a cada una de las muestras recolectadas, tanto las provenientes del horno eléctrico de arco (escorias HT) y las del proceso de afinación del acero en el horno cuchara (escorias HC).

Estos análisis fueron hechos por medio de un espectrómetro de absorción atómica. Los óxidos analizados fueron CaO, MgO, SiO₂, Al₂O₃, FeO, MnO, TiO₂ y P₂O₅. Además se reportan los resultados obtenidos para el índice de basicidad.

Al revisar las composiciones obtenidas en el Laboratorio de Análisis Químico de Simesa, se

observaron fluctuaciones del 30% en CaO, 76% en MgO, 42% en SiO₂, todas las anteriores en las escorias HT, y no superaron el 10% para las escorias HC.

Los porcentajes de cada uno de los óxidos aumentan con el tiempo, por lo que se decidió tomar un mínimo de cuatro muestras por cada colada seleccionada, y luego de mezclarlas homogéneamente sacar una muestra representativa para el análisis químico por esta razón se reportan composiciones promedio de cada uno de los óxidos seleccionados.

Luego, con técnicas de difracción de rayos X, se realizó una caracterización mineralógica. Se presenta dificultad ya que las escorias tienen mayor porcentaje de vítreos, aunque por las condiciones de enfriamiento lento de las escorias en los patios, se presenta algún grado de cristalinidad.

Posteriormente, se utilizaron técnicas de sección delgada y con la ayuda del analizador de imágenes, se identificaron algunas de las fases presentes.

Cabe anotar que los estudios realizados trataron independientemente las escorias HT y HC, no se realizó ningún estudio a una mezcla de éstas, ni con otros desechos de la planta. La escoria HT fue modificada físicamente mediante un proceso de trituración y molienda primaria y presentaba un rango de 1/2 y 1/4 de pulgada de diámetro.

Caracterización de la escoria

Composición química

La composición química media de la escoria de Simesa es la que se presenta en la tabla 1.

Los metales pesados fueron cuantificados por absorción atómica (Equipo UNICAM 929 AA Spectrometer) obteniéndose los resultados que se presentan en la tabla 2.

Tabla 1 Composición química de las escorias de Simesa

Compuesto	Escoria HC (%)	Escoria HC (%)
CaO	37,82	48,46
MgO	5,16	8,72
SiO ₂	18,12	27,60
Al ₂ O ₃	7,05	7,95
Fe Total	19,22	3,40
MnO	5,66	1,31
TiO ₂	0,74	0,39
P ₂ O ₅	0,67	0,07
S	0,18	0,39

Tabla 2 Contenido de metales pesados en la escoria

Metal	Escoria HC	Escoria HT
Cadmio (mg/kg)	0,00	0,00
Cromo (mg/kg)	505	8699
Níquel (mg/kg)	3,35	14,9
Plomo (mg/kg)	0,00	183
Cobre (mg/kg)	26,0	370

Caracterización mineralógica

Microestructura

Para poder observar la microestructura de la escoria HT, se usó la técnica de “Sección pulida”. Se tomaron fotomicrografías a diferentes aumentos, sin necesidad de atacar la muestra, ya que la estructura se reveló al observarla con el microscopio de luz reflejada (microscopio metalográfico).

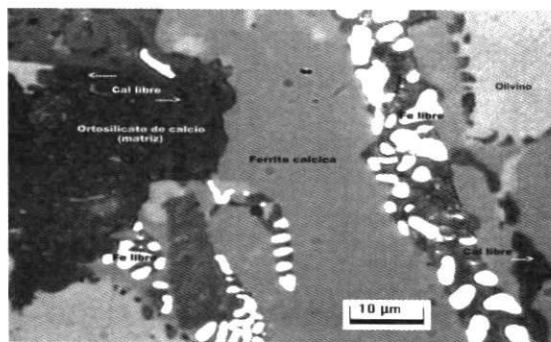


Figura 1 Identificación de las fases
Teniendo como base los análisis por difracción de rayos X, trabajando con el analizador de imágenes y comparando con estructuras similares del Schlacken Atlas, se logró la identificación de las siguientes fases: ortosilicato de calcio, ferrita bicalcica, silicato de magnesio, Fe libre y la cal libre.

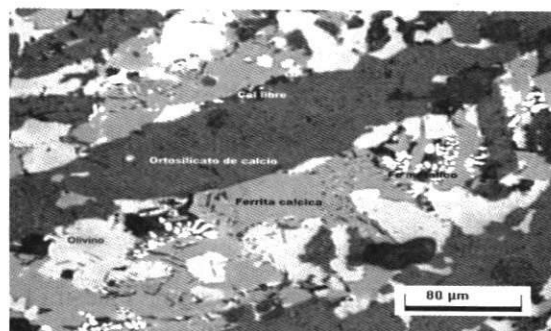


Figura 2 Microestructura de la escoria HT sin ataque

Difracción de rayos X

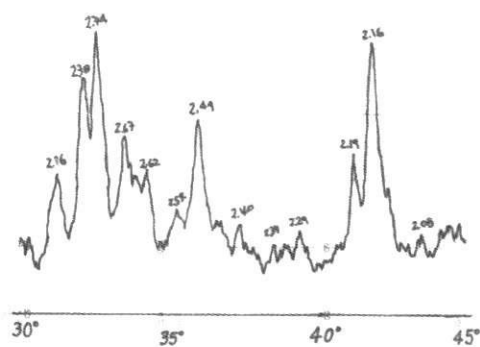


Figura 3 Difractograma escoria HT

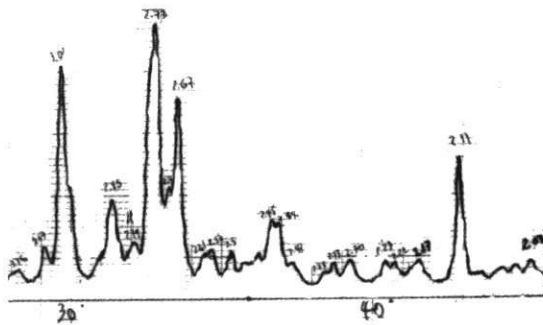


Figura 4 Difractograma de la escoria HC

Los difractogramas fueron realizados con los siguientes parámetros:

Radiación:	Cu y Fe
Voltaje:	40 Kv
Corriente:	20 mA
Velocidad:	40°/minuto
Escala:	4.000 cps
Constante de tiempo:	2

Para la escoria HT, el difractograma muestra la presencia de β - 2CaSiO_2 , FeO y con indicios de Cr_2O_3 .

La escoria HC muestra los picos correspondientes a γ - CaOSiO_2 , CaFe_3O_5 , $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{SiO}_2$ e indicios de FeO.

La baja intensidad en las señales de los difractogramas indica la presencia de un alto contenido de materia amorfa en las muestras, pues esta técnica solo detecta compuestos con estructura cristalina.

Características físicas

Las características físicas de las escorias HT de Simesa se presentan en la tabla 3.

Como puede verse se trata de un material muy limpio, pesado, anguloso, poco pulimentable y de gran dureza. La escoria HT de acería suele

Tabla 3 Características físicas de la escoria HT

Ensayo	Resultado (%)
Partículas con más de 2 caras (%)	100
Desgaste los ángeles (%)	25
Limpieza superficial (%)	95
Peso específico	3,59
Porosidad (% vol.)	25

superar a los materiales convencionales tanto en resistencia a la fragmentación como al pulimento, con el inconveniente de tener mayor peso específico. Comparadas con las escorias de alto horno son más duras, densas y de naturaleza menos vacuolar.

En cuanto a las escorias de horno cuchara, HC, se observó que a altas temperaturas, esta es negra y dura, pero a medida que se adelanta el enfriamiento, el ortosilicato de calcio sufre una transformación alotrópica alrededor de 620 °C, pasando de β a γ sufriendo una expansión volumétrica hasta del 15%. Por esta razón, la escoria HC se encuentra en polvo a temperatura ambiente.

Conclusiones

1. Se observaron las diferencias entre los dos tipos de escoria resultantes: la escoria HT (horno Thermex) producida en el proceso de fusión primaria, la cual, a temperatura ambiente es dura y angulosa y la escoria HC (horno cuchara), propia del proceso de afino del acero. Esta, a temperatura ambiente, es un polvo muy fino de color gris claro. Esta diferencia se debe a la transformación alotrópica del ortosilicato de calcio de β a γ al pasar por temperaturas cercanas a 620 °C, esto se debe al mayor porcentaje de CaO de la escoria HC.
2. Los ensayos realizados para determinar el contenido de metales pesados en los dos tipos de escoria, mostraron la ausencia total de cadmio y plomo en la escoria HC, la cual

tiene uso potencial como correctora de acidez de suelos. Al realizar dichas pruebas, se confirmó la alta estabilidad química de estos óxidos, los cuales, para efectos de análisis, se disolvieron con una solución de ácido nítrico y ácido sulfúrico, ya que las pruebas previas de disolución con ácido clorhídrico no lograron su cometido.

3. Es necesario realizar análisis exhaustivos para determinar todas las fases presentes en la escoria HT. Las fases determinadas son parciales ya que al realizar esta determinación por comparación, no se pueden determinar aquellas que no presentan concordancia con las microestructuras mostradas en los Atlas.

Agradecimientos

Los autores desean expresar su agradecimiento a la Siderúrgica de Medellín, S.A., Simesa, especialmente al doctor Antonio Girón Higueta y al ingeniero Carlos Mario Velásquez por su invaluable colaboración, igualmente al Comité de Investigaciones, CODI, de la Universidad de Antioquia, pues sin su intervención no se habría llevado a cabo este trabajo.

Bibliografía

1. Coudurier, Hopkins, Wilkomirski. *Fundamentals of Metallurgical Processes*. Ed. John Wiley and Sons. pp. 212-245. 1987.
2. García de Paredes, P. *Manuales y Normas del Instituto Técnico de la Construcción y el Cemento*. Las Escorias Siderúrgicas en la Construcción: Análisis y Ensayos. Patronato Juan de la Cierva de Investigación Técnica del Consejo Superior de Investigaciones Científicas. CENIM. 1993.
3. Kos, B.; Mayer, F.W.; Kohlbacher, M. *Reciclaje de Escorias de Acería*. ILAFA. 1995.
4. Lee, W.; Rainforth, W.M. *Ceramic Microstructures: Property Control by Processing*. Ed Chapman and Hall. 1994.
5. López, F.A.; Formoso, A.; Medina, F. *Escorias LD: Coproductos de la Industria Siderúrgica*. Canteras y Explotaciones. pp. 56-62. Marzo de 1989.
6. Salas, L.B. *Utilización de escorias de acería OBM*. SOMISA. pp. 102-109. 1989.
7. *Schlakenatlas*. Editado por Verein Deutscher Eisenhüttenleute. Preparado por Ausschub für Metallurgische Grundlagen. Verlag Stahleisen M.B.H. Düsseldorf. 1981.
8. Stevenson, J. *Slag Characterization and Utilization*. Langston University. Artículo de Internet. 1998.
9. Waelkens, G.S.; Del Carmine, C. *Generación y Propiedades de las Escorias Siderúrgicas*. SOMISA. pp. 1-31. 1997.