

Estudio de la inestabilidad en escorias negras de horno de arco eléctrico

Study of the instability of black slags from electric arc furnace steel industry

MOISÉS FRÍAS ROJAS*, M^a ISABEL SÁNCHEZ DE ROJAS*, ALEJANDRO URÍA **

(* Instituto Eduardo Torroja (CSIC), Madrid

(**) Altuna y Uría, S. A. Azpeitia, Guipúzcoa

Fecha de recepción: 3-VII-01

Fecha de aceptación: 10-X-01

ESPAÑA

RESUMEN

En España la fabricación de acero produce grandes cantidades de residuos industriales, las cuales representan entre el 15-20% de la producción total de acero, en su mayor parte se depositan en vertederos, causando serios problemas económicos y medioambientales a todos los sectores implicados. A nivel internacional, se están estudiando diferentes vías de reutilización, siendo su uso principal como árido de reciclado. La posibilidad de reutilizar estos subproductos industriales en el sector de la construcción se basa en su posible inestabilidad volumétrica, debido a la presencia de ciertos compuestos no deseados. En este trabajo se caracterizan químicamente 2 escorias negras de horno de arco eléctrico con diferente procedencia y se cuantifican algunos de los principales compuestos conocidos por sus efectos expansivos, como: cal libre, magnesia libre, cloruros y sulfatos.

Los resultados analíticos de estas dos escorias negras muestran que estos compuestos nocivos están presentes en cantidades insignificantes o nulas y, por lo tanto, no deberían tener una incidencia negativa en fenómenos de inestabilidad de volumen.

PALABRAS CLAVE: escorias de horno eléctrico, composición química y mineralógica, compuestos expansivos.

1. INTRODUCCIÓN

La generación de escorias como subproducto industrial se inicia a finales del siglo XIX. A partir de 1920, las acerías empezaron a sustituir los hornos tradicionales por hornos eléctricos, al permitir estos últimos fabricar cualquier tipo de acero. La fabricación de acero genera una serie de residuos procedentes del proceso industrial, los cuales representan entre el 15-20% aproximadamente de la produc-

SUMMARY

In Spain, the steel manufacture produces important quantities of by-products, representing between 15 and 20% of total steel production. Most by-products are deposited on open air spaces causing serious economical and environmental problems. Internationally, different recycling ways are studied, being the main alternative for these by-products as recycled aggregate. The possibility of recycling these by-products in construction sector depends on its possible volume instability because of the presence of some underisable compounds. In current paper, two different black slags from electric arc furnace steel industry were chemically characterized, paying attention to some well-known compounds by theirs expansion effects, such as: free CaO, free MgO, chlorides and sulphates.

The analytical results carried out in the current research detected the presence of insignificant or null amounts of harmful compounds. Therefore, they should not have any negative incidence on phenomena of volume instability.

KEYWORDS: electric arc furnace slag, chemical and mineralogical composition, expansive compounds.

ción total de acero, siendo las escorias negras el subproducto industrial más importante en la fabricación de aceros comunes (1).

La principal materia prima empleada para la fabricación de acero en horno eléctrico es la chatarra de hierro y, como elementos de adición auxiliares, pequeñas cantidades de mineral de hierro, ferro-aleaciones, elementos desoxidantes, etc.

Por su naturaleza, composición química, mineralogía, etc., estas escorias negras son subproductos industriales muy diferentes a las escorias tradicionalmente llamadas escorias de alto horno, las cuales son muy conocidas como adición activa para la elaboración de cementos comerciales (2-5).

Debido a la existencia de grandes depósitos al aire libre, las escorias de acerías de horno eléctrico plantean, a corto y largo plazo, serios problemas, tanto para las propias empresas como para el medio ambiente.

En estos momentos, se estudian diferentes alternativas para reducir o minimizar el gran volumen de escorias producidas. Su principal aplicación podría ser como árido de reciclado en hormigones y en bases y sub-bases en carreteras (6-9). Esta alternativa, según Sakata y col. (10) puede ser una vía efectiva para solventar los serios problemas, tanto medio-ambientales, como puede suponer la acumulación de estos subproductos en escombreras, como la escasez de obtener áridos naturales de buena calidad.

En España, hay experiencia, tanto a nivel de laboratorio como a nivel de tramos experimentales de la utilización de escorias negras en carreteras. En un artículo previo, J. Tomás y A. Uría (11) recogían las buenas cualidades de estos subproductos industriales como árido de reciclado en mezclas bituminosas usadas en la capa de rodadura, tales como: menor riesgo de hinchamiento, excelente coeficiente de pulido, buena afinidad por los betunes, etc.

Por otro lado, de acuerdo con la Directiva Comunitaria sobre el uso de hormigones porosos en poblaciones urbanas, con el objetivo de reducir o eliminar los inconvenientes presentados por los pavimentos actuales; tales como: elevado ruido, balsas de agua, alto grado de reflexión de calor, etc, R. Bollati (12,13), experto en el diseño y ejecución de tramos de carreteras con hormigones porosos (Salamanca, Segovia, País Vasco...) afirma que el futuro de los pavimentos pasará por ser materiales elaborados con hormigones porosos y que las escorias de acería, como árido de reciclado en este tipo de hormigones, constituirá una alternativa muy ventajosa por diferentes aspectos: económica, social y medioambiental.

A pesar de las buenas cualidades las escorias negras están rodeadas de una cierta problemática sobre su posible inestabilidad volumétrica, debido a la presencia de compuestos tales como: cal libre, magnesia libre, sulfuros, altos contenidos de óxidos de hierro, óxidos de manganeso, etc., que en presencia de agua y/o por reacción con los compuestos del cemento, estos compuestos experimentan un aumento considerable de volumen, con la consiguiente pérdida de prestaciones y la desintegración de las capas u hormigones elaborados con estos subproductos industriales.

En esta línea, uno de los compuestos más problemático relacionado con la reutilización de las escorias negras en el sector de la construcción, es la posible falta de estabilidad de éstas debido a un contenido demasiado alto de magnesia (MgO), en forma de periclasa, cuyos cristales reaccionan con el agua a temperatura ambiente en un período a medio y largo plazo, dando lugar a tensiones internas en el material endurecido.

La necesidad de realizar ensayos para la determinación de las propiedades químicas dependerá de cada aplicación, origen del árido y su uso final. Así, en la Instrucción Española EHE-99(14), en los áridos para la fabricación de hormigones pueden emplearse arena o gravas existentes en yacimientos naturales, rocas machacadas o escorias siderúrgicas apropiadas. En el caso de utilizar escorias siderúrgicas como árido se comprobará previamente que son estables y se prohibirán aquellos áridos que contengan compuestos nocivos. Las escorias de arco eléctrico, por su naturaleza, no son escorias de alto horno pero podrían aplicarse las mismas especificaciones.

La presente investigación aborda esta problemática sobre las escorias de arco eléctrico procedente de la fabricación de hierro, centrando la investigación en cal libre, magnesia libre, cloruros, sulfatos y sulfatos solubles presentes en 2 escorias negras de diferentes acerías. El trabajo aborda a la escoria negra desde 4 fracciones granulométricas, debido a que este subproducto muestra un amplio intervalo granulométrico (0-50 mm), normalmente se utilizarían en fracciones granulométricas parciales, en función de su aplicación final.

2. MATERIALES

Las dos escorias de distinta acería se tamizaron en 4 fracciones granulométricas según la Tabla 1. Cada una de las fracciones fueron molidas a tamaños de partícula inferior a 100 μm .

La composición química de las fracciones granulométricas fue realizada mediante la técnica de Espectrometría de Plasma de Acoplamiento Inductivo (ICP) (15).

La metodología utilizada para la cuantificación química de los compuestos nocivos, cal libre, sulfatos y cloruros, fue la descrita en las Normas Españolas correspondientes: UNE 80-243 y UNE EN 1744-1; excepto para el caso de la magnesia libre, que al no existir una norma específica para su cuantificación química, se aplicó un método químico desarrollado por el equipo investigador en el Instituto Eduardo Torroja (CSIC).

Las investigaciones mineralógicas llevadas a cabo con la técnica de Difracción de Rayos X muestran que estas partículas están formadas mayoritariamente por los siguientes compuestos cristalinos: FeO , $\text{MgFe}_2\text{O}_4/\text{F}_3\text{O}_4$, 2CaAsiO_4 e indicios de cal libre y periclasa.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La Figura 1 recoge la composición química de las distintas fracciones granulométricas.

De los resultados obtenido en el análisis químico se observa que los óxidos más abundantes son SiO_2 , Fe_2O_3 y CaO

(la suma de los tres óxidos superan el 73%), seguido de óxidos de magnesio, aluminio y manganeso. Los porcentajes de los óxidos varían en función de la procedencia de las escorias. Así, la escoria A es más básica que la escoria B. Los índices de basicidad $(\text{CaO}+\text{MgO})/(\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3)$ encontrados para las escorias A y B fueron 2,06 y 1,2, respectivamente. La composición química de estas esco-

TABLA I
Designación e intervalos granulométricos

Escoria	Intervalos granulométricos
A	0-6 mm 6-13 mm 13-23 mm
B	23-50 mm

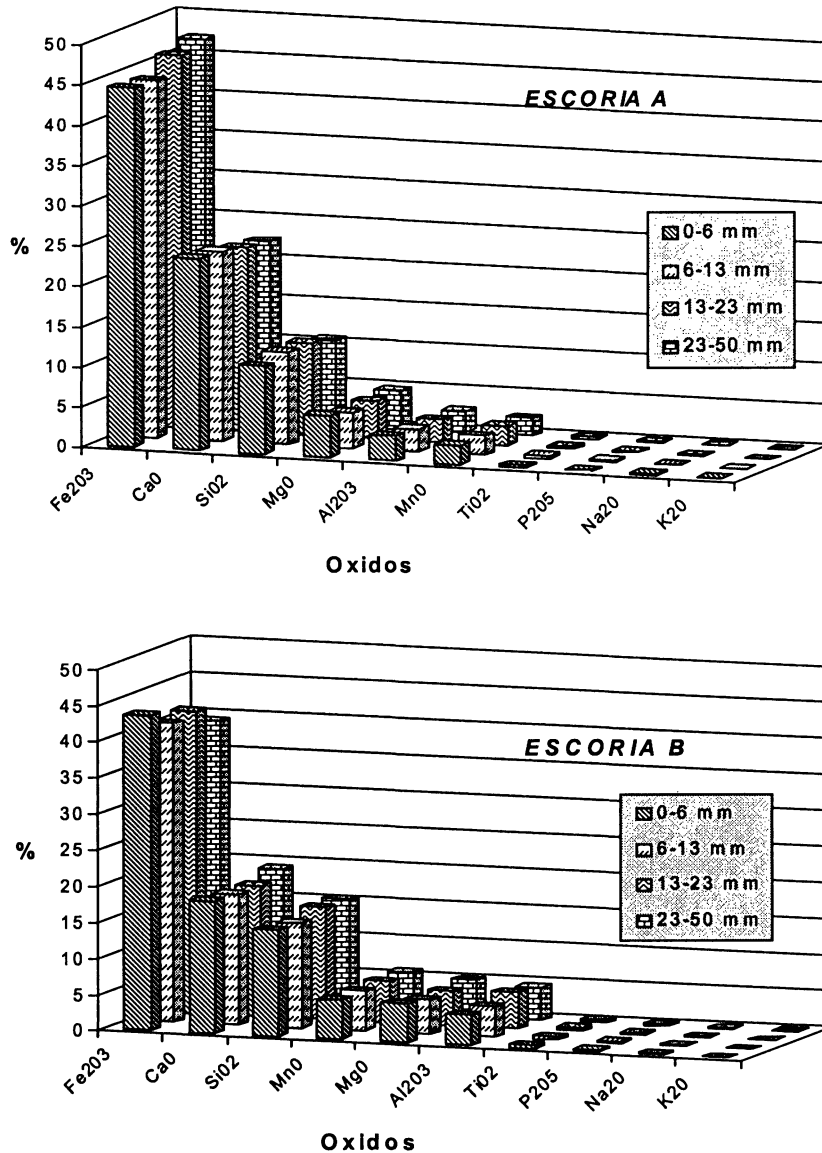


Figura 1.- Composición química de las escorias de acería (A y B) en las diferentes fracciones granulométricas.

rias negras de horno de arco eléctrico es muy diferente a la encontrada normalmente en las escorias de alto horno (2), utilizadas en la fabricación de cementos comerciales (Figura 2).

La Tabla II recoge las concentraciones de los compuestos nocivos en las diferentes fracciones granulométricas.

La proporción de cal libre obtenida en todas las fracciones granulométricas es muy baja, inferiores al 0,1%.

Los contenidos de sulfatos totales, expresados como SO_3 , no superan el 0,6%, valores inferiores al 1% recogido en la EH-99, y también son inferiores a lo especificado para el caso de sulfatos solubles (contenido máximo de 0,8%). Por este motivo, no fue necesario llevar a cabo la determinación cuantitativa de los contenidos de sulfatos solubles.

La cantidad de MgO no combinado en las diferentes fracciones granulométricas es muy baja, inferior al 1% en todos los casos.

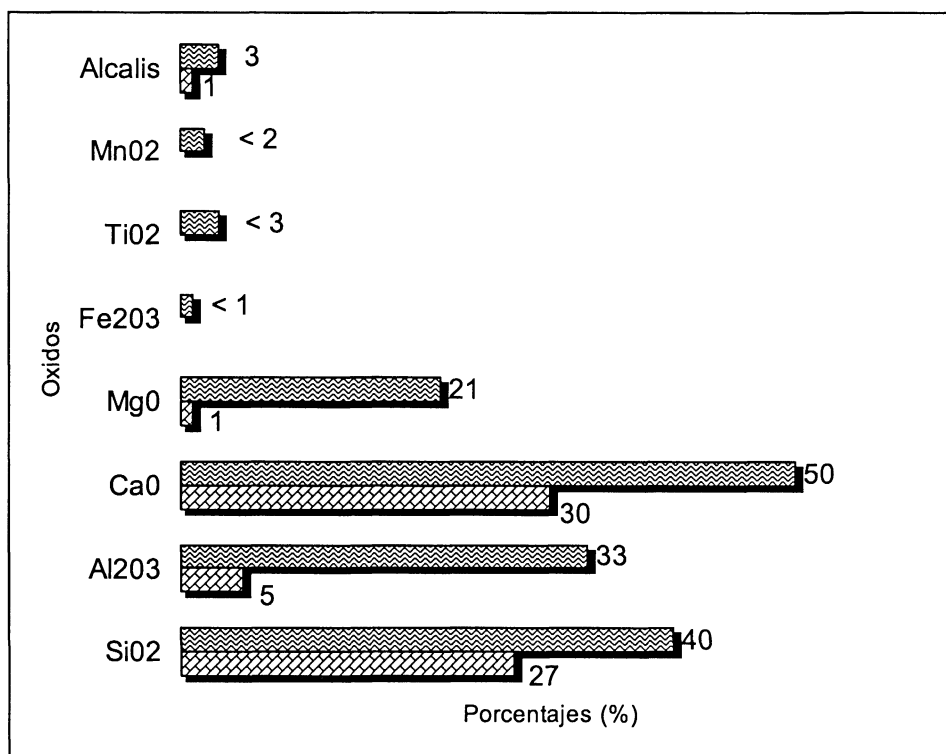


Figura 2.- Variación de la composición química de las escorias de alto horno.

TABLA II
Cuantificación química de los compuestos nocivos seleccionados

Escorias	CaO (%) libre	SO ₃ (%)	Cl ⁻ (%)	MgO (%) libre
A. 0-6 mm	0,09	0,57	0	0,9
A. 6-13 mm	0	0,35	0	0,9
A. 13-23 mm	0,06	0,29	0	0,8
A. 23-50 mm	0,09	0,19	0	0,8
B. 0-6 mm	0	0,13	0	0,8
B. 6-13 mm	0,06	0,14	0	0,5
B. 13-23 mm	0,06	0,15	0	0,8
B. 23-50 mm	0,03	0,12	0	0,6

4. CONCLUSIONES

Las siguientes conclusiones son:

1. Para una misma escoria, las distintas fracciones granulométricas presentan composiciones químicas similares, con leves diferencias en el contenido de Fe_2O_3 y CaO . Estas diferencias químicas aumentan cuando se pasa de una escoria (escoria A) a otra (escoria B).
2. Los compuestos nocivos analizados en la presente investigación (cal libre, sulfatos, cloruros) están presentes bien en cantidades despreciables o bien en cantidades muy inferiores a lo especificado en la instrucción EHE-99, en todas las fracciones granulométricas estudiadas.
3. Los contenidos de MgO no combinados en las escorias de arco eléctrico son también muy bajos, inferiores al 1%. De acuerdo con los estudios previos llevados a cabo por los mismos autores, este contenido de MgO libre está, principalmente, en forma vítrea (inofensiva) y no como cristales de periclasa.
4. El tamizado de las partículas de escoria negra no afecta a su composición química ni a los contenidos de los com-

puestos nocivos, por lo que se podrían utilizar cualquiera de ellas, disminuyendo así las posibles dudas de acumulación de un compuesto nocivo en una fracción granulométrica determinada.

Como resumen de los análisis químicos efectuados se puede decir que las concentraciones de los compuestos nocivos presentes en las 2 escorias negras estudiadas son despreciables, por lo que no deben causar ningún problema de inestabilidad en presencia de agua, cuando se utilicen como árido de reciclado. Estos análisis son puntuales y no se pueden generalizar a todas las acerías. Por esta razón, se recomienda llevar a cabo estudios de control para poder conocer la influencia de la calidad de las materias primas, proceso de fabricación, de enfriamiento, etc., en la composición química y contenidos de compuestos no deseados en las escorias negras.

5. AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a MINER por los fondos concedidos a Altuna y Uría, vía subvención ATYCA (referencia M218/1999), gracias a los cuales han podido solicitar los servicios al Instituto Eduardo Torroja (CSIC), Composites I+D y Labein.

BIBLIOGRAFÍA

- (1) Libro Blanco para la Minimización de Residuos y Emisiones, IHOBE, S. A., febrero 1999.
- (2) F. Puertas (1992). Escorias de alto horno: composición y comportamiento hidráulico, materiales de Construcción, n.º: 43 (229) 37-48.
- (3) H. F. W. Taylor (1997). Cement Chemistry, Thomas Telford Publishing, Thomas Telford Services Ltd, 2nd Edition, England.
- (4) R. Sersale (1992). 9th Inter. Congress on Chemistry of Cement "Advances in portland and blended cements", v. 1, pp. 261-303, New Dehli, India.
- (5) Norma Española UNE-EN 197-1 (2000). Composición, Especificaciones y Criterios de conformidad de los cementos comerciales.
- (6) J. T. San José (2000). Reutilización y valorización en obra civil de escorias de horno de arco eléctrico producidas en la C. A. P. V., Arte y Cemento, n.º: 1891, 124-126.
- (7) B. Bertil et al. (2000). Waste Materials in Construction, G. R. Woolley et al. (editors), Environmental impact of ferrochrome slag in road construction, vol. 1, pp. 247-249, Leeds, England.
- (8) S. Nagatataki et al. (2000). 5th Inter Conf. on Durability of Concrete, CANMET/ACI, V. M. Malhotra (editor), Effect of recycled aggregate concrete, v. I, pp. 51-71, Barcelona, España.
- (9) A. M. Fallman, J. Kartlen (1997). Utilization of electric arc furnace steel slag in road construction, In Falman, A. M., Characterization of residues release of contaminants from slag ash ashes. Diss. dpt. of Physics and Measurement Technology, Linköping University.
- (10) K. Sakata y T. Ayano (2000). 5th Inter Conf. on durability of Concrete, CANMET/ACI, V. M. Malhotra (Editor), Improvement of concrete with recycled aggregate, v. II, pp. 1089-1108, Barcelona, España.
- (11) J. T. San José, A. Uría (2000). Escorias de horno de arco eléctrico en mezclas bituminosas, Arte y Cemento, n.º: 1905, pp. 122-125.
- (12) R. Bollati, B. Witoszek, High Performance Porous Concrete (HPPC) for heavy traffic -First Spanish Experience. Concrete in the service of mankind. Dundee (Scotland), 23rd-28th, junio 1996.
- (13) R. Bollati, L. A. Solis. High Performance Porous Concrete (HPPC) for road traffic, 13th. International Road Federation (IRF) World Meeting, 1997, Toronto (canadá).
- (14) Instrucción Española de Hormigón Estructural (EHE) (1999), AENOR (Editor), Tomo 3, Madrid, España.
- (15) M. I. Sánchez de Rojas, M. Frías (1986). La espectrometría de emisión con fuente de plasma de acoplamiento. Materiales de Construcción, 36 (202), pp. 31-46.
