

## Innovaciones en la gestión y calidad de los revestimientos refractarios en la Compañía Siderúrgica Nacional (Brasil)

S.M. JUSTUS (\*), R.M. ANDRADE (\*), S. NASCIMENTO SILVA (\*\*), O.R. MARQUES (\*\*), J. M. RIVAS MERCURY\*\*\*\*),  
S. CAVA (\*), L.E.B. SOLEDADE (\*), I.M.G. SANTOS (\*), J. B. BALDO\*\*\*\*),  
C.A. PASKOCIMAS (\*), E.R. LEITE (\*), J.A. VARELA (\*), E. LONGO

\* - LIEC/CMDMC-Laboratorio Interdisciplinar de Electroquímica y Cerámica/UFScar/UNESP-Brasil.

\*\* - CSN – Compañía Siderúrgica Nacional - Brasil

\*\*\* - Centro Federal de Educacao Tecnológica do Maranhao – Brasil

\*\*\*\* - Departamento de Engenharia de Materiais – DEMA – UFScar - SP - Brasil

El trabajo describe acciones realizadas en conjunto entre la Compañía Siderúrgica Nacional – (CSN)-Brasil y el Laboratorio Interdisciplinar de Electroquímica y Cerámica – LIEC de la Universidad Federal de Sao Carlos Brasil (UFSCar) - Brasil, en el área de I&D, para la gestión y mejora de la calidad de los revestimientos refractarios en las áreas de sinterización, hornos altos, líneas de transferencia de aire caliente al horno alto, piqueras de arrabio, canales de colada, crisoles de horno alto, cucharas torpedo, etc., así como, el impacto económico generado por la implantación de las medidas adoptadas.

*Palabras claves: Gestión, Calidad, Revestimiento refractario, Siderurgia Brasileña*

**Innovation in the management and improvement of the quality in the refractory linings of the National Steel Company - (CSN)-Brazil.**

The work describes actions carried out in collaboration among the National Steel Company - (CSN)-Brazil and the Interdisciplinary Laboratory of Electrochemistry and Ceramic - LIEC of the Federal University of Sao Carlos Brazil (UFSCar-Brazil), in the area of I&D, for integral management and improvement of the quality and performance of the refractory linings in the sintering areas, blast furnace, hot air pipe lines transferency to the blast furnace, pig-iron ladles, running channels, blast furnaces hearths, torpedo car, etc., as well as, the economic impact generated by the installation of the adopted measures.

*Key words: Quality, Management, Refractories Lining, Brazilian Siderurgy*

### 1. INTRODUCCIÓN

La producción de acero a escala mundial, sigue aumentando lentamente, a pesar de las dificultades y crisis surgidas en algunas importantes zonas productoras, particularmente en el área del Pacífico. La tendencia global en la siderurgia mundial (con mayor énfasis en la Unión Europea), ha sido hacia la reducción progresiva de costos e incremento de la productividad. En todo caso este proceso sólo es posible si va acompañado de una mejora en el rendimiento de los materiales refractarios utilizados. Los refractarios requeridos deben poseer tres cualidades esenciales: elevada resistencia ante la corrosión, buenas propiedades termomecánicas y costo reducido. El desarrollo de materiales teniendo en cuenta estos factores de modo equilibrado exige un conocimiento profundo de los procesos de desgaste de cada tipo de material en cada instalación siderúrgica, con objeto de poder dimensionar y planificar correctamente la composición química, mineralógica y microestructural de los mismos<sup>(1-5)</sup>.

La Compañía Siderúrgica Nacional-CSN, es la empresa

precursora de la industrialización del Brasil, ya que inició en 1946 la producción doméstica de acero a larga escala, y es actualmente, el mayor complejo siderúrgico integrado de América Latina. Posee yacimientos mineros, unidades industriales, vías férreas y puertos propios para la realización de sus operaciones. Actualmente es el complejo siderúrgico líder en el mercado brasileño, con una capacidad de producción de 5 millones de toneladas anuales de acero bruto. En su planta industrial (Usina Presidente Vargas) en Volta Redonda, Estado de Rio de Janeiro, esta empresa produce laminados a frío y en caliente, galvanizados y chapas metálicas para atender a la industria automotriz, de construcción civil, embalaje de utilidades domésticas, de máquinas y equipos, tubos, etc. Es la única siderúrgica en el Brasil productora de hojalata y la primera en el mundo en volumen de producción de este material en una única planta.<sup>(3)</sup> El consumo total de refractarios, incluyendo todas sus unidades llega a alcanzar el valor de 20.997 t/año, que se distribuyen de la siguiente forma:

Equipamiento	Consumo de refractario
Sinterizaciones	120 ton/año
Hornos Altos	3.618 ton/año
Canal de colado	1.309 ton/año
Desulfuración	600 ton/año
Cucharas	2,18 kg refr./ton de acero 10.900 t/año
Convertidor LD	0,89 kg refr./ton acero 4.450 t/año
Total	20.997 t / año

Con el objetivo de mejorar el rendimiento de los materiales refractarios utilizados en planta, la Compañía Siderúrgica Nacional (CSN) y el Laboratorio Interdisciplinar de Electroquímica y Cerámica (LIEC) de la Universidad Federal de Sao Carlos, vienen desarrollando, desde 1989, una serie de proyectos de investigación, buscando la optimización del uso de los revestimientos refractarios en las distintas áreas de producción, así como, integrar cada vez más la selección y el control de dichos materiales dentro de la marcha operativa de las distintas unidades. En el presente trabajo se resumen los proyectos más significativos que se han llevado a cabo, así como los beneficios económicos alcanzados a raíz de la transferencia de los resultados obtenidos.

## 2. REFRACTARIOS EN LA PLANTA DE SINTERIZACIÓN

El aumento de la productividad de los hornos altos, plantea la necesidad de garantizar la cantidad y calidad del suministro de sinter. Para ello, es imprescindible evitar pérdidas en la producción de sinter por fallos en el revestimiento refractario de los Hornos de Sinterización.

La mezcla a sinterizar, al entrar en contacto con las elevadas temperaturas existentes en la boca del horno, se proyecta contra el revestimiento refractario de las paredes, debido a la crepitación de la hematita contenida en las mezclas. En esta región el mecanismo de corrosión está gobernado, fundamentalmente, por la velocidad de difusión del óxido de hierro y su ataque a la matriz rica en sílice del refractario. En la figura 1, se recogen las modificaciones de la microestructura y composición mineralógica asociadas a esta corrosión.

Las simulaciones de escorificación por el método dinámico, efectuadas en laboratorio, han permitido reproducir con fidelidad el proceso de corrosión presente en la planta industrial. Empleando como escorias sintéticas, mezclas de  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  y  $\text{CaO}$ , se ha comprobado que los refractarios de alúmina-mullita, sin sílice libre y con un estrecho rango en la distribución de tamaño de poro, son los materiales más adecuados para las Plantas de Sinterización. La transferencia de los resultados obtenidos en laboratorio al área industrial ha permitido una economía del orden de 5.336.000,00 US\$ a la CSN.

## 3. REVESTIMIENTO INTERNO DE LOS HORNO ALTOS

El estudio post mortem de los refractarios del horno alto nº 3, permitió comprobar la existencia de diversos mecanismos de ataque (fig. 2), que se producen individualmente, ó bien, de forma combinada, siendo los más relevantes:

### Ataque por ZnO:

Formación de fases de bajo punto de fusión por reacción entre el óxido de zinc, proveniente del mineral de hierro y la

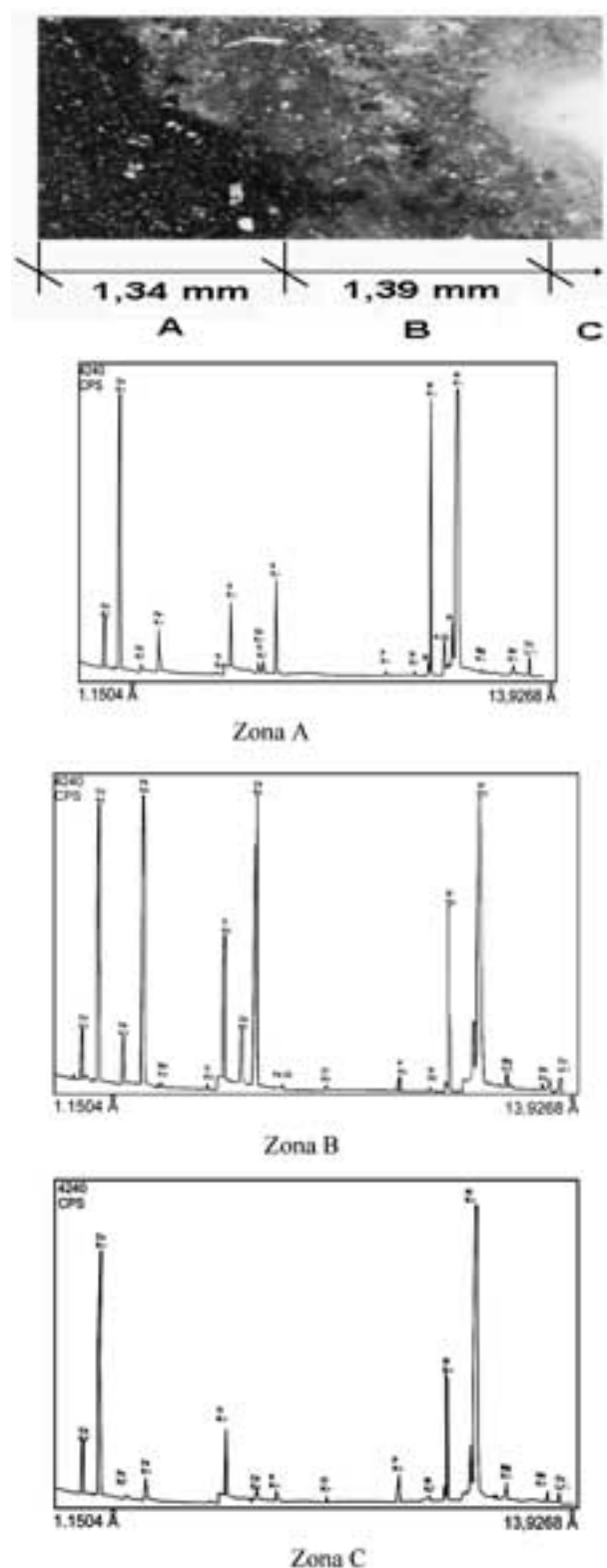


Fig. 1 - Espectros obtenidos por dispersión de longitud de onda (wds - wave dispersive scattering) de diferentes áreas de un material refractario después de su uso industrial. En la zona A se observa (Escoria Adherida) la presencia de picos intensos de Ca, Fe, provenientes de las materias primas, igual que picos de menor intensidad (Ti,P,Na,Mg) presentes como impurezas, y la presencia de Si tanto del ladrillo refractario como del mineral de hierro. En la zona B (Difusión de Escoria), puede notarse un aumento de la concentración de K y Si. En la Zona C (sin penetración de escoria) solo se observa la presencia de los constituyentes del material

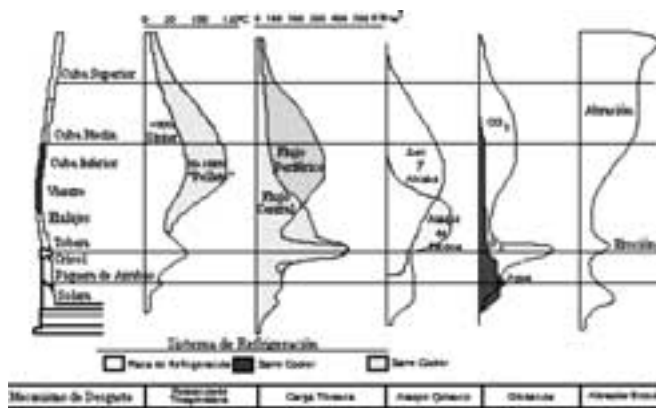


Fig. 2 - Importancia relativa de los distintos mecanismos de desgaste en las diferentes regiones del horno alto.



Fig. 3- Micrografía de la cara caliente del revestimiento mostrando la presencia de microgrietas en la superficie de ataque.

sílice libre presente en los refractarios aluminosos y silicoaluminosos.

Formación “in situ” de la espínela de zinc, por reacción entre el ZnO (gas) y alúmina presente en el refractario. Esta reacción va asociada a un notable incremento de volumen, que origina tensiones en el material y el desprendimiento de lascas, en su superficie.

#### Ataque por CO:

Oxidación de los materiales refractarios de SiC y Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>, por el monóxido de carbono, presente en la atmósfera del horno alto y la subsiguiente cristalización expansiva de silicio metálico y carbón.

#### Ataque por alcalinos:

Los óxidos alcalinos, procedentes de la carga del horno, reaccionan con los refractarios de alúmina o silicoaluminosos, originando la formación de compuestos de bajo punto de fusión y baja densidad. Ambos fenómenos conducen a la destrucción y corrosión del revestimiento<sup>(6)</sup>.

En el horno se producen también importantes procesos de desgaste (en ausencia de agentes químicos agresivos), debidos a la erosión producida por el descenso de la carga y su presión sobre la pared. Como consecuencia de los resultados obtenidos de los estudios post mortem, se introdujeron algunas innovaciones que permitieron reducciones significativas del coste del refractario en el horno alto que generaron una economía de 450.000 US\$/año, de las cuales cabría destacar:

Caracterización del hormigón refractario a emplear en el interior del horno, por medio de una planta robotizada.

Control de recepción de los materiales refractarios a utilizar en el horno alto. La implantación de ambas medidas supuso una economía para la CSN.

#### 4. REVESTIMIENTO DE LAS LÍNEAS DE TRASFERENCIA DE AIRE CALIENTE AL HORNO ALTO

El estudio post mortem del revestimiento refractario de sílice y silico-aluminoso del horno alto nº 3 de la CSN, ha permitido identificar el mecanismo de desgaste, caracterizado por la formación de fases de baja densidad, ricas en zinc, que originan fracturas en el material refractario. La figura 3 ilustra este proceso. Se han efectuado también simulaciones de transferencia de

calor, física y numérica, mediante termografía monitorizada. Ambos ensayos permiten concluir que el proceso de corrosión de las líneas de transferencia de aire caliente, es causado por la presencia de óxidos de zinc y hierro en los sólidos en suspensión contenidos en el gas de tragante del horno alto. La implantación en fabrica de los resultados desarrollados en el circuito global de aire caliente del horno, unidos a los estudios realizados sobre el aumento de la vida útil de los quemadores cerámicos de las estufas de los hornos altos generaron una economía del orden de 300.000,00 US\$/año.

#### 5. REVESTIMIENTOS REFRACTARIOS DE LAS PIQUERAS DE ARRABIO DE LOS HORNO ALTO

La reparación parcial del horno alto nº 3 de la CSN, incluyó la sustitución de las cuatro piqueras de arrabio. Para ello se realizaron ensayos comparativos en laboratorio de una serie materiales. La principal conclusión obtenida de estos ensayos fue:

- La necesidad de integrar la selección de la masa de piqueras a los materiales de taponamiento dada la interdependencia existente entre estos<sup>(1)</sup>. La evaluación de estos materiales no puede limitarse a la comprobación de la resistencia a los alcalinos, de acuerdo con la Norma ASTM C-454-77, ya que es insuficiente, siendo necesario complementarse con la evaluación de la degradación de sus propiedades mecánicas, que va asociada a la presencia de dichos alcalinos.

- Los refractarios basados en sillimanita, mostraron el peor comportamiento ante el ataque alcalino, debido a la formación de silicoaluminatos potásicos (caliofilita, y leucita), de bajo punto de fusión y baja densidad.

- Los materiales con grafito, dada su mayor conductividad térmica, presentaron un mejor comportamiento al choque térmico.

- La resistencia al choque térmico requiere también de una serie de estudios complementarios, de tipo microestructural y de medida de propiedades térmicas: conductividad, dilatometría etc.

- La implantación de los resultados del proyecto de mejora en la composición de las piqueras de arrabio (fig. 4) para las condiciones operatorias del horno alto de la CSN produjo, una ahorro de 150.000,00 US\$/año.

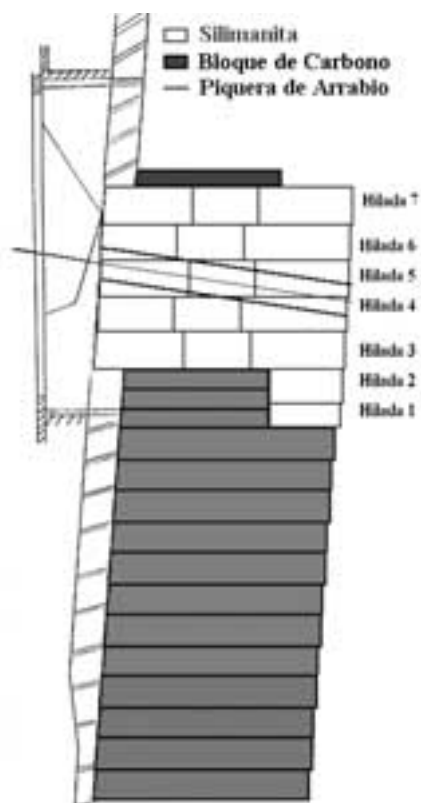


Fig. 4 - Proyecto de Revestimiento de las Piqueras de Arrabio.

## 6. REVESTIMIENTO DE LOS CANALES DE COLADA DE LOS HORNO ALTO

Dado el aumento de productividad de los hornos altos como resultado de los diferentes proyectos de I+D realizados y de las modificaciones introducidas en la CSN, fue necesario mejorar el funcionamiento de los canales de colada, para permitir circular, sin interrupciones ni caídas en la calidad, este mayor volumen de producción, para ello se analizaron las condiciones de trabajo y el proceso de corrosión de los refractarios del canal de colada.

Las escorias del horno alto incluyen,  $\text{CaO}$  y  $\text{SiO}_2$ , entre otros componentes que atacan el refractario. El proceso de corrosión pasa por la formación de compuestos de bajo punto de fusión, como gelhenita, anortita, pseudo wollastonita y sílice. Las fases líquidas formadas, son fácilmente removidas por la mezcla de escoria y metal líquido, generándose así una nueva superficie de reacción, tal y como recoge la figura 5.

Este proceso es el principal responsable del desgaste del revestimiento; no obstante, existen otros factores que pueden alterar sensiblemente el comportamiento del refractario, como son: las condiciones de flujo metal/escoria, la forma del canal y el grado de control de las curvas de secado y cocción de las masas refractarias que forman el Canal de Colada.

La identificación de los *Mecanismos de Desgaste y Especificaciones de los Refractarios para el Canal de Colada* y el *Desarrollo de Hormigones Refractarios con Bajo Contenido en Cemento* para ser utilizados en los canales de colada del horno alto, han permitido a CSN un ahorro anual estimado en 300.000,00 US\$

## 7. REVESTIMIENTO REFRACTARIO PARA CRISOL DE HORNO ALTO

Los principales mecanismos de desgaste de los crisoles de los hornos altos son: oxidación por agua, ataque por zinc, ataque por álcalis, ataque por escorias, sobrecalentamiento y penetración de arrabio<sup>(2)</sup>.

La oxidación por agua reduce el contenido de carbono en el refractario. La incorporación de zinc y alcalinos degrada el refractario, también el calcio procedente de las escorias ejerce el mismo efecto. El sobrecalentamiento conduce a un incremento en la generación grietas, lo que supone notables modificaciones de la microestructura, incrementos de la porosidad y reducción global de las propiedades mecánicas.

En la figura 6, se recogen los datos del microanálisis EDAX, de dos muestras procedentes de la cara caliente del revestimiento refractario del crisol del horno nº 3 de la CSN, en donde se puede observar el fenómeno arriba descrito.

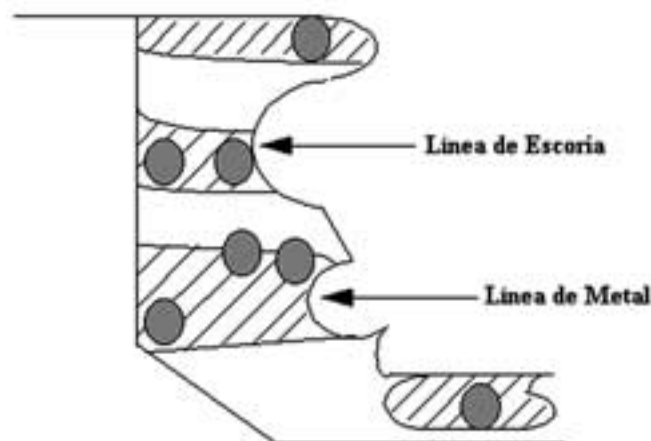


Fig. 5 - Zonas de Desgaste de la Sección del Canal de Colada.

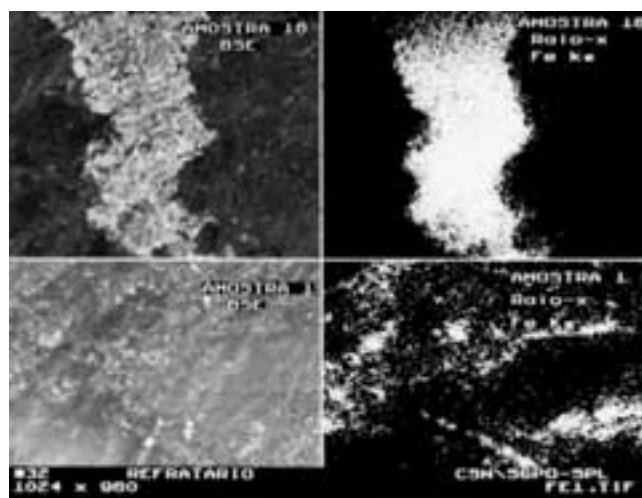


Fig.6 - Imagen de electrones secundarios (SEI) y análisis de distribución de los elementos químicos por EDAX. A la izquierda muestras # 1 y # 18 tomadas en la cara caliente del crisol del horno alto #3 de la CSN. A la derecha análisis de la distribución de los elementos químicos por EDAX, de las mismas muestras donde se detecta la penetración de Fe procedente del arrabio.



Los ensayos efectuados para estudiar los mecanismos de desgaste en el crisol han sido, análisis termogravimétrico, análisis químico, porosimetría de mercurio, picnometría de helio, microscopía electrónica de barrido. Tras los estudios efectuados por los investigadores del LIEC y de la CSN, mejoraron las condiciones de trabajo del crisol, lo que permitió prolongar la duración del revestimiento mas de cinco años, con algunas reparaciones localizadas intermedias y con una economía anual de 684.000,00 US\$. Para alcanzar los objetivos propuestos en este estudio se realizaron análisis de muestras de piqueras del crisol del horno alto nº 3; revestimiento de bloques de carbono a utilizar en el horno alto; deposición química de titanio en los bloques de carbono del crisol del horno alto nº 3, y desarrollo del proceso de revestimiento de bloques de carbono del crisol del horno alto.

## 8. REVESTIMIENTO DE LA CUCHARA TORPEDO

La utilización, por la CSN, de un nuevo agente desulfurante<sup>(7)</sup> basado en CaO y esponja de aluminio, alteró las condiciones de servicio de los refractarios de la línea de escorias de la cuchara torpedo, originando un incremento en el grado de corrosión, fenómeno que puede observarse en las microfotografías recogidas en la figura 7. El mecanismo de desgaste se estudio mediante análisis post mortem de los refractarios de  $Al_2O_3/SiC/C$  empleados en dicha zona y confirmado mediante simulaciones realizadas en un horno de inducción de alta frecuencia<sup>(8)</sup>.

Los estudios complementarios efectuados por análisis químico, DRX, porosimetría de Hg, microscopía óptica (figura 8) y microsonda acoplada al MEB (Figura 9), permiten justificar el siguiente mecanismo de desgaste:

- Oxidación del grafito y del carburo de silicio por los gases existentes en la cuchara torpedo y por la acción del óxido de sodio presente en la escoria.
- El proceso de oxidación origina un incremento en la permeabilidad del refractario, que va acompañado de la precipitación de sílice en la matriz del refractario.
- La matriz del refractario, rica en mullita, reacciona con el óxido de calcio de la escoria y con la sílice originada por la oxidación del SiC.

Este conjunto de reacciones generan de fases de bajo punto de fusión que aceleran el proceso global de desgaste del

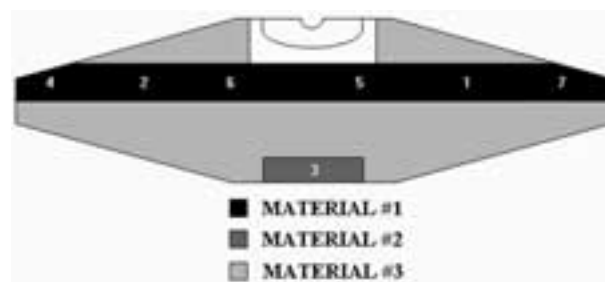
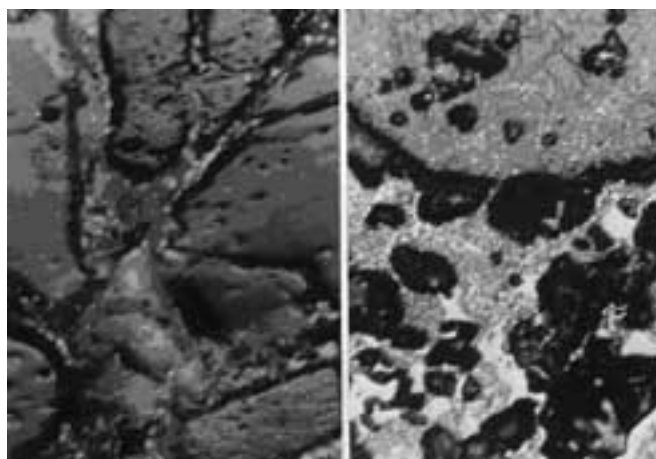


Fig. 7 – Revestimiento refractario de la cuchara torpedo de CSN y localización de las muestras estudiadas.



(a) antes del uso.

(b) después de pruebas industriales.

Fig. 8 - Microestructura característica del material refractario de la línea de la escoria de cuchara torpedo antes del uso y después de los ensayos industriales de desulfuración con CaO + esponja de aluminio (Microscopio Óptico con Polarización - Aumento 50X; Polarizador: 45°, Analizador: 90°).

revestimiento.

El uso de refractario más complejos, compuestos de:  $Al_2O_3$ , SiC, C y  $Mg_2Al_2O_4$ , más resistentes a la acción del nuevo agente desulfurante, mejoró el comportamiento de los revestimientos de las 22 cucharas torpedo de que dispone la CSN, asegurando la continuidad en el transporte del arrabio.

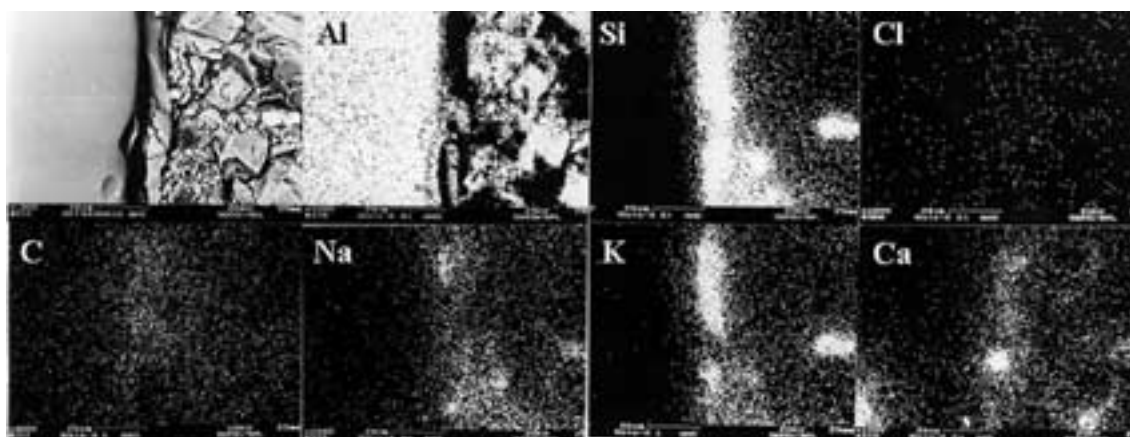


Fig. 9 - Imagen de la composición de la interface agregado/matriz del refractario obtenida por análisis de la distribución de elementos químicos por DRX, de C, Al, Na, Si, K, Cl y Ca de la Muestra 5 / Línea de Escoria – Cilindro.

Los proyectos desarrollados en la cuchara torpedero: *Identificación del Mecanismo de Desgaste y Especificaciones del Refractario para Revestimiento de Cucharas Torpedo; Caracterización, Desarrollo de un Proceso para Recubrir el Grafito Precipitado en la Cuchara de Acero y Efecto de la Desulfuración por Esponja de Aluminio sobre la Corrosión del Refractario de la Cuchara Torpedo*, han supuesto un ahorro global anual de 5,95 Millones US\$.

## 9. PROTECCIÓN DE REVESTIMIENTOS REFRACTARIOS DE CARBONO

La oxidación del carbono, presente en gran número de materiales refractarios, durante el calentamiento a altas temperaturas de dichos materiales, planteó el objetivo de desarrollar un recubrimiento cerámico, que redujese dicha oxidación. El producto desarrollado está formado por una mezcla de un fundente formada por partir de fosfosilicato de sodio, y sólidos basados en minerales arcillosos y sílice coloidal<sup>(5-6)</sup>. El comportamiento a la fusión de dicha mezcla se adapta a las curvas de calentamiento de los diversos equipos siderúrgicos, recubriendo con una película vítrea la superficie del revestimiento y inhibiendo la difusión de oxígeno hacia su interior.

Esta mezcla es adecuada tanto para los materiales tipo MgO-C como los que contienen  $Al_2O_3$ , SiC y C. Los análisis comparativos respecto de otros recubrimientos comerciales indican un mejor comportamiento del recubrimiento desarrollado por LIEC, dada su mayor adherencia al sustrato y su mayor mojabilidad.

El rendimiento económico es asimismo positivo si se considera no sólo el menor coste del revestimiento con relación a su mayor duración, sino las reducciones derivadas de la menor necesidad de mano de obra y aumento de la disponibilidad de los equipos siderúrgicos. El proyecto, *Desarrollo de un Recubrimiento Cerámico para Prevenir la Oxidación de los Refractarios con Carbono*, supuso una economía anual estimada en 450.000,00 US\$.

## 10. REVESTIMIENTO DE LOS HORNOS DE CAL

En los hornos de obtención de cal suelen utilizarse refractarios de magnesita-cromo debido a su alta resistencia a la corrosión y sus buenas propiedades termomecánicas.

La composición del mineral de cromo puede alterar la composición química de las espínelas formadas, en particular los elevados contenidos en sílice que generan una gran cantidad de fase líquida que reduce la refractariedad del material. Las figuras 10 y 11 explican este comportamiento.

La presencia masiva de CaO, altera la composición de las espínelas que precipitan como espínelas secundarias sobre la fase periclasa (MgO), produciéndose modificaciones en la microestructura que debilitan el material.

La formación "in situ" de espínela de magnesio por reacción entre MgO y  $Al_2O_3$  origina la formación de grietas, dado su carácter expansivo. Esta espínela es atacada a su vez por CaO, debido a la presencia de un eutéctico de bajo punto de fusión (1345-1370°C), generándose fases vítreas y la nucleación y crecimiento de fases como  $CaO \cdot 2Al_2O_3$ ,  $CaO \cdot Al_2O_3$  y  $3CaO \cdot Al_2O_3$ , que provocan una elevada variación dimensional. Este doble proceso es el responsable de la corrosión del refractario. Para evitar este problema se empleó un refractario de magnésita-espínela de aluminio magnesio  $MgO-MgAl_2O_3$ ,

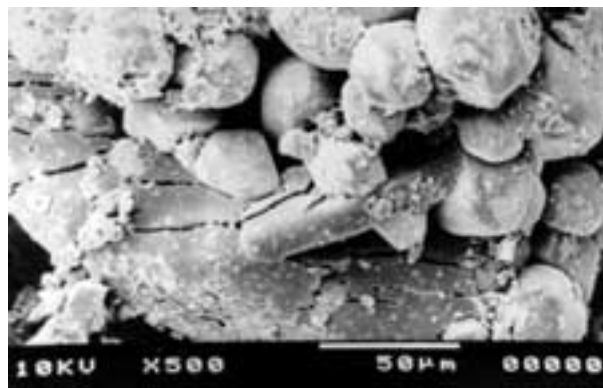


Fig. 10 - Micrografía, obtenida por MEB, del refractario de magnesita-cromita, después de la corrosión por calcio (500x), mostrando la presencia de grietas intragranulares resultantes, probablemente, de la formación de espínela de magnesio ( $MgAl_2O_4$ ), así mismo de cristales de cromato de hierro y aluminio, ferrita de calcio ( $CaFe_2O_4$ ), precipitados en la superficie de los granos de magnesita (MgO) y cromita ( $Cr_2O_3$ ).

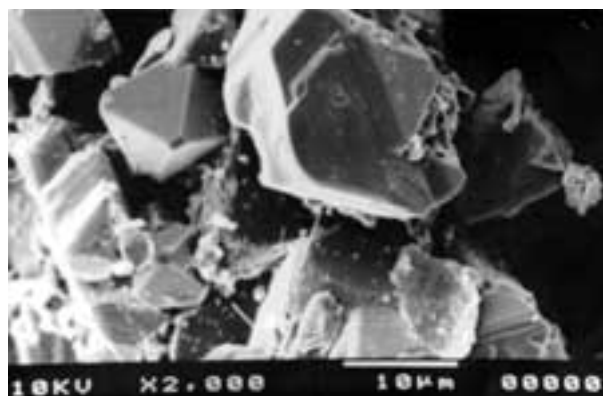


Fig. 11 - Fotomicrografía, obtenida por MEB, del refractario de magnesita-cromita, antes de sufrir el ataque alcalino (2000x), mostrando los cristales de MgO,  $Al_2O_3$  y  $Cr_2O_3$ .

más rico en MgO y con la espínela previamente sinterizada. El proyecto *Estudio Post Mortem de los Revestimientos Refractarios de los Hornos de Cal* y selección de refractarios para los mismos condujeron a un ahorro anual estimado en 2.5 Millones US\$.

## 11. PROYECTOS AMBIENTALES

El reciclaje de residuos es una de las principales soluciones tecnológicas para los problemas ambientales generados por las industrias. En estos últimos años, investigadores del LIEC y CSN desarrollaron técnicas para caracterización de residuos del proceso operacional de CSN, haciendo posible su utilización en el proceso siderúrgico o como materia prima para otras industrias.

Entre los proyectos desarrollados se pueden destacar los siguientes:

- Caracterización y desarrollo de un proceso para reutilizar el grafito precipitado en la cuchara torpedero.
- Reciclaje de arenas de fundición.
- Utilización de escoria granular de horno alto para producción de cemento.

- Bloques de hormigón basados en escoria granular de horno alto para construcción civil.
- Estudio de las propiedades hidráulicas de escorias de horno alto.
- Aprovechamiento de residuos industriales, ricos en hierro, provenientes de las unidades de recuperación de ácidos de acabado superficial, y de lodo fino de acería.

## 12. OTROS PROYECTOS REALIZADOS

Los investigadores del LIEC y CSN, desarrollaron proyectos de I & D, en diversas áreas de operación de la CSN, siendo los mas relevantes:

- Desarrollo de un refractario basado en MgO-C, para uso en la línea de escoria de cucharas de acero<sup>(9)</sup>.
- Identificación de los mecanismos de desgaste de los refractarios basados en MgO-C por medio de análisis de escoria<sup>(10)</sup>.
- Fabricación de filtros cerámicos para la producción de aceros especiales por colada continua.
- Estudio de la corrosión de bloques quemadores de la línea de galvanizado nº 2. Producción de ladrillos refractarios de MgO-C.
- Selección de refractarios de SiC, Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>. Resistentes al ataque alcalino para uso en horno alto. Selección de cerámicas (avanzadas) para revestimiento de silos, ciclones, etc.

La conclusión y ejecución de estos proyectos generaron una economía del orden de US\$ 2,176 millones por año, que sumados a otros proyectos alcanzan el valor total de US\$ de 14,765 millones al año.

Es importante destacar que en 1984, cuando la CSN, decidió iniciar proyectos de cooperación con distintos centros brasileños de I&D de alto nivel, se firmó un acuerdo entre la CSN y la UFSCar, siendo este uno de los contratos más fructíferos hasta ahora dentro de una nueva filosofía de cooperación Universidad – Empresa.

## 13. CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos como consecuencia de la ejecución del conjunto de proyectos de I+D desarrollados en conjunto entre el Laboratorio Interdisciplinar de Electroquímica y Cerámica (LIEC) de la Universidad Federal de Sao Carlos y la Compañía Siderúrgica Nacional (CSN) y su transferencia al área industrial, han generado un ahorro anual estimado en 14,765 Millones US\$ por año, lo que supone que a lo largo de los años de colaboración el ahorro total puede alcanzar los 70 millones US\$.

A partir del estudio de los mecanismos de corrosión de los revestimientos refractarios, ha sido posible dimensionar y especificar los revestimientos mas adecuados a las nuevas demandas derivadas de los cambios tecnológicos introducidos por la CSN, generando un aumento de productividad y mejor uso de las instalaciones industriales.

La estrecha colaboración entre Universidad-Empresa, ha permitido el desarrollo de estas nuevas tecnologías, lo que ha causado un gran impacto en un mercado con exigencias crecientes de calidad.

De los proyectos de I+D firmados desde 1984, entre la CSN y una serie de Instituciones de I+D Brasileñas los realizados en colaboración con la Universidade Federal Sao Carlos han alcanzado mejores resultados tecnológicos y económicos, sirviendo de modelo de cooperación.

Los proyectos de I+D desarrollados en conjunto UFSCAR-CSN, han permitido formar profesionales de diversas universidades y de centros brasileños, a la altura de las necesidades de un mercado a escala global.

## BIBLIOGRAFÍA

1. S.N. Silva, O.R. Marques, J.L. Silva, G.S. Matta, J.L.M. Vieira, R. Habesch, L.E.B. Soledade, C.A. Paskocimas, E.R. Leite, J.A. Varela and E. Longo – Nationalization of the Carbonaceous Mortar for Injection in the CSN's Blast Furnaces Hearths. C.N. REFRACTORIES special issues, V.5, 20-26(2001).
2. S.M. Justus, R. Magnani, F.F. Cruz Jr, I.M.G. dos Santos, F.N. Cunha, L.E.B. Soledade, M. Guerra, C.A. Paskocimas, E.R. Leite, J.B. Baldo, J.A. Varela, E. Longo, S.N. Silva, O.R. Marques – Refractory Lining of CSN's #3 Blast Furnace – A Post Mortem Case Study. Interceram V.50, No. 5, 2001.
3. <http://www.csn.com.br/portugues/institucional/index.htm>
4. I.M.G. Santos, S.S. Cava, C.A. Paskocimas, E.R. Leite, E. Longo, S.N. Silva, O.R. Marques and J.A. Varela – Mecanismo de Formação de Filme Espesso para Proteção de Refratários à Base de Carbono. CERAMIC NEWS, V.7, No.1, p.40-43, 2000.
5. I.M.G. Santos, S.S. Cava, R.M. Andrade, C.A. Paskocimas, S.M. Justus, E.R. Leite, E. Longo, S.N. Silva, O.R. Marques and J.A. Varela – Mecanismo de Proteção de Filme Espesso e Interação com Refratários de Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/SiC/C. CERAMIC NEWS, V.7, No.1, p.44-48, 2000.
6. L.A. Scudeller, E.Longo and J.A.Varela, Potassium Vapor Attack in Refractories Of The Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> System, J.Am. Ceram. Soc., 73(5), 1413-16 (1990).
7. S.M. Justus, R.M. Andrade, S. Nascimento Silva, O.R. Marques, L.E.B. Soledade, J.B. Baldo, E.R. Leite, C.A. Paskocimas, J.A. Varela, E. Longo. "Wear Mechanism of alumina/silicon carbide/graphite Refractories under the Action of a Dessulfurizing Agent Based on a Mixture Containing Calcium Oxide and Powdered Aluminum Top Dress", UNITECR 2001 Congress, Cancun, Quintana Roo, México, November 4-8, 2001.
8. S.N. Silva, O.R. Marques, P.A. Peixoto, C.A. Paskocimas, E. Longo and J.A. Varela, Slag Attack in High Alumina Refractories Used in Torpedo Car, Unitecr 93 Congress, p.1365-1371, São Paulo, Brazil, 1993.
9. W.S. Rezende, R.M. Stoll, S.M. Justus, R.M. Andrade, E. Longo, J.B. Baldo, E.R. Leite, C.A. Paskocimas, L.E.B. Soledade, J.E. Gomes and J.A. Varela – Key features of alumina/magnesia/graphite refractories for steel ladle lining. Journal of the European Ceramic Society, 20(2000) 1419-1427.
10. G. Corrêa Fo, F.D. Santos, J.A. Rodrigues, J.A. Varela and E. Longo, Dense Layer in MgO-C Refractory for Ladles, Unitecr 93 Congress, p.372, São Paulo, Brazil, 1993.

Recibido: 18.05.01

Aceptado: 08.01.02