

# TITULO: ESTUDIO POST MORTEM DE UN LADRILLO DE MAGNESIA-ESPINELA UTILIZADO EN LA ZONA DE CALCINACIÓN DE UN HORNO ROTATORIO DE CAL

Carlos Furlan – Refractarios Argentinos S.A.I.C.M - – Argentina  
Lourenço Machado Gontijo - Magnesita Refratários S.A. – Brasil  
Marcela Munhoz Monteiro Novo - Magnesita Refratários S.A. – Brasil  
Geraldo Eduardo Gonçalves – Magnesita Refratários S.A. – Brasil

## RESUMEN

Fue hecho un estudio Post Mortem de un ladrillo de magnesia-espinela utilizado en la zona de calcinación de un horno de cal, y que presentó un desgaste prematuro con desprendimiento de lajas en la cara caliente.

El estudio mostró que hubo infiltración de caliza, e impurezas de caliza ó del combustible, en los poros abiertos del ladrillo, con formación de una costra densa que se desprendió, probablemente debido a fluctuaciones en las condiciones operacionales del horno.

Se estima que la temperatura de formación de esta costra fue del orden de 1470 °C, lo cual fue determinado experimentalmente.

## INTRODUCCION

Tipo de horno: Rotatorio sin pre-calentador; longitud: 76 m, diámetro: 3,35 m, combustible: gas natural y/o gas de coquería, producción: 400 Tn/día de cal.

## DESCRIPCION DEL PROBLEMA

Durante un paro programado, se realizó una inspección del revestimiento refractario del horno, encontrándose ladrillos descabezados en una región de aproximadamente 5 m de longitud y a unos 6 m de la boca de salida. Se trataba de una región revestida con ladrillos básicos de magnesia-espinela. En la foto 1, se observa la región afectada.

Con las muestras de costra (ver foto 2) remitidas al Centro de Investigación, se realizaron diversos análisis, cuyos resultados se muestran en la Tabla 1.



**Foto 1. Zona del horno con ladrillos descabezados**



**Foto 2. Trozos de costra adherida al ladrillo, que fueron enviadas al Centro de Investigación.**

**Tabla 1 - Estudio de las costras enviadas**

	Costras			Ladrillo sin uso
	1	2	3	
DRX	CaO MgO C <sub>3</sub> A Ca(OH) <sub>2</sub> C <sub>3</sub> S βC <sub>2</sub> S	CaO MgO C <sub>3</sub> A Ca(OH) <sub>2</sub> C <sub>3</sub> S βC <sub>2</sub> S	CaO MgO C <sub>3</sub> A Ca(OH) <sub>2</sub> C <sub>3</sub> S βC <sub>2</sub> S	MgO MA M <sub>2</sub> S CMS
ANÁLISIS QUÍMICO - PHILIPS - MagiX PRO (%)				
P.F.	3,57	3,63	3,63	
SiO <sub>2</sub>	4,15	4,48	4,57	1,32
TiO <sub>2</sub>	0,19	0,18	0,16	
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3,28	3,22	3,03	6,52
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,01	0,00	0,01	
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,48	0,49	0,55	1,98
MnO	0,06	0,06	0,06	
CaO	82,33	81,15	82,14	0,48
MgO	9,30	10,29	9,27	88,7
Na <sub>2</sub> O	0,00	0,00	0,03	
K <sub>2</sub> O	0,00	0,00	0,00	
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,02	0,01	0,03	
ZrO <sub>2</sub>	0,02	0,02	0,01	
SO <sub>3</sub>	0,08	0,10	0,10	
CLORURO	0,00	0,00	0,00	
FLUORURO	0,09	0,00	0,04	-
CARBONO TOTAL	0,10	0,11	0,10	
SUMA (%)	100,10	100,11	100,10	
REL. MOLAR CaO / SiO <sub>2</sub>	21,25	19,39	19,24	

En la Tabla 1 se encuentran los resultados de las muestras de costra enviadas, las cuales poseen un elevado tenor de la fase mineralógica de CaO y menores de las otras.

La presencia de  $\text{Ca(OH)}_2$  se debe a la hidratación de la muestra después de la molienda debajo de  $45\mu\text{m}$ , para realizar el Análisis Químico y la Difracción de Rayos X ..

Con los datos obtenidos, se pudo establecer que el deterioro del revestimiento se debió al mecanismo de termoclase estructural, el cual se produjo básicamente por la infiltración de una fase líquida presente en la carga del horno.

El origen del líquido, podría explicarse a través de la presencia principalmente de  $\text{SiO}_2$  y  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , provenientes de alguna impureza arcillosa contenida en el material que alimenta el horno. No disponemos de datos químicos de la alimentación, por lo que no es posible determinar con certeza que proporciones relativas de materias primas dieron lugar a la infiltración. De acuerdo con los estudios, podría estimarse que, en el mecanismo de formación de líquido, pudo haber co-existido un período de sobrecalentamiento, que contribuyó al aumento de la cantidad de fase líquida, facilitando los cambios de fases mineralógicas que ocurrieron.

La infiltración de fase líquida sufrida por el ladrillo, finalmente ocasionó el descabezamiento, pues al alterarse sus propiedades físicas, aparece un diferencial en el coeficiente de expansión térmica, entre las dos capas, dando lugar a la fisuración de la pieza refractaria.

## PARTE EXPERIMENTAL Y RESULTADOS

Fue hecho un estudio de investigación para determinar la temperatura en que las impurezas infiltraron en los poros abiertos de la cara caliente del ladrillo y reaccionaron con las fases mineralógicas del ladrillo sin uso. La siguiente metodología experimental fue adoptada:

Fueron hechas pastillas cilíndricas ( $\Phi = 32\text{mm}$  y altura  $H = 27\text{mm}$ ) conteniendo caliza hidratada, las fracciones originales de los agregados del ladrillo y también se agregó impurezas de  $\text{SiO}_2$  y  $\text{Al}_2\text{O}_3$  al sistema. Fueron mezclados utilizando solución de ligante orgánico tradicional. El análisis químico del sistema estudiado fue exactamente igual al de las costras analizadas.

Las pastillas fueron prensadas en una prensa de laboratorio y enseguida fueron calcinadas a  $1000^\circ\text{C} - 5$  horas, para eliminación del  $\text{CO}_2$  de la caliza y prensadas nuevamente sin ligante, e inmersas en parafina para evitar la hidratación del  $\text{CaO}$ .

En la Tabla 2 se muestran los resultados de las pastillas después de varios tratamientos térmicos durante 5 horas a diferentes temperaturas, comparados con los resultados de la Tabla 1.

En el gráfico 1 fue colocada un área del DRX de algunas de las pastillas estudiadas comparativamente con el DRX de una de las costras estudiadas. En este gráfico se hace una comparación de la intensidad de la altura del pico de las líneas de  $\text{C}_3\text{A}$  de las muestras colocadas en el gráfico.

Un análisis más detallado del gráfico permite concluir que el DRX de la temperatura de 1470 °C es el que más se aproxima al DRX de las costras estudiadas.

**Tabla 2 - Tratamientos térmicos de las pastillas**

	Tratamientos térmicos					Costra recibida
	1000°C	1300°C	1400°C	1470°C	1500°C	
DRX	CaO	CaO	CaO	CaO	CaO	CaO
	MgO	MgO	MgO	MgO	MgO	MgO
	$\beta\text{C}_2\text{S}$	$\text{C}_3\text{A}$	$\text{C}_3\text{A}$	$\text{C}_3\text{A}$	$\text{C}_3\text{S}$	$\text{C}_3\text{A}$
		$\beta\text{C}_2\text{S}$	$\text{C}_3\text{S}$	$\text{C}_3\text{S}$	$\text{C}_3\text{A}$	$\text{C}_3\text{S}$
		$\text{C}_3\text{S}$	$\text{Ca(OH)}_2$	$\text{Ca(OH)}_2$	$\beta\text{C}_2\text{S}$	$\beta\text{C}_2\text{S}$
		$\text{Ca(OH)}_2$				$\text{Ca(OH)}_2$

La temperatura encontrada es muy coherente con la literatura técnica<sup>11</sup> que cita que la temperatura inicial de formación de líquido del punto invariante, eutéctico, del diagrama de equilibrio cuaternario CaO-MgO-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-SiO<sub>2</sub> donde coexisten las fases CaO-C<sub>3</sub>S-C<sub>3</sub>A-MgO y líquido, es 1395 °C. Probablemente la fluctuación operacional del horno ocurrió a una temperatura más elevada, en torno de 1470°C, lo cual aceleró el proceso de desgaste prematuro del ladrillo, con formación de costra y descabezamiento de la cara caliente del ladrillo.

La presencia de  $\beta\text{C}_2\text{S}$  en las muestras de la tabla 2, probablemente es debido a la descomposición peritética del  $\text{C}_3\text{S}$  originando  $\text{C}_2\text{S} + \text{CaO}$ , lo cual ocurre a 1250 °C, durante el enfriamiento de las pastillas y también durante el enfriamiento en el horno rotatorio.

## CONCLUSIONES

Probablemente las causas del desgaste prematuro del ladrillo de magnesia-espinela utilizado en el horno rotatorio sean debido a dos factores:

- Impurezas arcillosas en la caliza.
- Fluctuación (incremento), en la temperatura operacional del horno.

## REFERENCIA

1 – Phase Diagrams for Ceramists, Volume IV, figure 5476, publicado pela The American Ceramic Society

GRÁFICO 1

