

659.9430.043 = 6

## refractarios para hornos rotativos de cemento \*

JOSÉ M.<sup>o</sup> BALAGUER DE PALLEJÁ

de la Cía. Gral. de Asfaltos y Portland ASLAND

Amablemente invitado por el I. T. C. C. a tratar sobre refractarios, cumplo gustoso esta misión, si bien creo que mi actuación no será tan interesante como debiera ser, pues el mucho trabajo y, por tanto, el tiempo requerido para la puesta en marcha de unas nuevas instalaciones, no me ha permitido emplearme a fondo en este tema, como hubiese sido mi deseo.

Seguro que opinarán que no les digo nada nuevo, ya que el problema de los refractarios lo considero parecido al de los "anillos", en que cada uno juzga según su propia experiencia y, por lo tanto, hay casi tantas opiniones como experimentadores; pero, de todas maneras, trataré de encauzar el problema y, como de la discusión nace la luz, de entre todos saldrá tal vez alguna conclusión interesante.

No creo que el refractario constituye por sí sólo un problema; creo, más bien, que el problema es el horno en sí, es decir, el conjunto de materias que lo forman y lo hacen resistente, térmica, química y mecánicamente, y así podemos considerar que las paredes de un horno rotatorio están formadas, de adentro a fuera, por el revestido, el refractario, un aislante o no, según los casos (v. g.: sil-o-cel), y la chapa, que es la que proporciona rigidez suficiente al conjunto.

Considerado de esta manera, el refractario no es más que el intermediario entre el revestido, que en definitiva es el que debe soportar directamente el fuego, y la chapa; tanto es así, que si se pudiera formar un revestido directamente sobre la chapa, no haría falta el refractario, y prueba de ello es que se han

ensayado, en sustitución de las piezas refractarias normales, piezas hechas con clínker, que han dado ciertos buenos resultados químico-térmicos, pero deficientes mecánicamente.

Esta parte intermedia, es decir, el refractario en sí, es nuestro caballo de batalla, y acerca de él surge la pregunta: "¿Qué condiciones debe reunir?"

Ante todo, digamos que un refractario está siempre en desequilibrio químico con respecto al crudo que, en definitiva, produciría la costra de revestimiento y protección; pues, sin ésta, el refractario se destruye al poco tiempo. Esto nos lleva de la mano a la primera condición exigible a un refractario, y que, aunque parezca peregrino, es "un buen hornero".

Esta primera condición la consideramos indispensable, pero no suficiente ni mucho menos. Volveremos más adelante sobre el asunto del hornero y veamos ahora qué le ocurre a un refractario al ser calentado por la llama.

\* \* \*

En las cámaras de combustión se observa que, después de un cierto tiempo, los refractarios adquieren un cierto aspecto almohadado con bordes redondeados; algo así como un viejo sillón "capitonné". Este mismo aspecto tienen los refractarios de un horno de cemento en su zona de preparación, donde no se ha formado el revestido.

\* Ponencia presentada en los II Coloquios de Directores y Técnicos de Fábricas de Cemento. I. T. C. C., marzo de 1957.

Estudiemos este fenómeno:

Las piezas refractarias están unidas entre sí mediante un cemento más o menos apropiado, pero que siempre, una vez colocado, resulta de menor compacidad que aquéllas y, normalmente, tampoco su composición química es igual; por lo tanto, a elevadas temperaturas tienden a reaccionar. Esta reacción se complementa con la de las cenizas del carbón, normalmente de naturaleza más ácida, las cuales penetran en las juntas, dada la mayor porosidad de éstas, dando lugar a compuestos cristalinos, aumentando su volumen, rompiendo las aristas de la pieza refractaria y produciendo ese aspecto almohadillado de que hablábamos.

Si la junta hubiera sido prácticamente inexistente, y el cemento suficientemente compacto, las cenizas no hubieran ejercido esa acción y el refractario hubiese quedado sano, como ocurre a su superficie. De ello, se deduce que la "compacidad" tiene un valor importantísimo en la calidad de un refractario.

Pero todo tiene sus pros y contras; no podemos aumentar la compacidad por encima de ciertos límites; pues, aunque aumente su resistencia química, el refractario resulta vidrioso, frágil y estalla a cualquier cambio algo brusco de temperatura, haciéndolo en forma de lascas. Por eso, a veces, se ven a la salida de las enfriadoras piezas refractarias casi de la misma superficie que las colocadas en el horno, pero de espesor mucho menor. Naturalmente, este fenómeno se repite, y a las pocas veces que ello sucede, el horno se queda sin el suficiente refractario, la chapa se pone al rojo y sobrevienen las dificultades que todos conocemos.

Tanto es así, que un amigo mío me contó un caso que le había ocurrido: Se trataba de encender un horno, al cual se le había cambiado el refractario. Pensó el calentarlo solamente con leña, hasta que estuviera bien seco, y así se hizo poniendo de momento una pequeña cantidad de leña. Se prendió fuego, y a las pocas horas se comprobó que había desaparecido ya un centímetro de refractario aproximadamente, por haber estallado superficialmente, a pesar del poco calor que había sufrido. En vista de este primer resultado se

calentó el horno durante diez días, haciendo unos braseros en su interior a todo lo largo de él; y cuando, al parecer, estaba bien seco, se encendió con carbón. El resultado fue que se oyó un tableteo como de ametralladora y empezaron a salir por la enfriadora lascas de refractario que cubrían casi toda la parrilla (se trataba de un enfriador Fuller). Decidió continuar y procurar revestir el horno, lo que consiguió, empezando a funcionar normalmente a las pocas horas. El refractario en cuestión era demasiado compacto y como vidriado, y de resultas, no aguantó, a pesar de tener una composición química correcta. Al mes hubo que cambiarlo.

Pero no acabó aquí la cosa; el cambio prematuro de refractarios le cogió de improviso, pues se había retrasado el envío de los refractarios de recambio y no tenía los adecuados para la zona de calcinación. Había que volver a poner el horno en marcha cuanto antes (los Directores de fábrica comprenderán), y se decidió a poner refractarios de zona de preparación, de menor espesor y teóricamente de peor calidad; pero no estaban vidriados. A los dos días la chapa se puso al rojo; se convenció al hornero de que unos días en las canteras no le vendrían mal (se actuó sobre el primer factor apuntado), se revistió bien el horno y no puedo decirles más, pues hace ya más de tres meses de esto y, según mis noticias, el refractario todavía dura.

Todo esto nos lleva a considerar que la composición química de un refractario no es un factor único determinante de su calidad; que su estructura física y, mejor aún, mineralógica, tienen tanta importancia como la química, aunque dependen de ella, y que la compacidad o porosidad también es un factor que hay que tener muy en cuenta.

Influye en todo esto el proceso de fabricación del refractario, su granulometría y grado de cocción, las materias primas, la mayor o menor proporción de sílice libre, los porcentajes de óxidos férrico y cálcico, etc. Estos dos últimos óxidos tienen importancia, pues el primero aumenta la fusibilidad del refractario, y el segundo, si bien la disminuye, hace que la fase fundida sea más espesa, aunque menos viscosa.

Con todo esto parece que se podría redactar un Pliego de Condiciones para los refractarios de hornos de cemento, pero no debe ser tan fácil, ya que no tengo conocimiento de que exista en ninguna nación. Las normas DIN no lo incluyen y los refractarios normalizados, que pudiéramos considerar más parecidos, son los destinados a los altos hornos, siendo sus condiciones las siguientes:

Porosidad total < 27 %.

Resistencia a la compresión en frío > 200 kg/cm<sup>2</sup>.

La A. S. T. M., por lo menos en las ediciones que conozco, tampoco habla de refractarios para hornos de cemento, así que no podemos basarnos más que en nuestra propia experiencia.

Creo que todos estaremos de acuerdo en que un refractario con menos del 40 % de alúmina no parece apropiado para una zona de calcinación de un horno rotatorio. Pero desde ese 40 % al 65 %, que es el tipo normal más alto en alúmina (se puede pasar de este tanto por ciento, pero se trata ya de refractarios de tipo especial), hay una gama de composiciones donde escoger.

Ya hemos dicho que, en definitiva, es el material crudo el que resiste al fuego, al formar la costra protectora por su reacción con el refractario, tomando también parte en ella las cenizas del carbón y, en casos, las partículas de carbón que pueden caer en el crudo antes de ser quemadas, como es fácil que ocurra en un momento de molturación defectuosa del carbón, máxime si es de poco contenido en materias volátiles.

Esto nos lleva a hacer algunas consideraciones sobre el revestido de los hornos.

El revestido de un horno puede considerarse como una escoria de "alto horno" de tipo infusible, por su riqueza en óxido cálcico. Tanto es así que, con la escoria resultante de un lecho de fusión previamente calculado, se obtiene fundición gris, como sucede en el caso del horno "Basset", en que la escoria tiene la composición del clínker de cemento portland.

Tuve ocasión de comprobar y experimentar este extremo durante una temporada, en la que trabajé con dicho horno. Por lo tanto, las consideraciones generales sobre las escorias pueden valer también, a mi entender, para los revestidos de los hornos, por lo menos como una buena orientación.

La fluidez de una escoria depende directamente de la relación entre la sílice más la alúmina, y la cal; es decir:

$$\frac{\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3}{\text{CaO}}$$

Este tipo de expresión (índices) se había utilizado antiguamente para caracterizar un cemento portland, considerando éste como una escoria, y fué abandonado por su inverso (módulos).

Cuando el índice citado adquiere un valor de 1, aproximadamente, las escorias, al enfriarse, pasan rápidamente de líquido a sólido, tomando forma pétreo con fractura terrosa. Al aumentar el % de CaO, las escorias se vuelven espesas, pero no "filantes", y se autopulverizan al enfriarse. Las escorias muy espesas se pegan a las paredes, y las muy fluidas destruyen los refractarios. La viscosidad de una escoria aumenta con su contenido de alúmina y disminuye con su contenido de óxido férrico y magnésico.

En atmósfera reductora, el óxido férrico, que pasa a ferroso, forma con la sílice compuestos de punto de fusión muy bajo, incluso inferior a 1.000° C.

Todos estos datos nos permiten reflexionar sobre los fenómenos del revestido, que tiene como límites, a mi entender, desde la destrucción del refractario por falta de revestido, hasta el taponamiento del horno por formación de anillo, pasando por un exceso de revestimiento.

\* \* \*

Hemos hablado de los compuestos que forman la sílice y el óxido férrico en atmósfera reductora, los cuales funden a relativamente baja temperatura, y, desde luego, muy inferior a la de clinkerización; la fase líquida formada es muy poco viscosa y, pudiéramos decir, lu-

brica al refractario, con lo que el crudo, ya a medio cocer, resbala y no voltea, corroyendo el refractario rápidamente. Como es comprensible, el hornero tiene la máxima influencia en este fenómeno; pues, si conduce bien la combustión y suprime las atmósferas reductoras, ha dado ya un gran paso en la conservación del refractario. Por la misma causa tiene una influencia nociva la pulverización defectuosa del carbón, ya que las partículas gruesas caen antes de su combustión completa y forman núcleos reductores en la masa del crudo. Un carbón con bajo contenido de volátiles tiene tendencia a agravar el fenómeno y, por eso, debe ser molido mucho más fino.

\* \* \*

Estos compuestos, fácilmente fusibles, pueden producir dos fenómenos totalmente contrarios, pero siempre perjudiciales. Primero, la corrosión del refractario, de tal manera, que he podido comprobar en una ocasión el paso de la alúmina del refractario al clínker producido, disminuyendo su módulo silíceo: de dos hornos paralelos, trabajando con el mismo crudo, el mismo carbón molido en un molino común a ambos y, por lo tanto, a la misma finura, y absorbiendo el crudo en ellos el mismo % de cenizas, uno tenía tendencia a formar un revestido grueso, y en el otro se corroían los refractarios de manera alarmante. El clínker obtenido en el segundo tenía siempre un módulo silíceo menor. ¿De dónde procedía la alúmina? Del refractario. Se resolvió la cuestión poniendo a punto el tiro de los hornos y modificando ligeramente el crudo.

Si en un momento determinado se produce el fenómeno que acabo de señalar, en un horno bien revestido el revestimiento aumenta, y, si por las condiciones de la combustión el fenómeno se localiza en una zona determinada, se formará anillo. Creo que ésta es una de las causas, posiblemente no la única, de la formación de esos anillos tan molestos, y de los cuales nos habló magistralmente en los anteriores Coloquios mi buen amigo Manuel de los Santos.

Estos revestidos gruesos y los anillos, normalmente se autopulverizan al enfriarse. Lo considero debido a la retrogradación del silicato bicálcico, de la forma  $\beta$  a la  $\gamma$ , pues siem-

pre he comprobado que, cuando esto ocurre, falta el óxido cálcico suficiente para actuar como estabilizador del silicato bicálcico.

Volviendo a los refractarios, creo que, con todo lo que acabo de exponer, lo único que habrá conseguido es desorientar, más que otra cosa, y es que difícilmente puede predecirse el comportamiento de un refractario por ensayos previos y que puedan realizarse en un laboratorio de fábrica.

\* \* \*

Los ensayos que he venido practicando son los siguientes: análisis químico; determinaciones de: peso específico real, peso específico aparente, absorción de agua, % de poros abiertos, % de poros cerrados, porosidad total.

Además de esto, se procede a hacer una prueba muy empírica y poco científica, pero que suele dar bastante orientación. Es la prueba del soplete: con un soplete de soldadura autógena y boquilla núm. 7 (el número de la boquilla es arbitrario, pero conviene utilizar siempre la misma) se ataca el refractario en un punto durante un minuto, y se observa lo que pasa. Hay refractarios que tienen partículas que se ponen al rojo blanco y funden muy poco, esparciéndose la fase fundida en forma radial (suelen ser buenos, si no se agrietan). En otros, al fundir, se acumula la fase fundida formando un reborde que sobresale de la huella dejada por el soplete (suelen ser aceptables). Otros funden francamente con desprendimiento de gases; la fase fundida da la sensación de hervir (suelen ser de inferior calidad).

Una vez fríos, se mide la profundidad de la huella obtenida, lo que da una indicación de lo que se puede esperar. Así, si la huella penetra menos de 8 mm, el refractario es resistente; para penetraciones de 8 a 10 mm, el refractario es suficientemente bueno; penetraciones entre 10 y 12 mm, las considero un límite aceptable. Hay refractarios que llegan a los 15 mm de profundidad de huella y los considero inaceptables.

El cuadro que exponga presenta algunos resultados de esta prueba, en relación con los ensayos de laboratorio.

## ANÁLISIS DE REFRACTARIOS

		Núm. 1	Núm. 2	Núm. 3	Núm. 4	Núm. 5
SiO <sub>2</sub> .	=	29,40 %	48,32 %	52,13 %	55,46 %	39,16 %
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> .	=	58,93 %	42,58 %	40,90 %	36,93 %	55,08 %
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> .	=	7,80 %	2,41 %	3,98 %	4,54 %	1,98 %
CaO.	=	1,69 %	1,20 %	1,59 %	1,14 %	1,29 %
MgO.	=	0,48 %	0,59 %	0,52 %	0,52 %	0,75 %
Peso específico.	=	2,97	2,61	2,56	2,57	2,82
Peso específico aparente.	=	2,00	2,07	2,05	2,07	1,97
Absorción de agua.	=	16,50 %	10,30 %	9,60 %	9,30 %	14,50 %
Poros abiertos.	=	33,00 %	20,70 %	19,70 %	19,00 %	29,00 %
Poros cerrados.	=	0,00 %	0,30 %	0,30 %	—	1,00 %
Porosidad total.	=	33,00 %	21,00 %	20,00 %	19,00 %	30,00 %
<b>Prueba al soplete:</b>						
Profundidad de la huella.	=	14,6 mm	13,2 mm	10,6 mm	10,2 mm	15,0 mm

Observando los datos contenidos en él, se ve que la porosidad tiene una gran influencia en el comportamiento del refractario a la prueba del soplete, y así tenemos que el núm. 1, con un % de Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> del 58,93 y una porosidad del 33 %, da una huella de 14,6 mm de profundidad, y el núm. 5, de composición análoga, pero con mucho menor % de Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, también da una huella del mismo orden; en cambio, otros con menor % de Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, pero más compactos, dan huellas menores.

Como ya hemos dicho, esta prueba no da más que una orientación; pero, de todas maneras, no creo sea despreciable.

Y con esto, señores, termino; no he llegado a ninguna conclusión de tipo definitivo, pero espero haber sentado algunos principios sobre los cuales se pueda trabajar y, posiblemente, llegar a poder redactar unas condiciones mínimas a cumplir por los refractarios, lo que redundaría en beneficio de todos.