

Refractarios ligeros*

DEMETRIO ALVAREZ-ESTRADA
Investigador Científico

RESUMEN

Después de describir las principales ventajas del empleo de los refractarios ligeros, el autor trata de su clasificación y normalización, y discute los métodos de fabricación, las propiedades térmicas y los usos generales.

Se estudian con algún detalle los aspectos prácticos de la producción, y se señalan las relaciones existentes entre las variables de fabricación y las propiedades de los productos terminados.

Con el fin de mostrar el efecto de los refractarios aislantes sobre la pérdida y el almacenamiento de calor, se presentan en forma de diagramas los gradientes de temperatura medidos en varias paredes compuestas. Se relaciona el comportamiento térmico de tales refractarios en hornos continuos y discontinuos con la eficiencia de operación.

SUMMARY

After describing the main advantages of using lightweight refractories, the author deals with their classification and standards, and discusses the fabrication methods, the thermal properties and the general uses.

The practical aspects of fabrication are studied with some detail, and the relationships between manufacturing variables and properties of the finished products are pointed out.

The temperature gradients across several composite walls are shown in diagramatic form, in order to make apparent the effect of the insulating refractories on heat loss and heat storage. The thermal behaviour of such refractories in both periodical and non-periodical kilns are related to operating efficiency.

I. Introducción.

Hasta el año 1930 los hornos y las mufas de todos los tipos se contruyeron casi exclusivamente y a veces totalmente, con ladrillos refractarios densos o bien

(*) Conferencia pronunciada durante la VI Semana de Estudios Cerámicos, organizada por la Sociedad Española de Cerámica, y celebrada en Valencia entre los días 11 y 15 de mayo de 1964.

combinando éstos con ladrillos de construcción ordinarios. El aislante térmico, cuando se usaba, era de tipo del kieselguhr en polvo o en forma de ladrillos, o combinaciones de carbonato de magnesia y asbesto en forma de placas. Este tipo de aislamiento se aplicaba para recubrir los refractarios exteriormente con objeto de reducir la temperatura de la superficie exterior de las estructuras (1).

Con el avance en los métodos de calentamiento, desde la cocción a mano, con carbón o con fuel sólido, hasta la alimentación automática empleando aceites (gas-oil y fuel-oil), gas y electricidad, pasó a ser un factor importante el valor de la capacidad térmica de las paredes de los hornos, que ha de tender a ser mínima para elevar el rendimiento térmico de los mismos, especialmente en los hornos de temperatura variable y en los intermitentes.

Se observó que los materiales aislantes térmicos naturales poseían una estructura celular y los experimentos realizados con refractarios de arcilla hechos porosos, condujeron a la explotación comercial de los primeros refractarios ligeros de baja densidad, útiles para trabajar en contacto directo con las atmósferas de los hornos.

Los primeros ladrillos aislantes solamente eran aptos para colocar detrás de las paredes refractarias propiamente dichas, pues su cara caliente no podía trabajar a más de 1000°C. Actualmente ya se fabrican ladrillos refractarios aislantes, capaces de resistir a las altas temperaturas manteniendo una capacidad calorífica y una conductividad térmica aproximadamente un tercio menores que las de los ladrillos refractarios normales, y una refractariedad por lo menos igual a la de estos últimos (2). Algunos de ellos, pueden utilizarse en contacto directo con los gases calientes, hasta más de 1.700 °C.

Es inútil insistir sobre las ventajas de tales aislantes térmicos refractarios: el peso y el espesor de los muros y bóvedas de los hornos se reducen considerablemente y las pérdidas de calor a través de las paredes disminuyen sensiblemente. Por último, la cantidad de calor almacenada en la obra muerta es mucho menos importante, lo que permite que un horno construido con estos materiales llegue más rápidamente a su temperatura de régimen y, si es discontinuo, se enfríe igualmente mucho más deprisa que un horno construido con materiales densos. Esta débil acumulación del calor, debida a la menor masa presente, pasa a ser a alta temperatura la característica preponderante de una pared aislante del calor, pues como es bien sabido, el poder aislante decrece con la elevación de temperatura. El aumento de coste de todos los combustibles aceleró considerablemente el uso de los refractarios aislantes en los últimos quince años y actualmente la producción de modelos normalizados asciende a muchos millones de piezas por año.

II. Clasificación y normalización.

Durante muchos años, los Estados Unidos de América fueron los únicos en tener una clasificación de los ladrillos aislantes refractarios, basada en la densidad y post-contracción de los mismos durante un tiempo y un margen de temperaturas determinadas. Hoy existen ya clasificaciones en otros países, pero aquí nos limitaremos a señalar la clasificación americana por ser la más extendida, ya que de Europa, únicamente Inglaterra los ha clasificado y normalizado recientemente.

La American Society for Testing Materials (Normas A. S. T. M.), clasifica estos materiales en dos grandes grupos:

1) Los materiales aislantes térmicos o calorifugantes, que comprenden los diferentes aglomerados de cemento a base de lana de vidrio o de lana mineral, de amianto, de magnesita, de vermiculita o de diatomita y cuyas normas están establecidas bajo la jurisdicción del Comité A. S. T. M. C-16. Estos productos se utilizan principalmente a baja temperatura, hasta un límite máximo de unos 900°C.

2) Los materiales refractarios aislantes, cuyas normas las fija el Comité A. S. T. M. C-8 (Refractarios) y cuya clasificación, que damos en la tabla siguiente, está basada sobre su densidad y su estabilidad de volumen después de un mantenimiento prolongado a una temperatura dada:

CLASIFICACION DE LADRILLOS AISLANTES REFRACTARIOS

(A. S. T. M., designación C 155-47)

Grupo N.º	Post-contracción menor del 2 % des- pués de recocerlos 24 horas a °C	Densidad inferior o igual a	Temperatura límite de empleo. °C
16	870	0'54	870
20	1.065	0'64	1.065
23	1.230	0'76	1.230
26	1.400	0'83	1.400
28	1.510	0'96	1.510
30	—	—	1.600

Estas dos características (densidad y estabilidad en caliente), son desde luego primordiales para los refractarios aislantes. La densidad asegura un orden de

magnitud del poder aislante y de la resistencia mecánica, y la constancia de dimensiones en caliente garantiza la estabilidad del material con tal de que su temperatura límite de utilización no sea sobrepasada.

Dejando a un lado los calorífugantes, que son aislantes térmicos para baja temperatura, nosotros separaremos los materiales refractarios aislantes del segundo grupo en otros dos grupos, lo que nos permitirá hacer una exposición más clara y de más fácil comprensión:

a) *Aislantes ordinarios o semi-refractarios*: En este grupo se pueden incluir materiales tales como los ladrillos fabricados a base de diatomita, perlita, cenizas volantes o vermiculita, aglomeradas con una arcilla refractaria. Su resistencia pirosfópica varía entre 870° y 1230°C.

b) *Productos refractarios aislantes*: Estos productos se fabrican generalmente con las mismas arcillas refractarias que se utilizan para los productos refractarios densos. Su resistencia térmica varía entre 1200° y 1750°C y su contenido en alúmina llega a veces hasta el 45 por 100. Dada la calidad de estas arcillas se pueden emplear estos productos hasta temperaturas mucho más elevadas que los productos anteriores, pero es evidente que, para una misma calidad de arcilla, la densidad de los productos utilizables, por ejemplo, hasta 1450°C, habrá de ser superior a la de los productos que se puedan utilizar hasta 1200°C, si se quiere asegurar una resistencia mecánica suficiente en la parte del producto que ha de soportar la máxima temperatura.

III. Métodos de fabricación.

Actualmente hay una considerable demanda de materiales para aislamiento térmico a alta temperatura: Los métodos para obtener dichos materiales de alta porosidad se pueden clasificar en la forma siguiente (3):

a) **INCORPORACIÓN DE MATERIALES LIGEROS NATURALES O PREPOROSIFICADOS ARTIFICIALMENTE.**—Entre los naturales, quizá el primero que se ha empleado sea la tierra de diatomeas o *diatomita*; su porosidad natural hace de ella una excelente materia prima para la preparación de materiales aislantes de temperatura media, hasta 1000°C, bien cortándola directamente en forma de bloques o bien mezclándola con arcillas para fabricar ladrillos diatomáceos por prensado seco.

La *perlita* es una roca volcánica vítrea, que pertenece al grupo de las riolitas formadas de feldespatos y cuarzo, y que contiene aproximadamente un 5 por 100 de agua. Debidamente molida y granulometrada y sometida a un tratamiento térmico apropiado, forma pequeñas esferas huecas de vidrio; es decir, si su

deshidratación se conduce adecuadamente se obtiene un producto expandido y muy ligero, que aglomerado con una arcilla refractaria permite obtener ladrillos de densidad 0'25, cuya resistencia pirosfópica es de unos 1450°C, pero cuyo empleo está limitado a unos 900°C a causa de la gran contracción que sufren por encima de esta última temperatura.

Las *cenizas volantes*, convenientemente enfriadas para darles una estructura globular y aglomeradas con arcilla, dan productos aislantes más o menos refractarios según la naturaleza de la arcilla y de las propias cenizas. Los más refractarios de estos productos pueden usarse hasta unos 1050°C, pues a más temperatura se deforman rápidamente.

También se fabrican productos aislantes siliciosos con cenizas de cascarilla y de paja de arroz, con las que se obtiene una estructura celular muy fina, de tridimita casi pura; su límite de utilización varía según la calidad, entre 1000° y 1300°C, con coeficientes de conductividad térmica del orden del de los buenos aislantes sílico-aluminosos.

Las *vermiculitas* son silicatos magnésicos micáceos hidratados de composición variable, que debidamente calentados aumentan unas veinte veces su volumen original. Su deshidratación ha de ser bien llevada para evitar la formación de polvo si es muy brusca, o una mala expansión si es insuficiente. La vermiculita expandida, previamente saturada con almidón o dextrina para asegurar la separación de las capas, se aglomera con una arcilla, se moldea y se cuece para la obtención de bloques aislantes que se pueden emplear hasta 1100°C. Los productos de vermiculita ofrecen características particularmente interesantes, como son su débil densidad ($d = 0'4$) y su bajo coeficiente de conductividad térmica ($\lambda = 0,16 \text{ Kcal} \cdot \text{m} \cdot \text{m}^{-2} \cdot ^\circ\text{C} \cdot \text{h}^{-1}$) siempre que hayan sido convenientemente fabricados. Su empleo como aislante térmico abarca usos muy diversos, hasta unos 1100°C, especialmente en metalurgia, para el revestimiento de cubiertas móviles de hornos de tratamientos térmicos.

Los *minerales del grupo de la silimanita*, que son la silimanita, la cianita y la andalucita, cuya composición química general es $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{SiO}_2$, cuando se calientan a unos 1300°C descomponen en mullita y sílice libre, expandiéndose y aumentando su volumen en un 16 a un 23 % con el consiguiente desarrollo de porosidad. Su alta refractariedad y su hinchamiento espontáneo los hace útiles para la fabricación de ladrillos aislantes de alta temperatura, mediante mezclado con una pequeña cantidad de arcilla plástica refractaria y un material combustible, en polvo, para aumentar la porosidad. La mezcla se puede moldear por prensado en seco y cocer a 1400°C. Estos refractarios aislantes se pueden emplear hasta unos 1450°C, en contacto con la atmósfera del horno.

b) **ADICIÓN DE COMBUSTIBLES Y MATERIALES VOLÁTILES.**—La mayoría de los refractarios aislantes para emplear a temperaturas hasta 1000° ó 1100°C, todavía se fabrican actualmente mezclando una arcilla apropiada con un material combustible, por ejemplo, corcho en granos de 0'5 a 1 mm., que da poro medio de 0'7 mm. Hay tres métodos útiles para moldear las mezclas resultantes: 1) El moldeado en húmedo por apretón. 2) El proceso de extrusión en pasta dura. 3) El prensado en seco y semiseco. Con el primero se consiguen piezas de la máxima ligereza, porque se hace a baja presión y admite mucho material combustible, pero es lenta y por tanto de poca producción, además de exigir mucho espacio.

Con el método de extrusión se tienen producciones mayores y piezas más grandes, pero el contenido de material combustible en la mezcla viene limitado por la plasticidad necesaria para la extrusión, ya que si la arcilla es muy plástica hay que meter además una chamota desgrasante para evitar una contracción excesiva de secado. Las piezas son generalmente menos resistentes y de estructura más cerrada que las obtenidas por prensado húmedo, lo que perjudica la resistencia al choque térmico. Cuando se introduce una chamota sílico-aluminosa, es conveniente que no esté calcinada a más de 100°-800°C, para que conserve toda su reactividad, obteniéndose así estructuras más fuertes en frío y en caliente (4). Es esencial que cada partícula del material combustible esté completamente cubierta con una película de arcilla, puesto que la estructura después de la cocción deberá consistir en un sistema de poros limitados por películas continuas de arcilla, ya que los poros rotos o incompletos son causa de colapsos internos cuando la arcilla se ablanda en la cocción y en consecuencia se producen contracciones excesivas y pérdidas de porosidad.

Por el prensado semiseco o seco, se pueden moldear muchos materiales que no tienen suficiente plasticidad para obtenerlos por extrusión. Por ejemplo, por prensado semiseco pueden fabricarse ladrillos porosos de sílice, empleando como aglomerante lejía sulfúrica, una cantidad de cal mayor que para los ladrillos de sílice normales (< 3 %) y como material combustible cok o antracita. Este proceso tiene muchas ventajas de fabricación sobre los otros procesos de manufactura, pues los ladrillos prensados en semiseco tienen muy buena resistencia en verde, lo que facilita mucho su manejo; su contracción total es muy baja. Por lo tanto hay muy pocas pérdidas de fabricación. El riesgo de compresión durante la cocción es el mismo que en los otros procesos; estos ladrillos nunca pueden cocerse con excesiva carga, pues se aplastan fácilmente durante la cocción.

Además de los citados, se encuentran en el comercio productos aislantes de sílice que se fabrican con arena cuarcífera de granulometría controlada, mezclada, por ejemplo, con un 10 % de antracita. Estos productos se pueden emplear

como máximo hasta 1600°C y tienen un coeficiente de conductividad térmica que varía desde 0,15 Kc/m²/h a 100°C hasta 0,75 Kc/m²/h a 1600°C.

Una importante aplicación del proceso de prensado en seco, es la producción de ladrillos refractarios aislantes con una cara de refractario denso resistente a la acción corrosiva de las escorias o de los gases de la atmósfera del horno. Bajo la acción de la presión los materiales quedan fuertemente unidos (si es necesario con una capa de mezcla intermedia) y pueden ajustarse exactamente sus contracciones de secado y de cocción, jugando con los tantos por ciento de humedad y con la contracción por cocción de la chamota de la parte densa.

Los ladrillos prensados en seco que contienen chamota porosa, están caracterizados por una muy alta resistencia al choque térmico, la cual es mucho más grande que la del mejor ladrillo denso, debido a que poseen una estructura muy elástica capaz de absorber fácilmente las tensiones a que se ve sometida.

La formación de poros por sublimación se consigue mediante la adición a la pasta de arcilla, antes de su moldeo, de un material volátil a baja temperatura, por ejemplo, naftalina. El material volátil se elimina, lentamente para evitar explosiones, antes de la cocción, de forma que se cuece un producto que ya es poroso. Este procedimiento tiene la ventaja de que no quedan cenizas que puedan perjudicar al ladrillo fabricado.

c) FORMACIÓN DE POROS POR AGITACIÓN MECÁNICA.—Está demostrado que se llega al mismo resultado práctico obteniendo la porosidad por agitación mecánica de una barbotina de arcilla a la cual se le ha añadido un agente espumante, o mezclando una barbotina de arcilla con una espuma acuosa previamente preparada. Formando la espuma en la misma barbotina se obtiene una estructura mucho más fina y fuerte que por mezcla de la barbotina con la espuma acuosa preparada, sin embargo, este último proceso presenta muchas menos dificultades de fabricación que el primero. Como espumantes se emplean cuerpos como el resinato sódico o la gelatina impura. Para evitar que se colapse la espuma se puede añadir escayola en proporción de un 1'5 % del peso del material seco, especialmente en las piezas grandes, en las que influye poco sobre la refractariedad o la postcontracción. La mayor dificultad en el proceso de agitación mecánica es el control de la densidad de los productos, aunque se controlen perfectamente la composición de la barbotina, la consistencia de la espuma, el tiempo de mezclado y el secado. La causa fundamental de estas fluctuaciones de la densidad es, naturalmente, el colapso parcial de la espuma soltando agua, lo cual ocurre principalmente antes y durante el secado, e incluso algo durante la cocción.

No obstante se obtienen por este proceso buenos productos, incluso con ma-

teriales no plásticos altamente refractarios. Por ejemplo, una mezcla de 90 % de silimanita finamente molida y 10 % de arcilla refractaria plástica, con un contenido en agua de 24'5 %, requiere aproximadamente su propio volumen de espuma para dar una densidad 1'1 a 1'2 en crudo y de 1'0 en cocido a 1400°C.

d) EXPANSIÓN POR REACCIÓN QUÍMICA.—La formación de burbujas gaseosas en un medio semifluido mediante reacción química, es decir, en nuestro caso, la formación de poros en una barbotina o pasta de arcilla mediante gases producidos en su interior por reacción química, es un proceso patentado hace unos ochenta años.

De los muchos agentes reaccionantes productores de gas, que han sido propuestos para esta finalidad tales como carbonatos, carburo cálcico, polvos metálicos y aleaciones que reaccionan con el agua o con ácidos, agua oxigenada, etcétera, pocos cumplen la condición de desprender el gas siguiendo una reacción de evolución lenta y regular, con un corto período previo de inducción que permita mezclar y modelar la masa antes de que la reacción esté en pleno desarrollo. Esta condición es importante, porque si la reacción avanza mucho antes de que la pasta esté bien mezclada, se destruye mucha porosidad por la agitación mecánica producida por el burbujeo dentro del molde.

La reacción del agua oxigenada con el bióxido de manganeso o con acetanilida y alcohol etílico es muy apropiada para esta finalidad. La reacción entre el aluminio en polvo y el ácido clorhídrico diluido también presenta un corto tiempo lábil antes de iniciar su máxima intensidad; con los álcalis la reacción es menos controlable. Otra reacción de muy buenos resultados es la del ácido sulfúrico diluido con dolomita, que tarda varios minutos en ser completa y el tamaño de las burbujas de gas se puede, en cierto grado, controlar variando el tamaño de grano de la dolomita.

Cuando la masa en forma de barbotina está totalmente expandida su tendencia natural es colapsarse de nuevo, a medida que las burbujas salen a la superficie y rompen. El mejor agente encontrado para estabilizar el material en su máximo volumen, es la escayola, que hay que emplear en proporciones del 6 al 15 %. Esta tiene el inconveniente de que baja la resistencia pirosópica del producto, pero puede reducirse a un mínimo disminuyendo el contenido de agua lo más posible e introduciendo la chamota necesaria para lograr una resistencia adecuada del producto, en seco y en cocido. Ahora bien, es esencial que la generación de gas sea completa y que se llegue al máximo hinchamiento antes de que la escayola fragüe, pues si una vez fraguada sigue produciéndose gas, la pieza explotará y, por el contrario, si pasa mucho tiempo entre los puntos de máximo hinchamiento y endurecimiento, parte de las burbujas de gas escaparán inevitablemente de la masa fluida. Esto se controla por medio de retrasadores del fra-

guado de la escayola para hacerla coincidir con la velocidad de reacción de la dolomita y el ácido; también hay que controlar muy exactamente la temperatura, ya que actúa desigualmente sobre el tiempo de fraguado y sobre la velocidad de la reacción. Las mejores arcillas para emplear por este método son las que poseen baja plasticidad, pues tienen la ventaja de contraer poco en el secado y en la cocción, y por tanto, se necesita menos hinchamiento para conseguir una densidad determinada.

Se deben señalar también aquí los productos aislantes a base de productos básicos, tales como la magnesia y la cromo magnesia. Por ejemplo (5) se ha desarrollado un método de colaje para la obtención de refractarios básicos de alta porosidad y baja densidad, en los cuales la porosidad se produce por la acción del ácido fosfórico y del lignosulfonato amónico sobre la magnesia. Los ladrillos se componen de aproximadamente 34-35 % de magnesia y 51-53 % de cromita, con pequeñas adiciones de lignosulfonato (2-5 %), ácido fosfórico (2.5-4 %) diluido en agua, arcilla (10 %) y 20-25 % de agua para formar una barbotina de colaje. También se pueden moldear por prensado húmedo añadiendo menos agua. El tiempo de moldeo es función de los porcentajes de agua y ácido fosfórico empleados, ya que éstos controlan el tiempo en que solidifica la masa. Después de añadir el ácido se debe moldear y terminar la pieza en unos tres minutos y a los veinte minutos ya se pueden manejar perfectamente las piezas obtenidas. Para facilitar el desmoldeo en cualquiera de los casos, da excelente resultado el uso de ceras con punto de fusión próximo a los 45°C, temperatura que se alcanza en la masa por la reacción exotérmica del MgO con el ácido fosfórico. Se llegan a obtener así piezas de medidas exactas, con porosidad del 70 %, densidad aparente de 1,2 grs/cm³ y módulo de ruptura de 25 Kg/cm². Su conductividad térmica es muy baja, lo que unido a su alta refractariedad (1.600°C), permite aplicarlos en muchos problemas de aislamiento térmico.

El secado de estos productos no suele presentar problemas, pero la cocción ha de ser bien vigilada, pues una atmósfera reductora puede actuar sobre la escayola (sulfato cálcico) reduciéndola a sulfuro cálcico, que anula prácticamente el margen de cocción. También hay que tener en cuenta la mala conducción del calor de estos productos, porque las piezas grandes pueden quedar insuficientemente cocidas en su interior. La densidad final es difícil de controlar, por las mismas causas que se explicaron en los productos porosos obtenidos por agitación mecánica.

e) OTROS MÉTODOS DE MANUFACTURA.—Se pueden clasificar en tres grupos:

1) Materiales ligeros con tamaño de grano seleccionado que no contraigan o deformen a altas temperaturas, se aglomeran con pequeñas cantidades de arcilla

u otros aglomerantes de alta temperatura, acompañados algunas veces de un aglomerante orgánico para darles resistencia en seco.

2) Materiales que se obtienen por hinchamiento químico a alta temperatura, aprovechando el estado pirolástico de la masa y la generación de gases debida a la descomposición de uno de los materiales añadidos. Un ejemplo típico, es la mezcla formada por sílice en varias formas alotrópicas, una pequeña cantidad de arcilla plástica y yeso, el cual descompone a altas temperaturas desprendiendo gases.

3) Materiales cuyo hinchamiento se realiza fundiéndolos y haciendo el vacío en el recipiente que los contiene en estado pirolástico. En estas condiciones, los gases disueltos en el fundido (procedentes de su descomposición o de la descomposición de sustancias añadidas) se expanden bajo la presión reducida e hinchan la masa fundida. Empleando un peso fijo de material y expandiéndolo hasta llenar completamente el molde, se puede obtener un producto de densidad predeterminada. Los materiales más apropiados para este proceso son los silicatos dobles (forsterita, espinela, mullita, etc.), pues los óxidos puros dan estructuras muy frágiles.

La fabricación de estos productos requiere mucha vigilancia en general, pero especialmente en la cocción, por dos razones: 1.º Las piezas no pueden cocerse con excesiva carga, porque se aplastan fácilmente durante la cocción. 2.º Estos productos conducen mal el calor, por lo que las piezas grandes pueden quedar insuficientemente cocidas en su interior. En consecuencia, deben cocerse con poca carga y lentamente. Por todo ello son productos de más precio que los refractarios densos, pero su utilización conduce a una gran economía de calorías y, en consecuencia, a fin de cuentas resultan más rentables.

Algunos de los procesos anteriormente mencionados tienen una gran desventaja en el hecho de que el producto cocido resulta siempre algo rugoso y deformado, y, por lo tanto, es necesario mecanizarlo para situarlo dentro de la tolerancia de medidas exigidas. Las últimas mejoras en este tipo de producción han sido dirigidas a eliminar este serio inconveniente, mediante el empleo de agregados pre-porosificados de arcilla refractaria y, para más altas temperaturas, burbujas de alúmina fundida y circona porosa, que se pueden utilizar hasta 1700°C. Estos materiales se moldean a la forma deseada, agregándoles una pequeña cantidad de aglomerante, previa determinación de las características de contracción de la masa, en cada caso, a diversas temperaturas, lo que permite controlar la cocción para producir ladrillos de buena exactitud dimensional.

Los nuevos procesos, que han eliminado el uso de un combustible en las piezas a cocer, suponen un considerable avance sobre las primeras técnicas, simplifi-

cando el proceso y mejorando las propiedades del producto terminado. Por ejemplo, usando un agregado preporosificado puede controlarse su granulometría para producir un ladrillo refractario aislante, con la estructura correcta, para dar un alto grado de resistencia al choque térmico por calentamientos o enfriamientos rápidos.

En la producción de cualquier tipo de ladrillos refractarios aislantes hay que llegar siempre a una situación de compromiso entre la densidad y la resistencia bajo carga, y esto es más fácil de controlar por las nuevas técnicas.

Hoy existen ya ladrillos aislantes refractarios especiales capaces de dar un buen rendimiento expuestos directamente a las condiciones atmosféricas del horno, hasta temperaturas de 1800°C. A pesar de esto, existen ciertas condiciones que exigen el uso de un refractario denso como medio de revestimiento inicial del horno. El último desarrollo en este campo ha sido la combinación de un refractario denso y un refractario aislante en una sola unidad: Los dos materiales quedan perfectamente enclavados juntos y sus respectivas dimensiones y propiedades pueden acoplarse debidamente a las condiciones específicas del servicio que deban cumplir.

IV. Propiedades térmicas de los refractarios aislantes.

Tanto en los hornos continuos como en los intermitentes sólo se aprovecha efectivamente en el proceso de cocción una parte del calor producida. El resto, que no se aprovecha en dicho proceso, es absorbido por las paredes del horno y transmitido a la superficie exterior de las mismas, donde se disipa por radiación y convección.

Los ladrillos refractarios ligeros utilizados para aislamiento térmico, están constituidos por un esqueleto más o menos refractario que encierra poros de diversas dimensiones. La transmisión del calor en ellos está sometida a las leyes de la conducción y de la radiación, aplicadas al sistema materia sólida-aire, puesto que la convección es prácticamente despreciable para las dimensiones habituales de los poros, que a lo sumo son de un centímetro de diámetro.

Los principales factores de la transmisión del calor a través de un ladrillo aislante nuevo (pues durante su empleo pueden producirse modificaciones de estructura que causen variaciones de conductividad), son a una temperatura dada, los siguientes (6):

- 1) La porosidad (o la densidad aparente) del ladrillo.
- 2) La dimensión, forma y número de los poros, así como el tipo de porosidad

(poros cerrados constituyendo células individuales, o poros comunicados entre sí).

- 3) La conductividad propia de la materia sólida que constituye el ladrillo y su poder emisivo.
- 4) La conductividad propia del aire contenido en los poros.

La conductividad propia de la materia sólida, su poder emisivo y su coeficiente de conductividad, varían según la naturaleza de dicha materia y sobre todo según el grado de cocción del producto.

La dimensión y forma de los poros son en gran parte las responsables de que no exista una relación simple entre el coeficiente de conductividad térmica y la densidad, y de que la conductividad térmica varíe de distintas formas en función de la temperatura.

El coeficiente de conductividad térmica representa el flujo calorífico que atraviesa, por unidad de tiempo, un cierto espesor de un cuerpo sometido a una diferencia de temperatura entre su "cara caliente" (cara de trabajo o cara interna) y su "cara fría" (cara exterior). La fórmula matemática de este coeficiente es la siguiente (7):

$$\lambda = \frac{q \cdot e}{S \cdot \Delta T \cdot t}$$

en la cual es: q = cantidad de calor; e = espesor; S = superficie; ΔT = diferencia de temperatura entre las caras; t = tiempo. Se expresa por tanto, en cal. cm. cm⁻² · °C⁻¹ · seg⁻¹, en el sistema cegesimal, y en K cal · m · m⁻² · °C⁻¹ · h⁻¹, en el sistema práctico. Las unidades prácticas se obtienen multiplicando por 360 los valores cegesimales. Este coeficiente varía con la temperatura y se acostumbra a expresarlo en función de la "temperatura media" existente en el producto.

Una densidad pequeña representa un producto poroso, por lo tanto aislante y que deja pasar menos calorías, pero representa además un producto que acumula menos calor y que, en régimen variable (y en discontinuo) absorberá menos calorías aumentando por tanto el rendimiento total del horno. En régimen variable interviene, pues, otro concepto que liga las dos características precedentes (conductividad y capacidad calorífica) y que llamamos "difusividad térmica". El coeficiente de difusividad térmica tiene por fórmula:

$$a = \frac{\lambda}{\mu \cdot c} = \frac{\text{conductividad}}{\text{densidad} \cdot \text{calor específico}}$$

y se expresa en $\text{K cal} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{h}^{-1} \cdot ^\circ\text{C}^{-1} \cdot \text{Kg}^{-1}$, en el sistema práctico. Su ecuación de dimensiones es $[\text{L}^2 \text{t}^{-1}]$ y su significación física es bastante difícil de realizar. Esta ecuación corresponde a la de una permeabilidad dinámica.

El coeficiente de difusividad es bastante mal conocido, pero, en primera aproximación toma valores entre 0,10 y 0,20 $\text{m}^2 \cdot \text{h}^{-1}$, para todos los materiales refractarios, siendo generalmente mayor cuanto más denso es el producto. Es fácil comprobar que el tiempo de paso del flujo calorífico es más largo para un refractario ligero aislante que para uno denso y que en igualdad de condiciones, la elevación de temperatura es más grande y su gradiente es mayor, en un producto aislante que en uno denso, porque el aislante transmite peor la onda térmica recibida y, por lo tanto, en un punto próximo a la cara caliente la temperatura es más elevada que en el punto correspondiente de un producto denso. En consecuencia, es de gran importancia tener en consideración este coeficiente en los hornos de temperatura variable y en los hornos discontinuos o de trabajo intermitente, que no llegan nunca al equilibrio térmico.

La medida del coeficiente de conductividad térmica de los productos porosos y el estudio de su ley de variación en función de la temperatura, encierran muchas dificultades debidas a pérdidas de calor no medibles, que únicamente pueden evitarse en parte, aumentando las dimensiones de los aparatos de ensayo.

Se ha podido establecer experimentalmente una aproximación del valor medio del coeficiente de conductividad térmica a 500°C , para los aislantes refractarios ligeros sílico-aluminosos, en función de su densidad:

<i>Densidad</i>	<i>λ media a 500°C de temp. media</i>
0'5 — 0'6	0'16 Kc/m ² h
0'6 — 0'7	0'23 " "
0'7 — 0'8	0'26 " "
0,8 — 0'9	0'28 " "
0'9 — 1'0	0'30 - 0'32 "
1'0 — 1'1	0'32 - 0'40 "

Ya hemos dicho que el coeficiente de conductividad térmica varía con la temperatura y con la densidad. Pues bien, se ha comprobado que en general, para productos de la misma porosidad total, existen dos formas posibles de curvas de conductividad en función de la temperatura: Unas presentan una variación lineal del coeficiente de conductividad con la temperatura, mientras que las otras hacia los 500°C muestran un brusco aumento del coeficiente. Esto es debido a dife-

rencias netas en la forma y orientación de los poros. Según principios confirmados experimentalmente por Kingery, para una porosidad dada, los poros finos, calibrados y distribuidos de forma homogénea, darán una débil variación del coeficiente con la temperatura; los poros alargados en el sentido de propagación del calor darán un aumento brusco del coeficiente a partir de 500°C, porque a partir de esta temperatura, además de la conducción entra en juego la radiación, que pasa rápidamente a ser preponderante; los poros finos pero alargados en sentido perpendicular al flujo calorífico, darán un débil coeficiente de conductividad a alta temperatura.

En una pared aislante la temperatura a la cual interviene la radiación, es tanto más baja cuanto más grandes son los poros. Así, según Barret, un ladrillo de densidad 0'7 con poros de 1 cm. de diámetro tendrá a 750°C un coeficiente de conductividad superior al de un ladrillo refractario ordinario de densidad 1'8. Según ha demostrado A. T. Green, la fracción de la conductividad total de un ladrillo poroso que puede atribuirse a radiación a través de poros de 0'1 mm. (muy finos), es ya apreciable a 1.030°C y se hace importante a temperatura más alta, siendo aproximadamente igual a la mitad del calor transmitido por conducción en el aire contenido en el poro. A la misma temperatura un poro de 5 mm. transmite por radiación treinta veces más calor que por conducción.

En consecuencia, para una densidad dada, la transmisión del calor está gobernada muy principalmente por la forma, la dimensión y la orientación de los poros, con relación al flujo calorífico, en caso de ser anisótropos.

A igualdad de densidad, en un ladrillo que contenga poros de gran diámetro, el coeficiente de conductividad total es pequeño a baja temperatura, pero a partir de los 500°C en que empieza a intervenir la radiación, dicho coeficiente aumenta más rápidamente que en un ladrillo de poros finos. A baja temperatura, por el contrario, este último puede tener un coeficiente más alto que el primero, pero al elevar la temperatura el aumento será mucho más débil, ya que esta variación dependerá principalmente del aumento de conductividad de la materia sólida y muy poco de la radiación a través de los poros.

Los ladrillos de grandes poros son decididamente más conductores a alta temperatura que los ladrillos de poros finos, a pesar de su menor densidad, porque el aumento del coeficiente de conductividad, al aumentar la temperatura, es pequeño y prácticamente lineal, en el caso de los ladrillos de poros más finos. Por esto en cada problema dado de aislamiento térmico, coexisten valores óptimos de densidad y de tamaño de poros, que hay que aplicar en una situación de compromiso.

El coeficiente de conductividad térmica, no es constante en el transcurso del tiempo, durante el uso, pues no debe olvidarse que los materiales sufren en el

curso de su empleo modificaciones físico-químicas debidas a los choques térmicos, a los efectos de dilatación y a las distintas corrosiones por gases o vapores a que puedan estar sometidos. Con relación a esto se han realizado estudios que demuestran que el coeficiente de conductividad térmica tiende a ir aumentando con el uso del material, más rápidamente cuanto más próxima sea su temperatura de trabajo a la temperatura de empleo señalada para el material en cuestión.

V. Aplicaciones de los refractarios aislantes.

El calor absorbido o transmitido a través de las paredes de los hornos, implica una pérdida de energía calorífica que podría utilizarse provechosamente. El empleo correcto de los materiales refractarios aislantes puede llevar a un mínimo esta pérdida de calor, aumentando de este modo la eficacia térmica de dichas paredes, con considerable economía en el gasto de combustible.

En las unidades que operan en régimen continuo, tales como los hornos túnel, por ejemplo, el calor fluye por y a través de sus paredes o revestimientos hasta que se establece un gradiente térmico estable que fija el flujo de calor y que permanece constante mientras no varíe la temperatura del horno. La función del aislamiento en este caso es asegurar que en el estado de equilibrio se pierda la mínima cantidad de calor a través de la cubierta del horno. Esto puede alcanzarse con el uso de un aislamiento exterior adecuado.

Pero en muchos procesos de calentamiento intermitentes, con un ciclo corto de calentamiento y enfriamiento, el estado de equilibrio no se alcanza nunca. Durante el período de calentamiento, las paredes del horno absorben calor y durante el período de enfriamiento el calor absorbido se disipa. Solamente un 25 % del calor total almacenado en las paredes durante el período de calentamiento puede alcanzar la cara exterior de éstas, quedando el 75 % restante almacenado en los distintos recubrimientos que las forman.

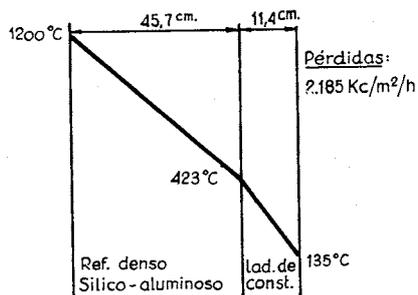
En estas condiciones la densidad de los materiales empleados en la construcción del horno es un factor de la mayor importancia. La capacidad calorífica varía directamente con la densidad, de forma que cuanto más ligero es el material refractario más pequeña es la absorción de calor y más bajas son las pérdidas de calor durante el período de enfriamiento.

Una baja capacidad calorífica de los refractarios permite llegar más pronto a la temperatura de trabajo, y en consecuencia, aumentar la producción en ciertos procesos de calentamiento rápidos. Igualmente, también permite enfriar más deprisa y esto puede representar un factor económico importante en ciertos procesos. Los hornos periódicos para la cocción de productos cerámicos, se constru-

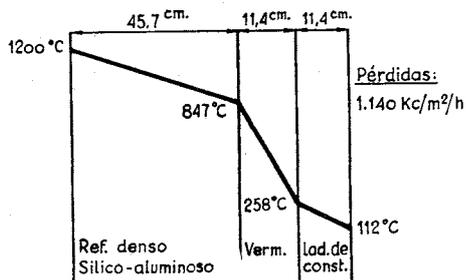
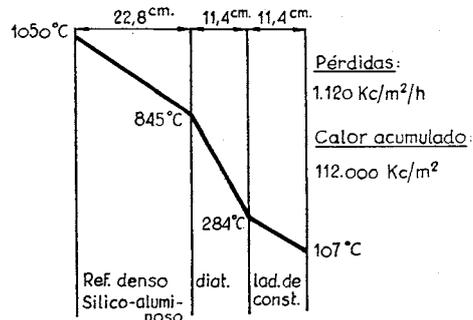
yen generalmente con ladrillos refractarios densos, y en consecuencia tienen una alta capacidad calorífica y sus paredes absorben por tanto mucho calor. Después de completar el proceso de cocción, hay que dejar pasar un tiempo considerablemente largo hasta que el interior del horno esté suficientemente frío para poder sacar el producto cerámico cocido. Empleando refractarios de baja capacidad calorífica, es decir, refractarios aislantes ligeros, puede conseguirse un ciclo más rápido de calentamiento y de enfriamiento, con el consiguiente aumento de producción, ahorro en el consumo de combustible o de energía eléctrica y mejor control de la temperatura de cocción, pues al tener el horno menos masa tiene menor inercia térmica. Además facilitan el mantenimiento de una temperatura constante, cuando esto es requerido y aseguran una mejor distribución del calor en el interior del horno. El calentamiento está menos influenciado por las variaciones del ambiente exterior. La vida del material refractario se alarga, pues al ser el calentamiento más uniforme se reduce el riesgo de desconchados y agrietamientos.

En los diagramas de las figuras 1 y 2 (8), se pueden ver las ventajas térmicas

Régimen continuo:



Régimen discontinuo:



En este caso no interesa calcular el calor acumulado.

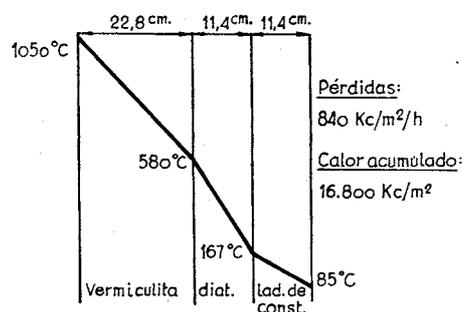


FIG. 1

FIG. 2

de una pared con vermiculita en relación con los refractarios densos y con los aislantes de diatomita, tanto en régimen continuo como en régimen intermitente, poniéndose de manifiesto su influencia sobre los gradientes de temperatura y el calor almacenado en las paredes de los hornos de régimen discontinuo.

Estos diagramas representan el gradiente de temperatura en distintas paredes, una vez alcanzado el equilibrio térmico. El primer diagrama de régimen continuo nos muestra que las pérdidas de calor cedido al ambiente son elevadas. Si introducimos refractario ligero de vermiculita entre el denso sílico-aluminoso y los ladrillos de construcción, las pérdidas se reducen casi en un 50 %. Pero el calor almacenado aumentará, debido al incremento de la temperatura media del ladrillo refractario denso, lo que, en régimen continuo, si bien exige mayor gasto de combustible para llegar a la puesta en régimen, en cambio sirve de estabilizante del mismo por tener la pared mayor inercia térmica.

En régimen discontinuo las cosas ocurren de otra manera: El primer diagrama nos dice, que aunque las pérdidas de calor son menores que en el caso anterior, el almacenamiento de calor es demasiado alto para una operación intermitente económica. Por esta razón, es mejor sustituir el ladrillo refractario aislante y colocar exteriormente bloques aislantes, con lo que disminuyen las pérdidas de calor y la cantidad de calor almacenado. Aunque esta última modificación reduce todavía la pérdida total de calor en un 25 %, lo más importante es que, debido a la gran diferencia de capacidades caloríficas (16.800 Kc/m² de superficie de pared, en lugar de 112.000 Kc/m² para los sílico-aluminosos), se economizan unos 285 Kg. de fuel por cada ciclo de calentamiento y enfriamiento, en un horno de medidas interiores 18 m., 4,5 m., 3 m. de altura.

Debe tenerse siempre presente, que en una pared compuesta, la temperatura de la primera intercara puede llegar a ser muy elevada, puesto que el aislamiento térmico dificulta la transmisión del calor. En consecuencia, para temperaturas del orden de los 1.400° C en la cara caliente, se necesitan productos refractarios densos de clase superior, puesto que han de trabajar soportando alta temperatura "en toda su masa". Igualmente ocurre en cuanto a los materiales aislantes, puesto que la temperatura de su cara caliente diferirá poco de la temperatura interna del horno.

La desventaja principal de los refractarios ligeros es su baja resistencia a la abrasión, corrosión y vibración, por lo que en ciertos casos deben protegerse con recubrimientos adecuados. Así, cuando el refractario ligero está en contacto directo con la atmósfera del horno, puede protegerse con un enlucido apropiado(9). Por ejemplo, la aplicación de una cubierta de un milímetro de espesor, formada por una mezcla de 35-45 % de polvo de aluminio y 55-65 % de arcilla refractaria, baja su contracción y en muchos casos la evita totalmente hasta 1.480°C. Esta

cubierta aumenta la resistencia de los ladrillos aislantes a la post-contracción, al agrietamiento de sus caras expuestas y al choque térmico; al ataque por escorias básicas, a la abrasión y a la permeabilidad de los gases; también aumenta su resistencia bajo carga a temperatura elevada.

Por otro lado, si el horno va a someterse a calentamientos fuertes y a enfriamientos rápidos, deberá escogerse un refractario aislante ligero que tenga alta resistencia al choque térmico; este tipo de refractarios aislantes suelen ser de densidad algo mayor que los otros, para la misma temperatura límite de empleo, pero se llega prácticamente al mismo resultado final de reducir las pérdidas de calor por transmisión, y lo que aún es más importante, conseguir una considerable reducción en calor almacenado.

Como ejemplo de la gran ventaja que se consigue con el empleo de los modernos refractarios aislantes ligeros, podemos comparar dos hornos de tiro bajo, iguales, pero uno antiguo y otro moderno; teniendo los dos las mismas dimensiones externas y cociendo el mismo producto cerámico a la misma temperatura, el horno moderno tiene un 40 % más de capacidad interior y consume de un 35 a un 40 % menos de fuel por tonelada de producto cocido, que el horno antiguo. Las paredes de la versión moderna tienen un espesor de 23 cm. de refractario aislante ligero y 3 cm. de bloques calorifugantes, mientras que en la antigua tiene un metro de espesor en ladrillo refractario denso. Por esto, la mayor parte del ahorro en el consumo de combustible se debe a la mucho menor capacidad térmica de las paredes.

Los refractarios aislantes ligeros de muy baja densidad tienen actualmente mucha aplicación en los hornos portátiles. Según hemos dicho, estos refractarios tienen su más importante función en los procesos de calentamiento intermitente, donde la baja capacidad térmica es esencial para la economía de combustible y para un control exacto de la temperatura, gracias a la poca inercia térmica del horno. Según esto, pudiera pensarse que los refractarios aislantes ligeros no tienen empleo en los hornos continuos. Sin embargo, en los hornos continuos *de alta temperatura* se emplean en cantidad considerable los refractarios aislantes, como primer medio aislante térmico a situar detrás de los refractarios densos que forman la envoltura interior del horno. En esta posición, la temperatura de la cara intermedia es demasiado alta para la mayor parte de los ladrillos refractarios diatomáceos y para los bloques aislantes. Los ladrillos refractarios aislantes actúan, pues, como reductores de temperatura para colocar después la cubierta aislante externa.

Los ladrillos refractarios ligeros se emplean también en muchos tipos de hornos continuos, para construir su envoltura interior de trabajo, que está expuesta directamente a la acción de la atmósfera del horno. Empleando refrac-

tarios aislantes en vez de refractarios densos, las paredes de los hornos pueden ser más delgadas, más ligeras y, en muchos casos, de construcción más económica. Debido a la baja conductividad térmica de estos refractarios, se pueden fabricar bloques especiales ensamblables que se pueden unir con anclajes metálicos para asegurar la estabilidad estructural de las paredes de los hornos.

En la construcción de hornos de alta temperatura, superior a 1.300°C , con paredes de mucha superficie y grandes áreas de techos suspendidos, cada vez se emplean más las piezas refractarias especiales, fabricadas con una parte de refractario denso y otra de refractario aislante, ambas enclavadas entre sí formando una sola pieza (fig. 3), que puede colgarse mediante ganchos metálicos adecuados. Estas piezas resuelven muchos problemas de construcción, ya que se pueden obtener paredes finas de mucha eficacia térmica y gran estabilidad dimensional, ésta última gracias a los anclajes metálicos. Con este tipo de refractarios se pueden construir las puertas de los hornos, grandes o pequeñas, mucho más ligeras, con mayor eficacia térmica y con mucha mejor resistencia al choque térmico, que con los ladrillos refractarios densos normales.

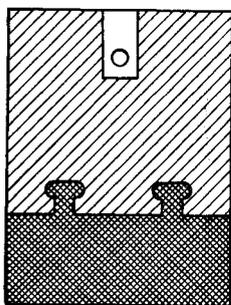


FIG. 3

Con una construcción correcta, el uso de los refractarios aislantes ligeros en la realización de los hornos siempre producirá economías en el consumo de energía calorífica, calentamientos y enfriamientos más rápidos y reacciones más sensibles en los instrumentos de control, todo como consecuencia de la menor densidad de las paredes de los hornos, es decir, de su menor masa.

Los métodos de construcción son similares a los empleados con los refractarios densos, es decir, se emplean pequeñas unidades y se dejan juntas de dilatación para amortiguar los movimientos térmicos. En los hornos intermitentes particularmente, es preferible la construcción con uniones a tizón, que a tizón y soga. Igualmente, son preferibles los arcos circulares a los arcos apuntados, pues las grietas debidas a las tensiones de dilatación térmica reversible, se presentan en menor cantidad y extensión, y si los calentamientos y enfriamientos rápidos causaran desprendimientos en los arcos, el empuje positivo entre los ladrillos de un arco circular, asegura en la mayor parte de los casos que el trozo desprendido no se caiga.

Los ladrillos refractarios aislantes empleados en la construcción de arcos de hornos, generalmente se mecanizan para que tengan dimensiones exactas, mejorando el buen contacto de las caras de empuje que soportan la presión total del arco. Una flecha de 5 cm. por cada 30 cm. de cuerda, es generalmente la

Los ladrillos refractarios aislantes empleados en la construcción de arcos de hornos, generalmente se mecanizan para que tengan dimensiones exactas, mejorando el buen contacto de las caras de empuje que soportan la presión total del arco. Una flecha de 5 cm. por cada 30 cm. de cuerda, es generalmente la

más conveniente en la construcción de arcos con ladrillos refractarios aislantes.

Los techos suspendidos construidos con estos materiales, dan resultados muy satisfactorios en los hornos de funcionamiento verdaderamente continuo, que no se dejan enfriar más que en caso de reparaciones obligadas.

Algunas partes de los hornos Martín, deben aislarse térmicamente, como ocurre con las pendientes o embocaduras de los canales de gas y de aire, construidas con revestimientos básicos de tipo suspendido. En este caso se emplean ladrillos aislantes de cromita o sílico-aluminosos, para evitar que el polvo forme molestas cortezas en su parte inferior (10).

Los refractarios ligeros aislantes se emplean mucho en los hornos metalúrgicos de tratamiento térmico. En los hornos Pit de calentamiento de los lingotes para el laminado, se emplean refractarios ligeros aislantes en las losas del subsuelo y en las caras exteriores, para mantener las pérdidas de calor dentro de límites aceptables. Igualmente ocurre en los hornos de empuje para el recalentamiento de productos de dimensiones menores, que están enteramente envueltos en ladrillos aislantes para mejorar su mal rendimiento térmico.

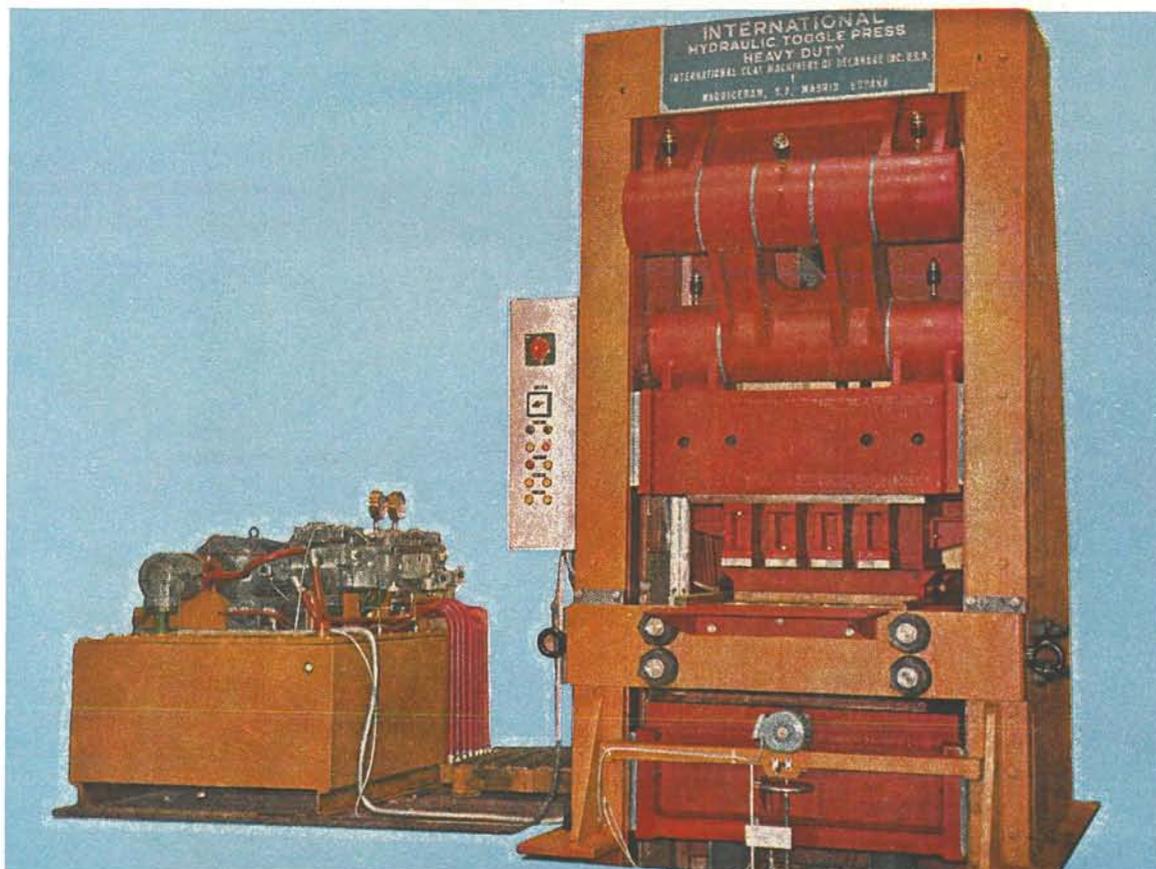
En los hornos de recocido, en los de templado y en los de revenido, también se emplean ladrillos refractarios aislantes, especialmente en los hornos tipo campana de templado y de revenido, consiguiéndose grandes ventajas térmicas y facilitándose enormemente el trabajo de las estructuras metálicas.

Son muy diversos los productos ligeros que ofrece el mercado. Para su debida utilización debe saberse escoger primero aquel tipo de refractario aislante que convenga mejor a las necesidades a cubrir y considerar después las variaciones y propiedades que existen entre los productos que parecen semejantes (igual densidad, igual coeficiente de conductividad a una temperatura dada, etcétera), pero que difiere en cuanto a condiciones bien determinadas en su utilización. Los problemas que se plantean en el empleo de los refractarios ligeros aislantes, son muy variados. Cada caso debe ser estudiado particularmente; es necesario disponer de muchos datos sobre las condiciones de empleo para resolver ventajosamente un problema de aislamiento térmico a temperatura elevada.

BIBLIOGRAFIA

- 1.—MACDONALD, A. C., "Insulating refractories". *Refract. Journ.*, págs. 61-76, feb. 1964.
- 2.—HINCHLIFFE, N. W., "Developments in refractory insulation", The Federation of British Industries, 1964. Visto en *Bull. Synop. Doc. Thermique*, núm. 27, pág. 35, marzo 1964.
- 3.—CLEMENTS, J. R.; BARRET, L. R., and GREEN A. T., "The manufacture of refractory insulating products". *Brick and Clay Record*: Parte I, febrero 1945, págs. 46-64. Parte II, marzo 1945, págs. 55-58. Parte III, abril 1945, págs. 50-54.
- 4.—FICAL, C., *Bull. Soc. Franç. Céram.*, núm. 17, págs. 3-6, oct.-dic, 1952.

PRENSAS ACODILLADAS DE 750 Y 1.000 TONS. DE FUERZA, CONSTRUIDAS POR MAQUICERAM, S. A. CON LICENCIA "INTERNATIONAL"



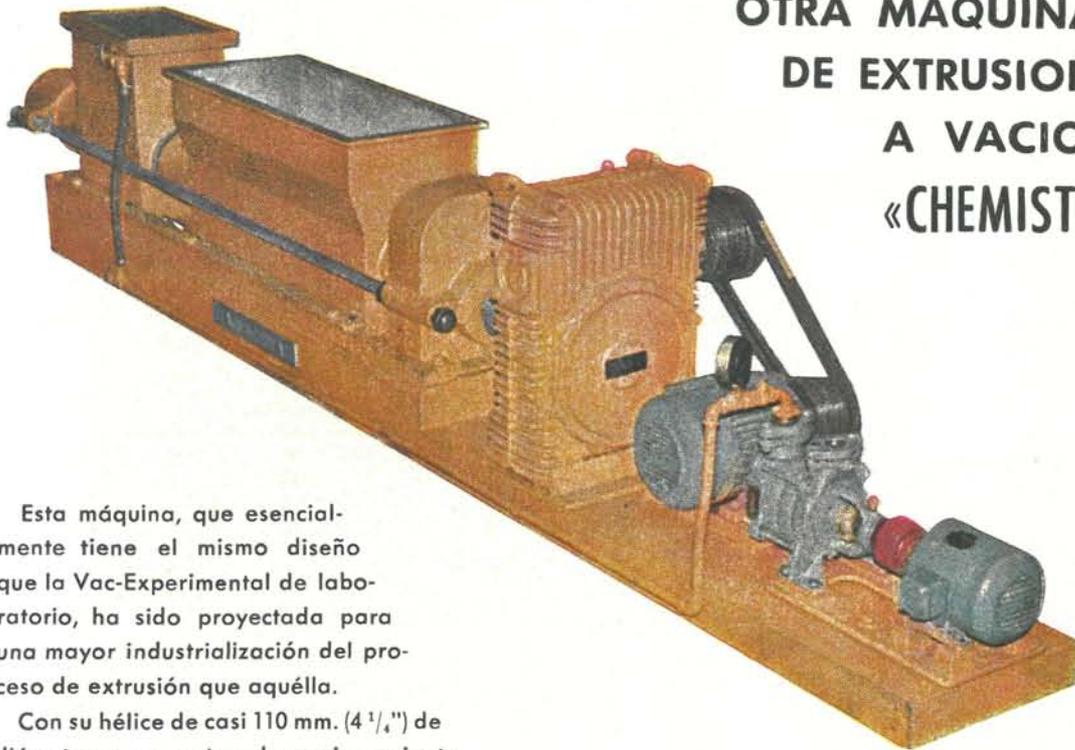
- Accionamiento enteramente oleo-hidráulico.
- Regulación de presión específica de prensado.
- Regulación milimétrica de la carga y del espesor de las piezas prensadas, independiente de la presión.
- Trabaja en ciclo continuo o en ciclo simple.
- Hay posibilidad de introducir alteraciones en la secuencia de trabajo, combinando con moldes especiales.

MAQUICERAM, S. A.

PROYECTOS, INSTALACIONES Y CONSTRUCCIONES METALICAS PARA LA INDUSTRIA CERAMICA

ORTIZ CAMPOS, 2 y 3 (USERA)
MADRID - 19. - Teléfonos 269 76 31 - 269 16 40

OTRA MAQUINA DE EXTRUSION A VACIO: «CHEMIST»

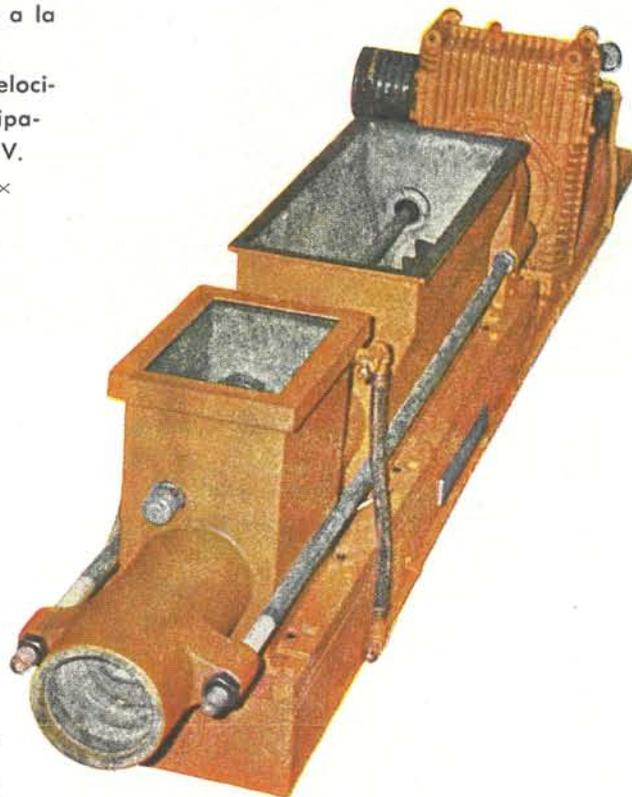


Esta máquina, que esencialmente tiene el mismo diseño que la Vac-Experimental de laboratorio, ha sido proyectada para una mayor industrialización del proceso de extrusión que aquella.

Con su hélice de casi 110 mm. ($4\frac{1}{4}$ " de diámetro y su motor de accionamiento de 5 C. V., es una máquina que, por capacidad, sale del ámbito del laboratorio a la fábrica.

Lleva polea escalonada para tres velocidades de hélice y normalmente va equipada con un grupo de vacío de 0,75 C. V. Sus dimensiones máximas son: $3.500 \times 650 \times 550$ milímetros. Aproximadamente pesa 1.500 Kgs., y con embalaje marítimo, 1.750 Kgs., cubiendo $2,5 m.^3$

Como todas nuestras máquinas, puede ser equipada con un variador de velocidad.



MAQUICERAM, S. A.

ORTIZ CAMPOS, 2 y 3 (USERA)
MADRID - 19. - Tels. 2697631 - 2691640

PROYECTOS, INSTALACIONES Y CONSTRUCCIONES METALICAS PARA LA INDUSTRIA CERAMICA