

Materiales cerámicos antiácidos*

BENIGNO FERNANDEZ RASCON

Doctor en Ciencias Químicas
P. R. A. C. E. S. A.

RESUMEN

Se enumeran en primer lugar los factores que deben tenerse presentes cuando se trata de elegir el recubrimiento antiácido más adecuado para una instalación y, después, se hace una breve descripción de los procesos de fabricación de los materiales cerámicos antiácidos.

Se muestran a continuación los resultados de los experimentos realizados por el autor sobre diversos aspectos de la fabricación. Los principales problemas que se estudian son: a) Efectos de la distribución granulométrica; b) Textura y orientación de partículas en pastas sometidas a extrusión en vacío; c) Secado controlado, y d) Formación de ampollas por cocción inadecuada.

Finalmente, se presentan los resultados de una serie de ensayos sobre productos terminados y se exponen las características que, a juicio del autor, deben poseer los materiales cerámicos antiácidos.

SUMMARY

The author enumerates first the factors to be taken into consideration when dealing with choosing the appropriate antiacid protection of an installation. Then a brief outline is given of the manufacturing processes of antiacid ceramic products.

The results of experiments carried out by the author on several aspects of the manufacturing process are shown. The main problems studied are: a) Effects of grain-size distribution; b) Texture and particle orientation of vacuum extruded bodies; c) Controlled drying, and d) Blister formation by inadequate firing.

Finally, the results of a series of tests on the finished products are given, as well as the characteristics which, in the author's opinion, the antiacid ceramic products should show.

ZUSAMMENFASSUNG

Die vorliegende Arbeit gibt einen Überblick über die verschiedenen Faktoren die bei einer säurefesten Auskleidung entscheidend sind. Gleichzeitig geben wir die einzelnen Fabrikationsvorgänge bekannt.

* Conferencia pronunciada durante la VIII Reunión anual de la Sociedad Española de Cerámica, Sevilla, 10-13 de mayo de 1967.

die sich in verschiedenen Stadien ergeben haben und sich auf folgende Punkte beziehen.

Verbrauch der Korngrösse; Versuche zur Behebung der auftretenden Verwindungen in der Masse beim Austritt aus der Vakuumpresse vor der Verformung. Versuche mittels Einführung der auf der Vakuumpresse hergestellten Stücke in vorgewärmten Kammern, um die inneren Verwindungen zu beseitigen. Man beobachtete Vorteile bei Verwendung von Trockenanlagen mit Hitze und relativer Feuchtigkeit. Auftreten von Blasen und Blähungen während des Brennens und Gleichhaltung der Brenntemperatur zur Austreibung der Gase vor der äusseren Sinterung des keramischen Materials.

Zum Schluss beschreiben wir eine Anzahl von Versuchen an Fertigerwaren die wir in unseren Labors durchgeführt haben, sowie Charakteristiken die unserer Ansicht nach die säurefesten keramischen Materialien aufweisen müssen.

I. Introducción

Los materiales cerámicos antiácidos son normalmente productos silicoaluminosos que, al ser rotos, presentan una estructura compacta. Deben poseer una alta resistencia mecánica y contra la erosión, ser impermeables a los líquidos y gases en alto grado, así como tener una gran resistencia contra la acción corrosiva de los agresivos químicos, especialmente contra los ácidos. Por esta última razón están formados por silicatos ácidos, ya que éstos presentan una mayor resistencia a los ácidos que los silicatos básicos.

Cuando las soluciones son líquidos o masas fuertemente alcalinas, deben emplearse productos pobres o libres de SiO_2 , como son los materiales a base de cromita o corindón y, si se trata del ácido fluorhídrico, deben ser ladrillos de carbón.

Entre los factores que deben ser estudiados, cuando se trata de fijar en principio el recubrimiento adecuado de una instalación, además de la naturaleza del agente corrosivo, destaca el que se refiere a las variaciones de temperatura a que van o pueden estar expuestos estos materiales, debiéndose tener muy en cuenta si aquéllas se producirán bruscamente o lentamente. Otro aspecto que debe tenerse muy presente, es si el líquido corrosivo, con el que ha de estar en contacto, se encontrará en estado de reposo o movimiento, así como si contiene partículas sólidas en suspensión, al objeto de poder determinar de antemano la erosión que pudiera producirse.

De estos factores que hemos citado, dependerá la porosidad y compacidad que se les debe dar a estos materiales. Normalmente, las variaciones de temperatura a que se encuentran expuestos no son fuertes, pero dado que pueden serlo, es necesario dotar a aquéllos de la suficiente elasticidad para poder resistir estas diferencias de temperatura.

Cuando sea fuerte la erosión que pueda producirse se necesita que presenten una gran compacidad. Pero debemos tener en cuenta que un material muy compacto y, por lo tanto, muy vitrificado, al menor golpe o cambio de temperatura se rompe o agrieta, por lo que será necesario regular la porosidad, debiendo estar constituida ésta por poros cerrados y con un mínimo de poros abiertos. De esta forma se le da elasticidad al ladrillo y su permeabilidad a los gases o líquidos es exigua, presentando al mismo tiempo una alta resistencia contra la erosión. En muchas ocasiones, dadas las tensiones que se van a producir, son empleados bloques de granito y basalto.

II. Materias primas

Para su fabricación se debe partir de materias primas previamente seleccionadas, con bajo contenido en hierro, siendo sin embargo beneficioso cierto contenido en álcalis que puede ayudar a la sinterización o fusión parcial del producto. Se utiliza normalmente feldespato, caolín, cuarzo, chamota y arcillas. Estas últimas deben encontrarse exentas de pirita y en lo posible, de sustancias que durante su cocción puedan producir desprendimientos de gases, ya que ello daría lugar a esponjamientos de la masa. Y, como hemos señalado anteriormente, deben contener las pastas un exceso de sílice libre muy fina que pueda combinarse con los óxidos que constituyen el fundente para dar silicatos ácidos.

Las arcillas empleadas presentan normalmente un contenido en Al_2O_3 que oscila entre un 20 y un 35 %. Son de gran plasticidad y baja temperatura de sinterización, presentando sin embargo un elevado punto de fusión para evitar deformaciones. Generalmente se emplean arcillas con un punto de sinterización entre $1.250^{\circ}C$ y $1.375^{\circ}C$ y con una temperatura de fusión entre $1.630^{\circ}C$ y $1.710^{\circ}C$. Sus índices de plasticidad, determinados según el método de Rieke, oscilan entre 7 y 9.

Un ensayo muy interesante, que debe realizarse juntamente con el punto de sinterización y de fusión, es el comportamiento de las arcillas al aumentar paulatinamente la temperatura, para ver si se producen abultamientos, abombamientos, grietas, esponjamientos, etc., y en caso de producirse estos defectos, se debe determinar lo más exactamente posible la temperatura a que tienen lugar, para luego tenerlo en cuenta durante la cocción de los materiales y evitar de esta forma los males citados anteriormente.

III. Granulometría

Como se ha referido anteriormente, en no pocas ocasiones se necesita variar la porosidad de los materiales, de acuerdo con las exigencias de la instalación

donde van a ser colocados. Esto se consigue variando el tamaño de grano de la chamota o de la arcilla, pues aparte de aumentar más o menos la porosidad, según los granos sean más o menos grandes, se favorece más o menos la vitrificación. Así, se ha podido comprobar que los ladrillos que poseen una textura fina, aun poseyendo la misma composición que otros de textura más gruesa, reblandecen antes en el ensayo de calentamiento bajo carga.

Como chamota se utiliza normalmente arcilla cocida, porcelana, mosaico, residuos de piezas, etc., debiendo ser molidos a distintas granulometrías para poder verificar la mezcla más idónea.

A causa del contenido en sustancias volátiles —compuestos vegetales, agua de constitución, agua procedente del amasado— creemos que es necesario, en las piezas cerámicas antiácidas, variar la granulometría según el tamaño de éstas. Después de numerosas pruebas sobre masas semiplásticas trabajadas en prensas y especialmente sobre masas plásticas trabajadas a mano, hemos llegado a la conclusión de que, aparte de los tamaños más finos, las piezas deben llevar una parte de chamota gruesa según la escala siguiente:

| | |
|-----------------------------|---------------|
| Piezas de hasta 2 Kgs. | 1 a 1,5 mm. |
| Piezas de 2 a 12 Kgs. | 1,5 a 2,5 mm. |
| Piezas de 12 a 20 Kgs. | 2,5 a 5,0 mm. |

De esta forma, las sustancias volátiles, agua de amasado y agua combinada, procedentes del núcleo de la pieza, pueden ser expulsadas más fácilmente con menor peligro de agrietamiento. También ofrecen la ventaja, como se ha señalado anteriormente, de que durante la cocción presentan una mayor resistencia a la deformación.

IV. Sistemas de fabricación

Como en toda fabricación cerámica, dos son habitualmente los caminos a seguir: por vía seca o por vía húmeda. Las composiciones de las pastas variarán de forma bastante apreciable según el sistema que se utilice.

Cuando se sigue el método de vía húmeda, después de mezclar bien las materias primas con el agua en los mezcladores, con objeto de homogeneizar la masa, se pasa ésta a través de una galletera de vacío. Mediante este tratamiento en galletera se elimina la mayor parte del aire ocluído en el interior de las pastas, se aumentan notablemente la plasticidad y compacidad, y el producto cerámico obtenido posee, después de cocido, una baja absorción y permeabilidad al agua.

Debido a un insuficiente vacío (figs. 2, 3, 5 y 9), a que el avance de la pasta en el centro de la galletera no es el mismo que en la periferia de ésta, y a que

la hélice y las camisas en numerosas ocasiones se pueden encontrar desgastadas, se produce en muchas ocasiones una fuerte torsión en la pasta, la cual, después de salir por la galletera, tiende a volverse en sentido contrario al giro efectuado. Por este motivo existe una gran probabilidad, por no decir la certeza, de que si

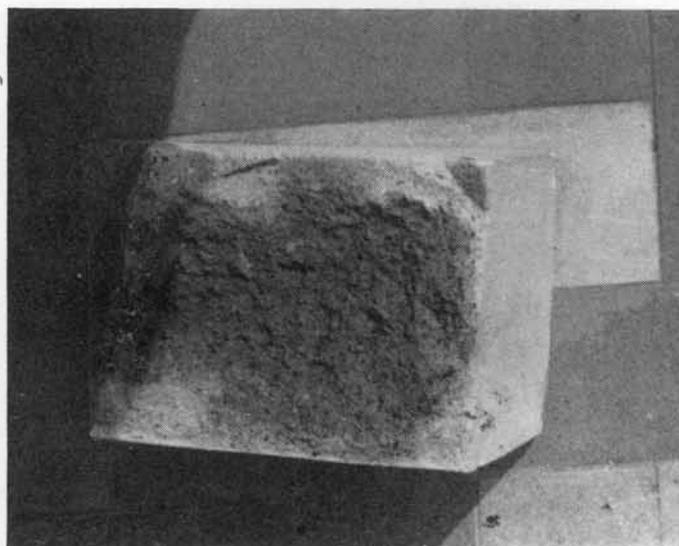


FIG. 1.—Aspecto que presenta una pieza, trabajada a mano, después de cocida. Por defecto de moldeo a causa de haberse tratado de unir dos trozos, la pasta no unió por el centro y sin embargo exteriormente no se notaba ninguna fisura. Después de rota se observa claramente que la zona rugosa es la que se encontraba sin unir. Por la zona lisa o zona blanca, se había producido la unión.

la pasta es moldeada inmediatamente, se formen grietas interiores en forma de “sacacorchos”, aflorando la mayoría de las veces al exterior.

Las grietas que se ocasionan a la salida de la galletera son debidas a que hay menos resistencia al avance de la pasta en el interior de ésta que en el exterior y se van originando espirales (fig. 2).

Para tratar de corregir estos agrietamientos, hemos partido de trozos de masa plástica, que deben ser del tamaño aproximado de la pieza que se desea moldear, con el fin de evitar el tener que unir dos trozos de pasta, lo cual es peligroso por la facilidad con que se forman oquedades o grietas (fig. 1). Se han verificado ensayos, dejando reposar las pastas durante tiempos variables, y hemos comprobado que se obtienen muy buenos resultados cuando se dejan durante 18 a 24 horas. Estos ensayos han sido realizados sobre pastas que previa-

mente habían mostrado el mencionado defecto a la salida de la galletera. Estos trozos, después de reposar bien tapados para mantener su humedad hasta el momento de su moldeo o prensado, han experimentado una mejoría notable en su plasticidad, y en ellas han desaparecido los signos de torsión.

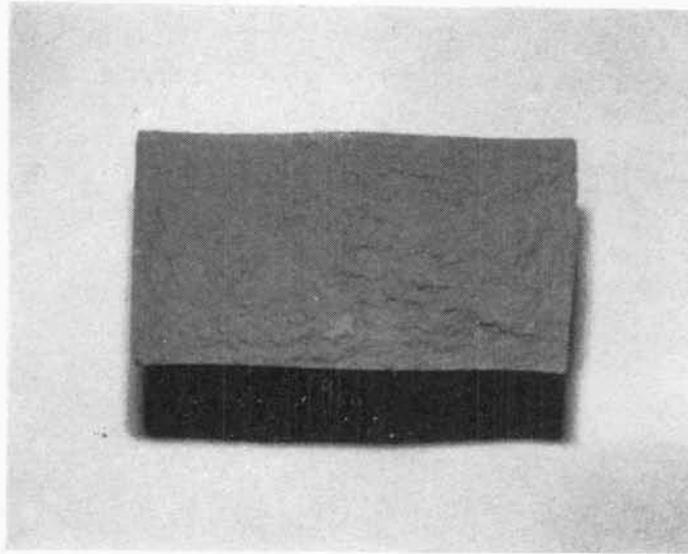


FIG. 2.—Pieza o ladrillo fabricado en galletera de vacío, encontrándose ésta en malas condiciones, principalmente por bajo vacío. Después de seca, se puede observar perfectamente la torsión que se ha producido en forma de "caracol o espirales". Estas grietas aumentarían notablemente durante la cocción.

Las grietas que pudieran haberse originado a la salida de la galletera suelen mediante una presión no muy fuerte para dar una masa compacta. La distribución de calidad de las piezas obtenidas es la siguiente:

| | |
|---------------------------|--------|
| Piezas buenas | 88,5 % |
| Piezas defectuosas | 11,5 % |

Se toman como piezas defectuosas las que tienen fisuras cuya longitud no excede el 1 % de la longitud mayor de la pieza. Dichas grietas, que son prácticamente eliminadas, son las debidas a la galletera. No se han tenido en cuenta las originadas durante el moldeo.

Por lo expuesto, se considera necesario que toda masa tratada en la galletera sea mantenida en reposo por lo menos 18 horas antes de proceder a su moldeo, al objeto de evitar posibles agrietamientos de las piezas.

Cuando se obtienen ladrillos o piezas directamente de las galleteras, para evitar estas torsiones interiores (figs. 2 y 9), hemos realizado una serie de ensayos, que han consistido en introducir los ladrillos en cámaras de secado previamente calentadas. De esta forma se aceleraba el secado y disminuía la torsión,

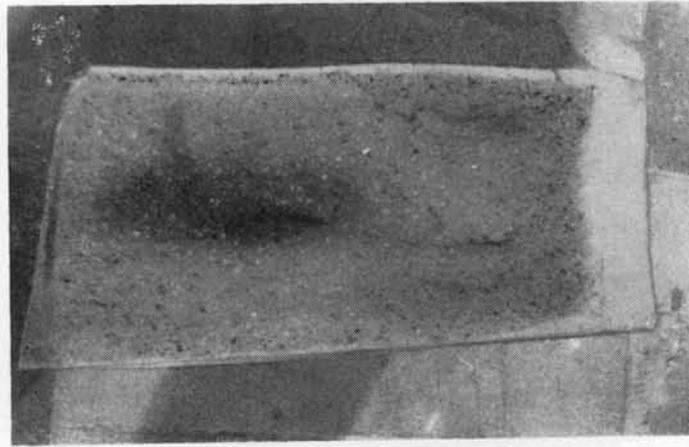


FIG. 3.—Pieza moldeada, de un trozo salido directamente de la galletera, después de cocida. Se puede observar la fuerte grieta debida al eje de la galletera. Junto a la zona blanca, se encuentra una capa esponjosa, con pequeñas incrustaciones de residuos carbonosos.

al perder la pasta plasticidad. La temperatura de las cámaras era de 55-65° C. Este sistema presenta la dificultad de que en piezas largas y delgadas, se produce un alto porcentaje de deformaciones. Los resultados obtenidos fueron los siguientes:

| | |
|------------------------------------|---------|
| Ladrillos con buena textura | 68,75 % |
| Ladrillos agrietados | 31,25 % |

Este sistema exige una regulación muy exacta de la composición y humedad de las pastas cerámicas, así como de la temperatura de secado, ya que cuando se produce cualquier pequeña variación, las deformaciones y roturas que aparecen son muy elevadas. Los materiales cerámicos antiácidos por vía seca o semi-húmeda, que contienen en el momento del prensado una humedad del 3 % al 6 %, deben ser trabajados con arcilla finamente molida y a una alta presión. Se aprecia una gran mejoría cuando se trabaja con arcillas que previamente se han desleído en forma de barbotina.

V. Secado

Si la desecación inicial es intensa, la que se produce en la superficie de la pieza es muy rápida y por ello el agua del interior no puede salir con la suficiente velocidad o regularidad, lo cual puede dar origen a fuertes tensiones que llegan a producir grietas (fig. 4). Asimismo, si la eliminación del agua en los poros de la pieza es rápida, la viscosidad relativa del agua en éstos impide un rápido desplazamiento capilar hacia la superficie.

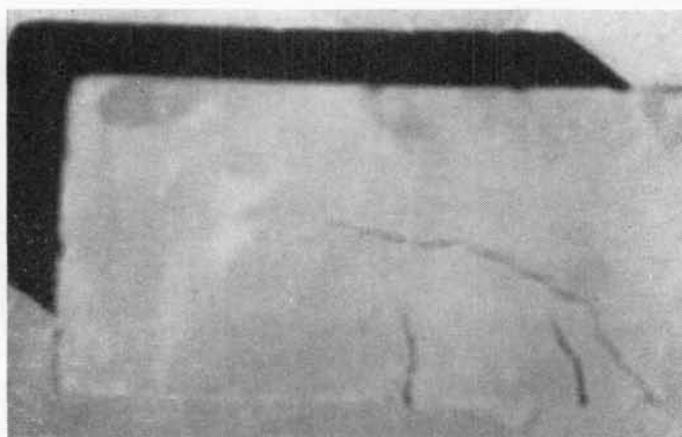


FIG. 4.—Agrietamientos producidos por un secado demasiado rápido.

Los secaderos que normalmente se emplean, funcionan de modo que, a la entrada del material, se va elevando la temperatura a la vez que la humedad relativa, con el objeto de que no se cierre la superficie exterior y que toda la pieza adquiera una misma temperatura (interior y exterior), y a continuación se disminuye la humedad mediante entrada de aire caliente seco.

Con este sistema de distribución de la humedad relativa del aire se han obtenido resultados excelentes. En las cámaras de secado sin este sistema, la curvatura que generalmente se produce en los ladrillos normales y piezas de tamaño pequeño es elevadísima. Esto ha sido corregido casi totalmente con este sistema cuyos rendimientos, obtenidos por nosotros, han sido los siguientes:

Piezas exentas de curvatura

| | |
|---------------------------|-----------|
| Secadero normal | 35 - 45 % |
| Secadero con vapor | 90 - 95 % |

Estos valores se refieren a ladrillos fabricados en galletera de vacío con una humedad de 14 a 17 %

Como puede observarse, la diferencia es acusadísima, lo que es normal que ocurra, debido a que el secado es completamente uniforme al no cerrar las paredes exteriores del ladrillo y poder ir saliendo el agua homogéneamente.

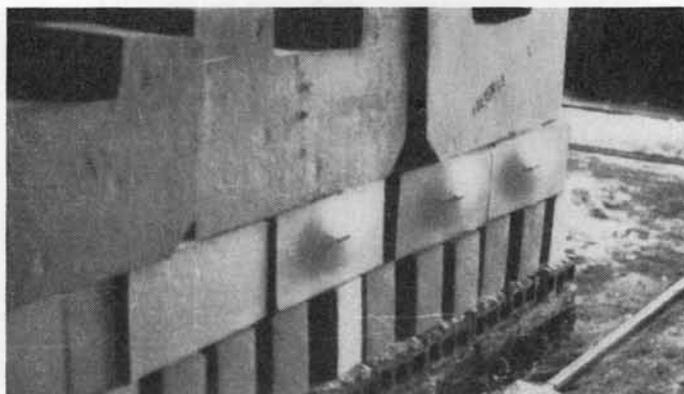


FIG. 5.—En esta vagoneta, a su salida del horno túnel, pueden observarse ladrillos hinchados debido a una mala estructura defectuosa de la masa por culpa de una deficiencia en la galletera de vacío. La rotura ha sido producida por los gases formados en su interior, que no pudieron ser eliminados lentamente.

Es necesario que las piezas, después de secas, no se encuentren durante mucho tiempo en contacto con el aire, ya que son muy compactas y por pequeña cantidad de agua que absorban, aumenta el peligro de agrietamiento en el momento de proceder a su cocción. En el caso de que la cocción se vaya a realizar en hornos túneles, es necesario un secado previo que bien pudiera llamarse de precalentamiento.

A la entrada de un horno túnel la temperatura es normalmente de unos 200° C y, aunque se haya realizado un secado previo de los materiales (80-100° C), es necesario proceder a un precalentamiento hasta alcanzar una temperatura ligeramente superior a la que va a soportar a la entrada del horno.

VI. Cocción

Las reacciones cerámicas son muy lentas, y generalmente no se completan, por lo que la duración de la cocción tiene una gran importancia. Uno de los problemas mayores que surgen durante la cocción de los materiales cerámicos

antiácidos es llegar a una completa expulsión de todos los gases que se forman en el interior de la pieza.

Normalmente las arcillas contienen materia orgánica que, al llegar a cierta temperatura, se desprende en forma de productos volátiles (CO_2), juntamente con el agua de combinación y de amasado.

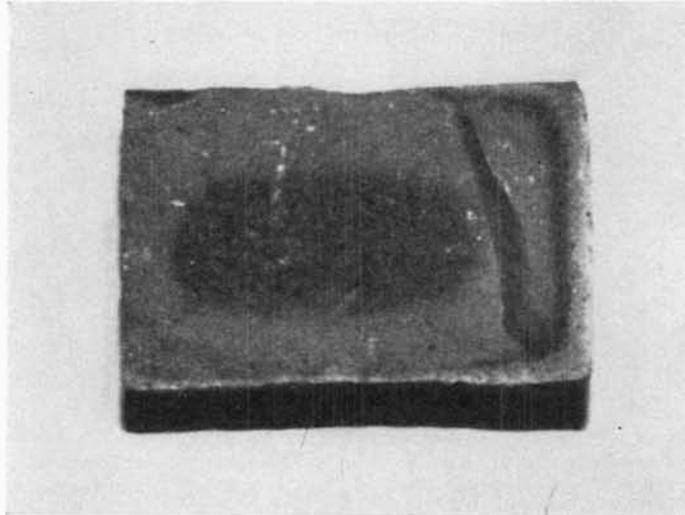


FIG. 6.—Diferencias de intensidad de color en el interior del ladrillo.

Si la temperatura del horno no se encuentra bien regulada, la parte exterior de la pieza puede vitrificar, cerrándose los poros abiertos, lo cual impide la salida de los gases y también el acceso del oxígeno necesario para completar la combustión.

Si los gases que se producen no pueden ser expulsados, se forman en el interior de las piezas abultamientos, agrietamientos y esponjamientos junto a un residuo carbonoso en la zona exterior (figs. 7, 8 y 9). Asimismo, y a causa de la falta de oxígeno, se produce una zona negra o corazón negro, debido a que el óxido de carbono que se desprende reduce al óxido de hierro (fig. 6).

También se encuentra un residuo carbonoso cuando para la cocción se emplean productos de carbón, debido a la condensación del vapor del alquitrán, sobre todo en atmósfera reductora.

En muchas ocasiones se encuentran dos zonas de distinto color, lo cual indica que se ha producido una oxidación y una reducción (figs. 6, 7 y 9). Los ma-

teriales refractarios, por ser mucho más numerosos, no presentan normalmente estos problemas.

La elevación de temperatura ha de ser muy lenta y entre los 600 y 800° C debe producirse un estacionamiento a fin de eliminar totalmente los gases que pudieran formarse, sin cerrar las paredes exteriores, y lo mismo debe hacerse

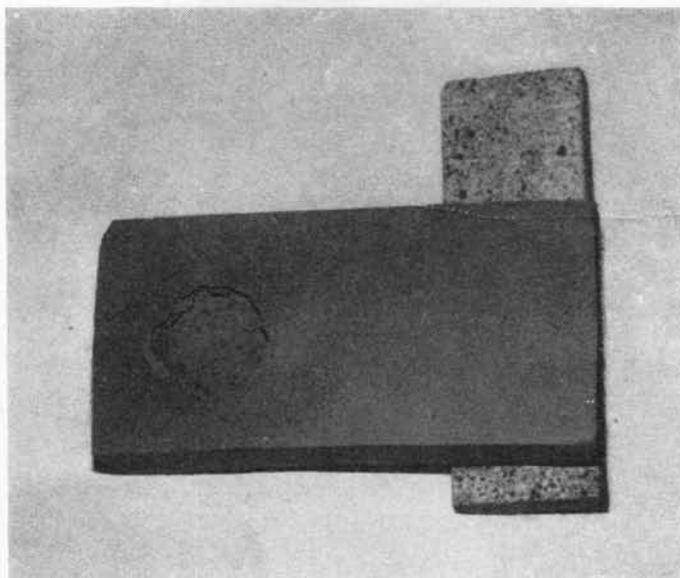


FIG. 7.—Estado interior de hinchamiento del ladrillo, debido a la galletera o a la cocción. Fuerte reducción, debida a la falta de oxígeno al sinterizar las paredes exteriores. Pueden observarse asimismo residuos carbonosos.

a la temperatura máxima de cocción de la pieza. Estos estacionamientos deberán ser más o menos largos según el tamaño y grosor de las piezas (fig. 10).

De todo lo expuesto se deduce que la calefacción debe ser lenta (no se debe aumentar la temperatura hasta que todos los gases hayan sido expulsados), pues, como ya se ha dicho, al reducirse la porosidad se originan los inconvenientes citados anteriormente. Estos defectos se pueden eliminar desgrasando las pastas con cuarzo finamente molido o con chamota de granulometría adecuada, seleccionada de acuerdo con el tamaño de la pieza. Creemos que la granulometría más idónea es la que se cita en el apartado III.

El agua de amasado se pierde totalmente entre los 100° C y los 200° C. El agua de constitución comienza a desprenderse a los 400° C y termina hacia los

600° C, aunque la expulsión de sustancias volátiles no termina hasta unos 800° C. A partir de los 1.000° C, y hasta los 1.350° C, se produce una fuerte contracción

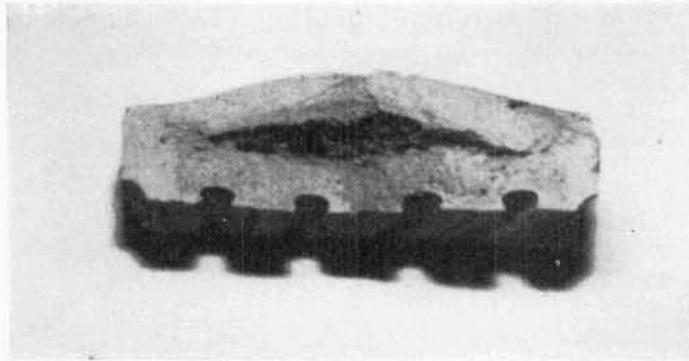


FIG. 8.—Loseta con buen vacío. La sinterización exterior ha sido muy rápida, y los gases no han podido eliminarse durante la cocción. Su dilatación es la responsable del agrietamiento producido.

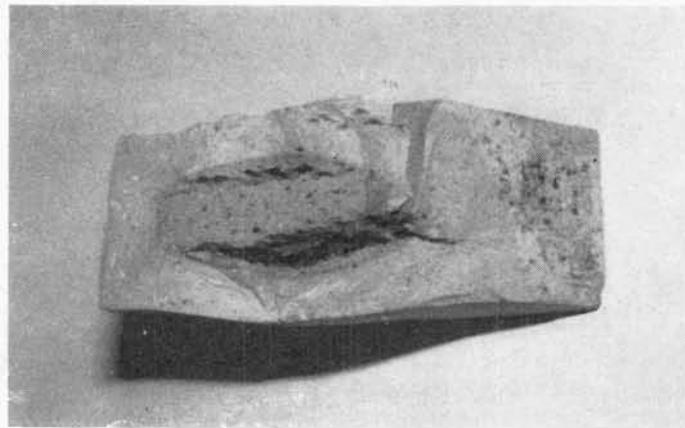


FIG. 9.—Defectos diversos en una pieza: a) Abultamiento producido durante la cocción, debido a la sinterización de la zona exterior antes de la expulsión total de los gases. b) Mal vacío. c) Mancha negra y formación de FeO. Durante la reducción, el FeO forma una capa que vitrifica, al rebajarse el punto de fusión y sinterización, impidiendo la salida de los gases.

y seguidamente se presenta una dilatación, por cuyo motivo debe tenerse mucha precaución cuando se realiza la cocción entre estas temperaturas, ya que pueden formarse pequeñas grietas en el material.

El peso específico va sufriendo oscilaciones durante la elevación de la temperatura. Primeramente aumenta hasta los 250°-300° C, debido a la contracción que se produce; a continuación disminuye hasta los 800°-900° C por no producirse sensibles variaciones dimensionales y estar ocurriendo pérdidas de peso por calcinación.

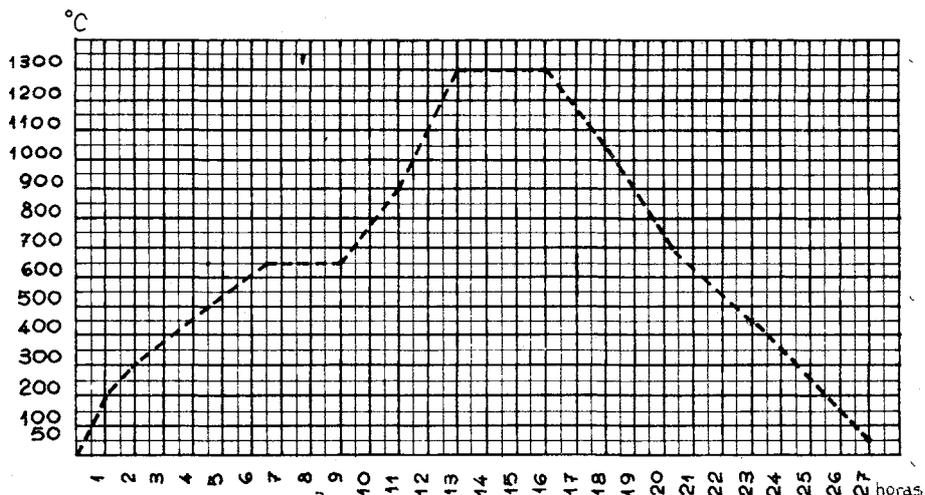


FIG. 10.—Curva de cocción.

A partir de estas temperaturas vuelve a elevarse marcadamente el peso específico, debido a que el peso del ladrillo se mantiene ya prácticamente constante y aumenta sin embargo la contracción. Posteriormente vuelve a disminuir por efecto de la dilatación producida.

Se ha observado y ensayado que, con temperaturas más bajas y con un tiempo prolongado de cocción, se obtienen mejores productos que cuando se emplean temperaturas altas y corto tiempo de cocción. Este tiene una gran influencia en las pastas ricas en fundentes.

ENSAYOS SOBRE PRODUCTOS ACABADOS

VII. Variaciones en la contracción

Debido a las irregularidades que pueden producirse a causa del prensado, del moldeo y de la extrusión, así como a la irregular distribución del agua, durante el secado y la cocción se produce una contracción irregular. Hemos trabajado sobre este problema con el fin de poder conocer lo más exactamente posible estas variaciones en las masas plásticas y de semiseco.

Hemos observado que la contracción varía durante el secado, según que la pieza se apoye sobre madera, vidrio, chapa o madera prensada. La evaporación del agua no es uniforme en toda la superficie de la pieza y, por ello, la contracción que se produce no es homogénea.

Han sido comprobadas cien piezas, y se ha visto, que la contracción que tiene lugar en piezas fabricadas con la misma pasta depende del grosor y de la longitud de la pieza. En la tabla I se muestran las contracciones lineales que sufren, por cocción, piezas de diferentes longitudes. También se puede observar que la contracción por cocción no es la misma según las distintas dimensiones de una pieza.

TABLA I

Contracción por cocción en piezas de diferentes tamaños

| Longitud de las piezas m/m | Contracción % |
|----------------------------------|------------------|
| <i>Masas plásticas</i> | |
| 800 | 5,63 |
| 500 | 5,97 |
| 450 - 500 | 6,71 |
| 400 - 450 | 7,25 |
| 350 - 400 | 7,25 |
| 300 - 350 | 7,29 |
| 250 - 300 | 7,35 |
| 200 - 250 | 7,54 |
| 150 - 200 | 7,89 |
| 100 - 150 | 8,29 |
| 50 - 100 | 8,33 |
| 50 | 9,75 |
| <i>Masas de semiseco</i> | |
| Ladrillos normales | 1 % |
| Piezas mayores de 300 m/m | 0,7 % |
| Piezas menores de 300 m/m | 1 % |

VIII. Resistencia mecánica

En la tabla II se puede observar la relación obtenida entre la resistencia mecánica y la porosidad aparente. Como era de esperar, cuanto menor sea ésta, mayor resistencia se obtiene.

TABLA II

Relación de la resistencia en frío con la porosidad aparente

| Porosidad aparente % | Resistencia en frío Kg/cm ² |
|-------------------------|---|
| 5 - 6 | 1.200 |
| 6 - 7 | 1.200 |
| 7 - 8 | 1.150 |
| 8 - 9 | 1.100 |
| 9 - 10 | 1.040 |
| 10 - 11 | 1.019 |
| 11 - 12 | 800 |
| 13 - 14 | 770 |
| 14 - 15 | 746 |

Estos ensayos han sido realizados sobre piezas cuyo aspecto parecía indicar que habían sido cocidas de manera homogénea.

Hemos realizado ensayos sobre las variaciones producidas cuando los materiales cerámicos antiácidos se han tenido almacenados al aire libre. Esta experiencia puede estar sujeta a errores, debido a las diferencias que se suelen encontrar a veces en probetas tomadas de un mismo ladrillo (en los materiales cerámicos antiácidos estas diferencias no se encuentran tan marcadas como en los ladrillos refractarios). Para evitar en lo posible este inconveniente, hemos preparado en primer lugar las probetas y calculado su porosidad aparente y agua absorbida (sobre productos homogéneos después de cocidos). Todas las probetas que presentaban unos resultados iguales o muy parecidos fueron agrupadas. Se procedió a romper cuatro probetas de cada grupo, presentando cada uno de estos grupos distintos valores en su porosidad y agua absorbida, las restantes fueron expuestas al aire libre y se fueron rompiendo cada dos meses durante el espacio de un año.

Las variaciones observadas han sido las siguientes:

| | | |
|----------------|--------------------|------------|
| A los 2 meses | no se observa | variación. |
| A los 4 meses | su valor se reduce | en 0,69 % |
| A los 6 meses | íd. | íd. 3,42 % |
| A los 8 meses | íd. | íd. 5,78 % |
| A los 10 meses | íd. | íd. 8,31 % |
| A los 12 meses | íd. | íd. 9,28 % |

Según va pasando el tiempo, se observa que el material presenta pequeños agrietamientos exteriores a causa de las variaciones de temperatura (heladas, frío, nieve, calor).

IX. Solubilidad en ácido

Para efectuar estos ensayos se ha seguido la norma DIN 51.102, hoja 2.

Se tomaron muestras de ladrillos que presentaban valores distintos en la absorción de agua y porosidad aparente. En la tabla III, pueden verse los valores obtenidos y se aprecia que al aumentar la absorción de agua, aumenta también la solubilidad. Ello es debido a que, al ser más poroso el material, la zona de

TABLA III

Ensayos sobre productos cerámicos que presentan una buena cocción

| Agua absorbida % | Solubilidad en ácido % | Cambios bruscos n.º |
|---------------------|---------------------------|------------------------|
| 2,70 | 0,69 | 8 |
| 2,80 | 0,75 | 10 |
| 3,26 | 0,88 | 10 |
| 5,35 | 1,03 | 14 |
| 6,10 | 1,02 | 15 |
| 6,10 | 1,33 | 15 |
| 6,30 | 1,11 | 11 |
| 6,33 | 1,35 | 15 |
| 6,40 | 1,20 | 15 |
| 7,48 | 1,29 | 15 |
| 7,60 | 1,33 | 15 |
| 7,62 | 1,51 | 15 |

contacto es más amplia entre el líquido corrosivo y el material cerámico y, por lo tanto, el ataque es mayor.

También se han realizado ensayos sobre ladrillos cocidos a unos 20 a 30° C por debajo de la temperatura idónea. Los valores medios obtenidos aparecen en la tabla IV y puede observarse que la solubilidad es mucho más alta.

TABLA IV

Ensayos sobre productos cerámicos que presentan una cocción regular

| Agua absorbida % | Solubilidad en ácido % |
|---------------------|---------------------------|
| 6,40 | 2,13 |
| 7,00 | 2,34 |
| 8,25 | 2,94 |
| 8,50 | 3,53 |
| 9,15 | 3,49 |
| 10,45 | 4,71 |

Como ya se ha dicho anteriormente, en el interior de las piezas se forma una zona oscura debido principalmente a la falta de oxígeno (figs. 3, 6 y 9). Para comprobar su importancia se realizó una serie de ensayos sobre esta zona. No se han encontrado diferencias apreciables incluso los resultados en numerosas ocasiones han sido más satisfactorios. Esto indica que la sinterización es buena y puede decirse que el resultado medio de todos los ensayos ha resultado un 0,13 % superior, lo que probablemente es debido a algún residuo carbonoso presente y a la existencia de FeO más fácilmente atacable que el Fe_2O_3 .

TABLA V

Materiales cerámicos fabricados con 38 - 42 % Al_2O_3

| Agua absorbida % | Porosidad aparente % | Solubilidad en ácido % |
|---------------------|-------------------------|---------------------------|
| 2,67 | 4,75 | 1,82 |
| 4,62 | 10,02 | 1,99 |
| 6,90 | 14,80 | 3,68 |
| 10,30 | 20,90 | 4,86 |

Se han realizado ensayos sobre materiales cerámicos con un contenido en Al_2O_3 entre 38 y 42 % y que presentaban buena cocción. Los resultados se detallan en la tabla V. Comparando estos valores con los de la tabla IV, puede afirmarse que, al aumentar el contenido de Al_2O_3 , se aumenta la solubilidad. Por esta razón se piensa que el contenido máximo que deben tener los materiales cerámicos antiácidos ha de mantenerse entre 28 y 30 % de Al_2O_3 , porcentaje que presentaban los de la tabla III.

X. Cambios bruscos de temperatura

Se ha seguido la norma DIN 1.068, procedimiento 2.

El ensayo se realiza a una temperatura máxima de 550°C y seguido de enfriamiento en agua a 20°C .

Los valores obtenidos se recogen en la tabla III. Como es natural, el aumento de porosidad favorece la resistencia al choque térmico.

XI. Erosión

Se ha seguido la norma DIN 52.108. Los resultados han variado en la forma siguiente:

| Absorción agua % | Resistencia mecánica Kg/cm^2 | Erosión cm^3 |
|---------------------|--|--------------------------|
| 3,42 | 1.200 | 12 - 13 |
| 5,65 | 989 | 13 - 14 |

Se consideran buenos resultados los inferiores a 15 cm^3 , si bien son admisibles hasta $16-17 \text{ cm}^3$. Como es natural, ello depende del lugar donde vayan a ser colocadas las piezas.

XII. Conclusiones finales

1) Las características que deben presentar los materiales cerámicos antiácidos, según lo expuesto en el presente trabajo, deberán ser las siguientes:

| | |
|---------------------------------|-------------------------------|
| Al_2O_3 | menor de 30 % |
| Fe_2O_3 | menor de 2 % |
| Agua absorbida (*) | menor de 6,5 % |
| Densidad aparente | mínimo 2,1 g/cm^3 |
| Resistencia mecánica | mayor de 700 Kg/cm^2 |
| Resistencia a la flexión | mayor de 150 Kg/cm^2 |

(*) Dependerá de las exigencias de la instalación.

2) Las piezas deben estar exentas de grietas, tanto exteriormente como en su interior. No deben aparecer zonas de piritita fundida.

3) Es condición indispensable que los materiales presenten una buena cocción.

4) La mancha oscura, que presentan algunas piezas en su interior, no tiene ninguna importancia, siempre que el ladrillo ofrezca en su interior una textura sin agrietamientos y una buena cocción.

5) Los cambios bruscos de temperatura que deberá soportar el material, dependerán del agua absorbida y de la porosidad aparente exigida. Normalmente, deben oscilar entre 8 a 12 como mínimo.

6) Los materiales no deberán ser almacenados al aire libre durante un espacio largo de tiempo, sobre todo en las regiones donde las inclemencias del tiempo sean fuertes.

Todos los materiales antiácidos deben estar escrupulosamente secos antes de su utilización, ya que los "mastic" a emplear pierden parte de sus propiedades o incluso todas, si se ponen en contacto con el agua antes de que se produzca su endurecimiento.

7) La tolerancia en las medidas deberá ser:

Piezas moldeadas en plástico $\pm 2,5$ %
Piezas moldeadas en semiseco $\pm 1,0-1,5$ %

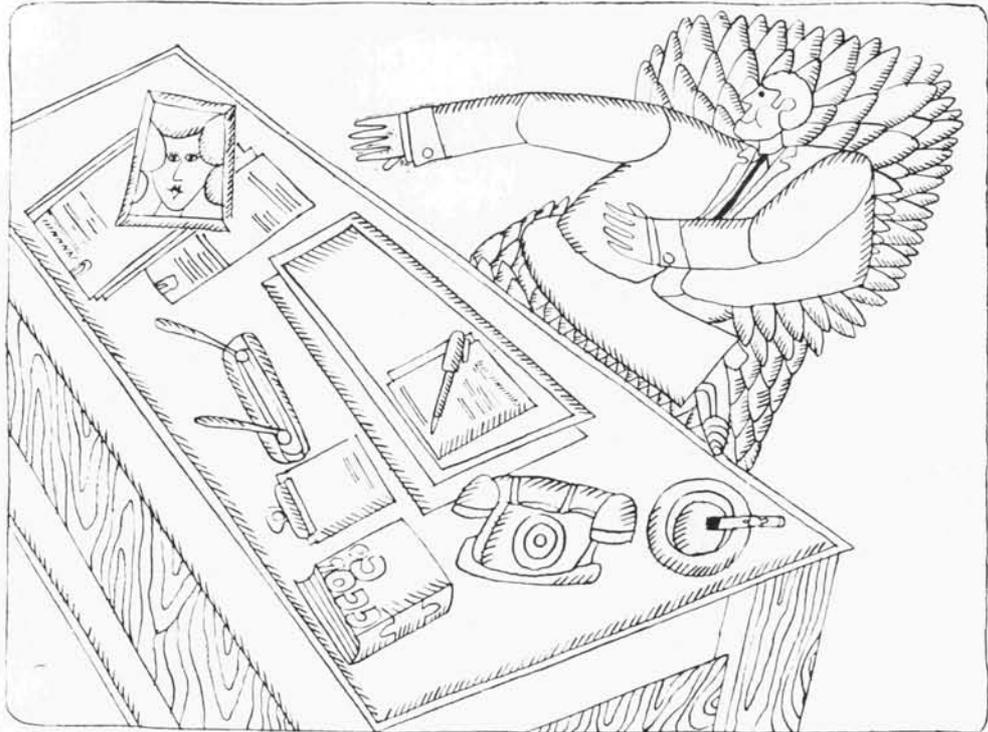
8) La erosión no deberá ser superior a 16,0 cm³.

Por último hay que añadir que, debido a la porosidad abierta de los ladrillos cerámicos antiácidos y a la existencia de juntas, es necesario impermeabilizar con "mastics" o pastas anticorrosivas, las paredes del recipiente, para evitar el riesgo de que el producto químico llegue a hacerse sentir sobre éstas.

BIBLIOGRAFIA

KARL FALCKE, F., "Kleines Handbuch des Säureschutzbaues", *Verlag Chemie*. G.m.b.H. Weinheim.
A. NIESPER, A., "Tontrocknung", *Bauverlag G.m.b.H.* Wiesbaden, Berlin.
SALMANG, H., "Fundamentos físico-químicos de la cerámica", Edit. Reverté. Barcelona, 1955.
SCHÜCKING, G., "Korrosionsschutz und Werkstoffe. Probleme des modernen Säurebaues".
PUKALL, W., "Über die Vorgänge beim Brennen keramischer Waren", *Sprechs.* 10-12 (1928).
HEINE, K., "Das Wärmestromdiagramm des Tunnelofens und sein Verhalten unter veränderlichen Betriebsbedingungen", *Ber. Deut. Ker. Ges.*, 36 (7) (1959).
WINNACKER, K. y WEINGAERTNER, E., "Tecnología química".
USÓN, R y F. RASCÓN, B., "Estudio sobre pastas anticorrosión basadas en materiales bituminosos", Universidad de Oviedo.

No importa que este empresario tenga un mínimo de 20 empleados



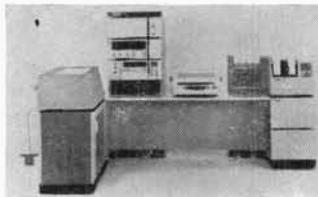
**PARA VD. QUE PIENSA QUE NO NECESITA
UN ORDENADOR**

IBM le ofrece su Sistema/3 capaz de resolverle todo lo relacionado con Facturación, Ventas, Distribución, Nómina, Inventario, Almacenaje, Pedidos, etc., *Vd. sabe que su empresa seguirá creciendo: nosotros también lo prevemos, y por eso, los técnicos de IBM han creado el Sistema/3 para empresas como la suya, empresas que hoy son pequeñas pero que mañana pueden ser grandes complejos económicos. El nuevo Sistema/3 es un ordenador de asombrosa capacidad, totalmente revolucionario, con posibilidades de crecer al ritmo que Vd. le imponga. Ahora es posible conseguir un ordenador que solamente ocupa lo que una mesa de despacho y cuyo tamaño, en el futuro, sólo dependerá de Vd. ¡Disfrute su sillón!

IBM S.A. - Depto. Marketing - P.O. Box 100 - Madrid 1 - Tel. 2248940

Nombre: _____
Código: _____
Empresa: _____
Dirección: _____
Código Postal: _____
Teléfono: _____

Este formulario es propiedad de IBM. Reservados todos los derechos. No se permite la reproducción total o parcial del contenido de este documento sin el consentimiento escrito de IBM.



IBM
SISTEMA/3

N O T A

Se prorroga el plazo de información pública de las propuestas de Normas UNE de materiales refractarios, hasta el 31 de marzo de 1970.