

- Instituto Técnico de la Construcción y del Cemento -

642-1 LADRILLOS SILICOCALCÁREOS. SU FABRICACION

Editorial

Los ladrillos corrientes de arcilla son - y serán durante mucho tiempo - el material clásico para la construcción de muros. Sin embargo, el empleo de ladrillos silicocalcáreos, material de construcción relativamente moderno, va cobrando auge de día en día, especialmente en aquellas regiones en que las condiciones particulares - hacen posible una competencia con los ladrillos de arcilla, en pie de igualdad con respecto a la cuestión vital de precios. Pero, además, en otros muchos lugares van imponiéndose también, en reñida lucha, lo cual indica que sus características y propiedades pueden compararse -sin ningún temor- con las de los ladrillos de arcilla, llegando a ser preferidos a estos últimos en algunos casos.

La industria de los ladrillos silicocalcáreos ha alcanzado un desarrollo extraordinario en diversos países - Alemania, Inglaterra, Estados Unidos, etc.-; pero, en cambio, en España parece no -tarse todavía una cierta indecisión con respecto a los mismos.

Esta es la razón de que hayamos creído conveniente tratar este tema con un cierto detenimiento, procurando, en lo posible, poner al descubierto cuanto de interesante existe sobre el mismo.

Asimismo hemos procurado recopilar el mayor número posible de información bibliográfica, con el fin de facilitar la labor a quien quiera profundizar más en algún detalle particular que pudiera interesarle, pues comprendemos que este pequeño trabajo ha de contrar su finalidad en servir como guía general; de forma que, en cada caso, serán necesarias, sobre las directrices generales, una investi

gación minuciosa junto con una labor experimental completa, que permitan establecer las bases para la fabricación de ladrillos silico-calcareos de excelente calidad y de precio adecuado.

GENERALIDADES

Los ladrillos silicocalcareos constituyen un material de construcción relativamente moderno. En el año 1866, Van Dorburgh patentó, en Inglaterra, el procedimiento de curado en autoclave para lograr el endurecimiento de los ladrillos; posteriormente, en 1880, Michaëlis, en Alemania, desarrolló y perfeccionó este proceso, estableciendo una nueva patente. A pesar de todo, sólo a partir de 1898 se comenzó a fabricar, en Alemania, este tipo de ladrillos.

Los ladrillos silicocalcareos se fabrican con cal y arena, que se mezclan íntimamente, con la cantidad precisa de agua; se moldean por prensado y se someten a un tratamiento con vapor de agua a presión en autoclave para conseguir resistencias elevadas.

Esta es, en líneas generales, la fabricación de dichos ladrillos; pero, en cuanto se entra en detalles, se encuentran una serie de variantes y posibilidades, según las materias que, aparte de las clásicas, pueden emplearse y según los procedimientos seguidos para el apagado y para cada uno de los pasos de la elaboración.

MATERIAS PRIMAS

Tal como hemos apuntado anteriormente, las materias primas necesarias son: arena, cal y agua. A continuación, vamos a examinar las condiciones que han de satisfacer todas ellas.

a) Arena

Constituye el 90% del ladrillo, debiendo ser, según

las experiencias de la Building Research Station, rica en sílice^(*), limpia, granular y poder pasar por el tamiz de 400 mallas. Si la arena es gruesa y angulosa, faltan los finos que permiten conseguir una estructura compacta; y si es gruesa, de un solo tamaño, o con gran proporción de finos, se tropieza con una gran dificultad para trabajar la mezcla.

Además, una arena extraordinariamente fina presenta los inconvenientes de exigir un consumo superior de cal y de determinar que la reacción con cal, bajo la acción del vapor de agua, transcurre demasiado rápidamente, con lo cual los silicatos cálcicos se forman en estado coloidal, lo que determina grandes variaciones de volumen durante el secado de los ladrillos. Por todos estos motivos, es preciso que la granulometría continua de la arena sea la óptima; una proporción justa de finos determina una estructura compacta, facilitando además el prensado, de la misma forma que la proporción de granos de tamaños máximo -impuesto por el prensado y la apariencia externa- ha de estar limitada. Según Albert, los tamaños de los granos de arena deben estar comprendidos entre 0,50 y 0,09 mm.

Si la arena se encuentra húmeda, se deja en montones para que se seque; las vagonetas para su transporte hasta la fábrica tienen el fondo perforado, con el fin de que la arena pierda el agua.

(*) Se considera que la arena es muy buena, si contiene más de 95% de sílice; pero también se pueden emplear arenas que contengan una cantidad menor, pero superior al 80%.

En lugar de arena puede emplearse roca silícea triturada, esquisto bituminoso o carbonífero, casquijo de ladrillo (algunas características particulares de este material pueden influir perjudicialmente sobre ciertas propiedades particulares de los ladrillos silicocalcáreos, como, por ejemplo, su resistencia a la helada), escorias, etc.

Una cuestión muy interesante con respecto a la arena es la de sus impurezas, por la influencia que pueden tener sobre la resistencia y propiedades, en general, del ladrillo. Las principales impurezas que puede presentar una arena son las siguientes:

1) Materias minerales que recubren los granos de arena.

La arcilla puede ser beneficiosa en algunos casos, pero también puede provocar efectos perjudiciales. Finamente dividida, aumenta la docilidad, favorece el prensado, da un color más suave y la estructura conseguida es muy uniforme; además, eleva considerablemente la resistencia, tanto del ladrillo verde como del producto final.

Por el hecho de aumentar la plasticidad, permite que el prensado se realice a menor presión y por tanto, que el desgaste de los moldes es, por consiguiente, menor. Simultáneamente, la densidad queda incrementada, disminuyendo la permeabilidad.

Cuando la arena contiene arcilla, la superficie de los ladrillos es extraordinariamente suave, lo cual puede constituir una desventaja si posteriormente se han de revocar.

Desde luego, si la cantidad de arcilla que acompaña a la arena fuese muy grande existiría el peligro de que rodease a los granos de aquélla, impidiendo que tuviesen lugar las reacciones que suelen producirse entre la sílice y la cal, con lo cual se reduciría la

resistencia a compresión y a la helada, y aumentaría la retracción. Si estuviese en nódulos, reducirían la durabilidad, siendo preciso eliminarlos, bien por un simple tamizado, o bien proceder a su trituración; aunque, entonces, se tiene el peligro de que no se mezcle bien con la arena, siendo preciso realizar una mezcla eficaz que nos permita conseguir la trituración de los terrones y su distribución homogénea.

Es preciso llevar un control eficaz, pues corrientemente el contenido en arcilla de las arenas suele sufrir grandes oscilaciones. El contenido tolerado es variable, ya que depende de la granulometría de la arena, del proceso de fabricación y del tipo de ladrillo requerido: los límites que suelen fijarse son 4-10%.

Cuando la arena no contiene arcilla, puede incluso procederse a añadírsela. Albert, en este aspecto, ha realizado diversas experiencias, con las que ha comprobado que mediante la adición de arcilla se eleva la resistencia, tanto mecánica como a la helada, aumenta el peso específico, se reduce el volumen de poros y la absorción de agua, creciendo el tiempo de secado de las probetas embebidas en agua.

Según la opinión de este mismo autor, la acción de la arcilla se debe a su proporción de finos, pudiéndose afirmar que, en general, su acción más definida es la de constituir un aglomerante, extraordinariamente valioso. Desde luego, lo que aún se ignora es la forma en que reacciona dicha arcilla en estos ladrillos bajo la acción del vapor de agua.

Son semejantes a la arcilla por su acción, el carbonato cálcico y el óxido de hierro; de ambos se puede decir que, si no recubren los granos de arena, no determinan ningún efecto importante,

apareciendo como un material inerte. El último proporciona un color rojizo.

2) Granos minerales que no sean de sílice.

Pueden existir granos de feldespato, mica, glauconita, magnesita, etc. En general, no suelen ser perjudiciales; únicamente, en el caso del feldespato (silicoaluminato sódico, potásico y cálcico) puede producirse su descomposición bajo la acción del vapor de agua, con lo cual quedarían libres álcalis, que podrían atacar al ladrillo, al menos según la opinión de Bossey. Pero, por otra parte, Albert ha comprobado que la adición de aplita de Szokesfóhorvar (55-60% cuarzo, 45-40% feldespato sódico-potásico) eleva la resistencia del ladrillo, lo cual lo hace pensar que los álcalis juegan algún papel en la reacción hidrotérmica.

3) Sales solubles.

En general son perturbadoras, ya que pueden provocar la aparición de eflorescencias, aunque parece ser que no es frecuente tal cosa. De modo particular, los cloruros afectan a la durabilidad y las sales alcalinas alteran las pinturas al óleo que pueden aplicarse sobre dichos ladrillos.

4) Materia orgánica.

Determinan una decoloración del ladrillo, reduciendo también la resistencia.

b) Cal

Como tal puede utilizarse cal grasa (90% CaO, por término medio) o cal hidráulica (75-85% CaO, por término medio, junto con componentes hidráulicos que desempeñan un papel extraordinario

riamente importante en el endurecimiento del ladrillo). La elección de una u otra depende de la clase y composición granulométrica de la arena y de las resistencias que se desea alcanzar para el ladrillo verde y para el ladrillo acabado.

En general, se puede indicar que las arenas con granos de tamaños diferentes y las arenas con arcilla requirieron el empleo de cal hidráulica, mientras que con las arenas gruesas, de un solo tamaño de grano, o con arenas muy finas, suele utilizarse cal grasa.

En cualquiera de ambos casos, la cal debe estar libre de impurezas. La cal comercial contiene tantos por ciento variables de carbonato cálcico, magnesia, sílice, alúmina, óxido de hierro, álcalis, sulfatos, etc., que, en general, no serán perjudiciales (excepto la magnesia) con tal de que en la mezcla exista una cantidad mínima de CaO eficaz. El carbonato se encuentra en una proporción del orden del 5-7%; en general no perjudica, sino que actúa únicamente como relleno,^(*) siendo el solo inconveniente el tenerse que emplear mayor cantidad de cal. Si la cantidad de magnesia es elevada (superior a 3%), la cal en cuestión no debe utilizarse para la fabricación de ladrillos silicocalcáreos; no obstante, si se encuentra totalmente hidratada no perjudica a la calidad de los ladrillos, actuando únicamente como materia inerte de relleno. En el caso particular de las cales hidráulicas, la suma (sílice + alúmina) no debe ser superior al 5%.

(*) Por este motivo, no interesa emplear cal poco cocida, debido a que llevará una elevada proporción de carbonato cálcico.

La cal debe hallarse totalmente apagada antes de someter el ladrillo al tratamiento en autoclavo; pues al verificarse el apagado experimenta una expansión, de modo que si el ladrillo estaba ya moldeado se produciría su agrietamiento. Esta es la razón de que no interese utilizar cal muy cocida; pues su apagado transcurre con extraordinaria lentitud y, por tanto, al introducir los ladrillos en el autoclave todavía no se ha apagado totalmente.

La función de la cal es la de ligar la arena, proporcionando, en primer lugar, una resistencia suficiente a los ladrillos verdes, y reaccionando, después, con la arena, dando lugar a la elevada resistencia final de los ladrillos. En este sentido, debemos indicar que la finura de la cal apagada ofrece un interés especial; cuanto mayor sea dicha finura, la proporción de cal que es preciso emplear será menor, pues recubrirá mejor a la arena. Es conveniente, por tanto, proceder a una separación de los gruesos (que suelen encontrarse, generalmente, sin apagar); aunque, si dicha separación se lleva a cabo mediante corriente de aire, existe el peligro de que se produzca la carbonatación de la cal (en general, el 70-95% debe pasar por el tamiz de 4.900 mallas).

Se ha de mencionar, como nota interesante, que en Alemania se ha utilizado, con resultados excelentes, la cal que aparece como subproducto en la fabricación de caucho buna (*). Esta cal presenta la siguiente composición: 65% de CaO, 20% de agua químicamente combinada, 5% de agua unida físicamente, 5% de cloruro de hierro y cloruro de aluminio e indicios de amoníaco.

(*) En este caso, Schmid considera que la composición granulométrica óptima de la arena es la siguiente:

mm	1,5-3,0	1,0-1,5	0,5-1,0	0,3-0,5	0-0,3
%	15	8,25	41,10	27,40	8,25

c) Agua

No debe contener grandes cantidades de sales solubles, ni debe estar contaminada por materia vegetal.

Según afirma Endell, las experiencias realizadas sobre el apagado de la cal condujeron al empleo de agua a ebullición, aprovechándose el agua caliente procedente de otros destinos en la misma fábrica. En los condensadores de las calderas de vapor, sólo hay cantidades muy pequeñas de sales y sustancias extrañas que no suelen actuar perjudicialmente. En el condensador de los autoclaves, el agua no sólo lleva cal, sino también ácido silícico (en forma de sal soluble), que no sólo no es nocivo, sino que es de esperar que formará silicatos cálcicos, que coadyuvarán al endurecimiento final del ladrillo.

d) Adiciones

Con el fin de elevar la resistencia suelen añadirse a la mezcla de arena-cal-agua diversas sustancias, tales como: sílico (materiales silícicos en general), materiales puzolánicos, desechos de vidrio (todos ellos finamente molidos), cemento portland y azúcar de caña (0,3%).

Además, si se desea que el ladrillo silicocalcáreo presente otro color, está tolerada la adición de diversos pigmentos (*); entre los cuales podemos citar: óxidos de hierro (colores marrón y rojo), ocros (colores amarillo, ante), óxido crómico (color verde);

(*) Los pigmentos empleados han de ser minerales, que no sean atacados por la cal, vapor ni exposición a la luz.

el azul ultramarino y el Prusia no pueden utilizarse para los ladrillos silicocalcáreos.

Teniendo en cuenta que en estos ladrillos, una vez terminadas todas las operaciones de preparación, todavía existe una cierta cantidad de Ca(OH)_2 libre (5-10%), la coloración se puede conseguir por otro procedimiento. El ladrillo se sumerge en solución acuosa de SO_4Fe , SO_4Cu ó $\text{Cr}_2\text{O}_7\text{K}_2$; en el primer caso se forma Fe(OH)_2 , que, por oxidación por la acción del aire, pasa a Fe(OH)_3 (de color marrón amarillento), mientras que en los otros dos casos se forma Cu(OH)_2 (de color verde), y CrO_4Ca . (de color amarillo).

La cantidad utilizada de pigmento es del orden de 1/4-3% de la masa total; si se aumentase la cantidad, se reduciría la resistencia.

PROCESOS DE FABRICACION

La fabricación de los ladrillos silicocalcáreos no presenta, en general, grandes dificultades, habiéndose conseguido recientemente grandes progresos, sobre todo en la forma de realizar la mezcla y apagado de la cal. Actualmente, todos los procesos de la fabricación se encuentran mecanizados casi por completo, lo cual determina una homogeneidad de producto y una calidad constante.

Los diversos estadios de la fabricación de ladrillos silicocalcáreos son los siguientes:

a) Dosificación

Inicialmente, Van Dorburgh utilizó mezclas de 1 parte (en peso) de cal y 10 partes (en peso) de arena (lo que representa un 9-11% de cal); posteriormente, Michaelis empleó la proporción de 10-40

partes (on peso) de cal apagada en 100 partes (on peso) de arena (lo cual representa un 5-21% de cal).

Desde luego, cuanto mayor es la cantidad de cal mayor resistencia se alcanza. La cal necesaria para lograr la máxima resistencia depende de la arena, siendo tanto mayor cuanto más fina es la arena; pero, en este caso, el máximo de resistencia será superior al que corresponde cuando se utiliza arena gruesa. Desde luego, en la práctica la cantidad de cal utilizada es la mínima requerida. Normalmente se suele establecer en 5-9% del peso de la mezcla seca; ahora bien, no todos los autores concuerdan en estas cifras, y así, por ejemplo, Albert fija la proporción de 6-12%. En el caso particular de la cal buna, Schmid estableció la proporción de 3.500 Kg de arena por 400 Kg de cal apagada.

b) Mezcla y apagado

Para alcanzar una calidad óptima, junto con una resistencia elevada, es preciso que la mezcla de cal y arena sea íntima y completa.

La forma de llevar a cabo la mezcla y el apagado, aunque con ligeras variantes según el procedimiento, puede resumirse del siguiente modo: Se realiza una mezcla previa, se procede al apagado de la cal en la mezcla preparada, y se vuelve a llevar a cabo una nueva mezcla, procurándose una distribución homogénea y la desaparición de los terrones que se hayan podido formar.

Para realizar la mezcla, tanto antes como después del apagado, se van imponiendo, cada día más, los mezcladores en contrarrotación; con los cuales, según afirma Endell, se consiguen resultados francamente excelentes. Con dichos mezcladores, una masa ya apa-

gada, cuyo aspecto es seco, cambia totalmente de apariencia al someterla a un amasado posterior, adquiriendo un tono más oscuro y una consistencia de tierra húmeda, apta para el prensado; es decir, se consigue, para una misma cantidad de agua, una mayor docilidad, o, lo que es lo mismo, se requiere menos agua para conseguir una buena masa, propia para el prensado. De esta forma, con una pequeña cantidad de agua los ladrillos verdes son resistentes, y no se deshacen al condensarse, al principio, el vapor del autoclave.

Pero, además, el aumento conseguido en la resistencia del ladrillo acabado es considerable, llegándose a la conclusión, como consecuencia práctica, de que puede rebajarse el consumo de cal.

El apagado puede realizarse en silo o en tambor: la elección de uno u otro método depende de la cal utilizada, de la naturaleza de la arena, etc.

1) Procedimiento de silo

Es adecuado para la cal de cocción blanda; actualmente, gracias al control del proceso de cocción, incluso en los hornos verticales de gran producción puede obtenerse cal débilmente cocida, y apagarla en silo, una vez molida suficientemente, mediante la propia humedad de la arena, o mediante una ligera adición de agua si aquélla es insuficiente. El apagado puede acelerarse añadiendo agua caliente al realizar la mezcla previa. La temperatura en el silo ha de ser del orden de $70-80^{\circ}\text{C}$; la masa se conserva en el silo de apagado durante 24 horas.

La consistencia de la masa, una vez ya apagada, ha de encontrarse entre la del estado seco y la de tierra húmeda. No suelen formarse apenas terrones, y, por este motivo, este procedimiento es adecuado para lograr la trabazón de los granos de arena mediante la cal.

Actualmente, se han introducido ciertas innovaciones en la técnica del apagado en silos. Suelen estar provistos de un revestimiento aislante, o incluso de calefacción por vapor, con lo cual se favorece el apagado. Además, llevan un pequeño vibrador, que sólo se pone en funcionamiento durante algunos minutos, de vez en cuando, para que la masa no se pegue a las paredes, al vaciarlo.

2) Procedimiento de tambor

Suele utilizarse para las calos que se apagan muy difícilmente. El apagado se realiza con vapor o agua caliente. En realidad, al introducir el agua en el tambor y comenzar el apagado se desprende el calor de hidratación, que determina la vaporización del agua; y si el que se produce no es suficiente, se introduce más vapor (interesa una presión de unos 4 Kg/cm^2).

Normalmente, suele introducirse en el tambor $1/2 - 2/3$ de la cantidad total de arena que se va a emplear, y se añade toda la cal. Se lleva a cabo el apagado y, a continuación, se introduce el resto de la arena; en esta operación, al caer la arena lanza la cal hacia los extremos, dejando en el centro una zona pobre en cal.

Considerando el interés que presenta el conseguir una mezcla íntima, junto con el apagado de la cal, aunque posteriormente se vaya a someter a una nueva mezcla, conviene disponer en el tambor unas paletas, dispuestas en sentido oblicuo, que evitan que se produzca la separación de cal y arena que normalmente tenía lugar en los tambores de apagado, tanto por el motivo indicado como durante el movimiento. Además, en la actualidad, se tiende a utilizar tambores con diámetro ancho y longitud reducida (en forma casi esférica).

El tambor da lugar a la formación de terrones de cal, lo

que constituye una pérdida de la misma, pues no aglomera a la arena. Si no fuese por la mezcla posterior a que se somete, la resistencia del ladrillo quedaría considerablemente reducida. Si no se utilizase un mezclador en contracorriente, como el citado por Endoll, sería preciso emplear un mezclador, provisto además de muelas verticales, con el cual se pudiese conseguir deshacer los terrones y mezclar perfectamente la cal y la arena.

Según la calidad de la cal viva, su grado de finura y la temperatura que exista en el interior del tambor, la duración del apagado oscila entre 15 y 30 minutos; después, una vez concluido el apagado, la mezcla se ha de prolongar, de forma que entre la carga, apagado, mezcla y descarga se requirieron 45-60 minutos. Este tiempo puede reducirse empleando un tambor excéntrico.

Si en lugar de cal viva se emplease cal apagada seca, se mezcla con la arena, directamente en un mezclador, junto con el agua suficiente para poderse prensar. A este caso se ha de referir el empleo de la cal bura; según Schmid, la mezcla se realiza en un sin-fin, transportándose la masa preparada a un silo de almacenamiento - donde se ha de conservar durante largo tiempo.

c) Prensado

La masa, que se va a prensar, ha de tener una consistencia de tierra húmeda. En general, la cantidad de agua que ha de presentarse oscila alrededor del 6%, con variaciones según la arena utilizada. Esta diversidad de valores es debida a la diferencia de **superficie** específica de la arena, de forma que, cuanto mayor es dicha superficie, mayor cantidad de agua se requiere; en el caso de arena con fracción de granos gruesos, 5,5 - 6% de agua; en el de arena de varios tamaños, 6-7,5%, y si la arena es fina, 7-8%. Si la are

na es gruesa, los límites son muy precisos; si es fina, los límites son amplios y no existe el peligro de utilizar agua, de más o de menos, dada la gran cantidad que se emplea.

Si la cantidad de agua no es la justa, la masa, que estará seca o húmeda, no se trabaja bien; los ladrillos verdes no presentan la resistencia precisa, y se rompen antes de introducirlos en el autoclave, si están demasiado secos, o revientan^(*) en ésto, si están demasiado húmedos. Si la mezcla es pobre en cal, es preciso ajustar el contenido en agua más favorable; pues, en caso contrario, los ladrillos se agrietan en el autoclave. En cambio, si el contenido en cal es grande, el de agua puede oscilar ampliamente sin ningún peligro para la resistencia o estabilidad del ladrillo.

Las prensas utilizadas para la fabricación de este tipo de ladrillos son de mesa rotatoria, con una producción de unos 3.000 ladrillos/hora (con ligeras variantes según el tipo).

La presión a que se somete la masa silicocalcárea durante esta operación presenta un extraordinario interés por su relación con la resistencia conseguida en el ladrillo acabado. Se ha comprobado que la presión óptima varía según el contenido en agua; la resistencia crece con la presión hasta un cierto valor de la misma, a partir del cual vuelve a disminuir, aunque el ladrillo es más denso y menos poroso.

La presión, que suele aplicar corrientemente, es de 1000 Kg/cm^2 , tal como especifican Poppel (15.000 libras/pulgada cua

(*) Hay que distinguir entre este caso y el de la rotura de los ladrillos en el autoclave, cuando la cal está mal apagada.

drada), Leduc, de la Roche, etc.

d) Tratamiento en autoclave

Este proceso es, simplemente, un curado bajo la acción del vapor de agua. En sí, el proceso es sencillo, pero no así la explicación de los fenómenos que durante el mismo tienen lugar. Más adelante volvemos sobre esto particular.

Los autoclaves utilizados suelen ser cilíndricos, con un diámetro de unos 2 m, de longitudes variables, según la capacidad (de 20.000 ladrillos o más cada uno).

Al comenzar el tratamiento se condensa una cantidad considerable de vapor sobre los ladrillos; si los ladrillos contienen poca cal y su contenido en agua es demasiado elevado, hasta que absorban algo de agua, en la forma indicada, para que se deshagan en el interior del autoclave. Por este motivo, si es posible (esquinas y aristas vivas) el prensado se ha de realizar sobre una masa con consistencia de tierra húmeda. Una vez vencido este peligro, los ladrillos suelen resistir perfectamente, después, todo el proceso. Se ha comprobado que es conveniente calentar ligeramente los ladrillos antes de introducirlos en el autoclave; pues, de esta forma, se evita, en su mayor parte, la condensación del vapor.

Al principio la presión se eleva rápidamente durante 1 hora, y después se mantiene constante, al valor máximo, durante un cierto tiempo. En ambos aspectos, existen amplias divergencias. Bessey considera que la presión máxima de 8-13,5 at se debe mantener durante 4-15 horas; en el sentido de que, cuanto mayor es la presión, el tratamiento requiere menos tiempo. Otros autores fijan un valor intermedio: 11 at durante 7 horas. Schmid, para el caso de ladrillos si

licocalcáreos fabricados con cal bura, recomienda que se llegue a la presión de 8 at en 3-4 h, manteniéndola después durante 8-9 h. Actualmente, en algunas instalaciones modernas se trabaja incluso con presiones de 16 at.

Desde luego, la presión no puede elegirse libremente. En primer lugar, porque depende de los materiales empleados cual es la presión óptima. Y, en segundo lugar, por motivos económicos. Consideremos brevemente este punto. Bessey indica que hasta 11 at la resistencia del ladrillo crece rápidamente; después, hasta 12,5 at, muy lentamente, Y, aún después, crece con el tiempo y con la presión, a pesar de que se haya combinado toda la cal. Pues bien, si utilizando una presión de 11 ó 12,5 at se alcanza, para los materiales empleados, la resistencia exigida, es evidente que el alcanzar en el autoclave una presión superior es antieconómico.

Sobre las reacciones que tienen lugar bajo la acción - del vapor de agua y sobre los compuestos que se forman existen diversas opiniones, algunas de las cuales vamos a mencionar a continuación:

Ernest considera que existe $\text{Ca}(\text{HO})_2$ libre, CaCO_3 , $\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ y pequeñas cantidades de $2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ y de $\text{CaO} \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$. Nagai supone que, en mezclas con alta proporción en cal, a 180°C se forma $3\text{CaO} \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$, que a 210°C pasa a $\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$; en cambio, si existe exceso de SiO_2 , a 180°C se formaría $\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$, y a 210°C $3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$. Foret, por examen roentgenográfico, llega a la conclusión de que en el intervalo de $120-320^\circ\text{C}$ existe $\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ cristalino; por debajo de 140°C en la variedad α , y en la variedad β por encima. Kühl y Eiduks suponen que la formación de los silicatos depende del tiempo de tratamiento, aparte de la influencia que tienen

los materiales y la temperatura del vapor. Y Taylor admite la existencia de un compuesto intermedio, cuya fórmula sería $1,0-1,5 \text{ CaO} \cdot \text{SiO}_2 \cdot 0,5-2,5 \text{ H}_2\text{O}$.

El presentar mayor número de ejemplos carece ya de interés. Son suficientes éstos para observar que, aun cuando existe una cierta heterogeneidad, queda en pie una idea fundamental: bajo la acción del vapor de agua, la sílice y la cal reaccionan formando silicatos cálcicos hidratados, que son los que confieren al ladrillo su resistencia.

e) Secado

Al terminar el tratamiento en autoclave se ha terminado, prácticamente, la fabricación del ladrillo silicocalcáreo. Después queda, finalmente, el secado de los ladrillos al aire libre, siendo ésta una operación que no presenta ninguna característica especial.

- - -

S. F. S.

BIBLIOGRAFIA

G. E. Van Derburgh

Mejoras en la composición y fabricación de piedras artificiales, cementos y otros materiales.
BRIT. PAT. Nº 2.470, 1866

W. Michaelis

Composición de la arena utilizada en la fabricación de los ladrillos silicocalcáreos.
TONIND.-ZTG., vol. 25, nº 49, 1901, pág. 763

S.V. Peppel

La fabricación de los ladrillos silicocalcáreos.
AM. CERAM. SOC. TRANS., vol. 4, 1902, pág. 156; vol. 5, 1903, pág. 168.

E. Cramer

Endurecimiento de ladrillos silicocalcáreos.
TONIND.- ZTG., vol. 29, nº 23, 1905, pág. 214; pág. 558

E. Cramer

Experiencia práctica en la fabricación de ladrillos silicocalcáreos.
TONIND. ZTG., vol. 29, nº 49, 1905, pág. 599

M. Glasenapp

La influencia de las adiciones de arena fina a las masas silicocalcáreas.
TONIND.- ZTG., vol. 29, nº 55, 1905, pág. 689

T.R. Ernest

Química de los ladrillos silicocalcáreos.
TONIND.- ZTG., vol. 36, 1912, pág. 49; pág. 93

A. Rüster

Presión del vapor para el curado de los ladrillos silicocalcáreos.
TONIND.- ZTG., vol. 37, nº 74, 1913, pág. 975

W.E. Emley

Fabricación y propiedades de los ladrillos silicocalcáreos.
U.S. BUR. STAND. TECH. PAPER Nº 85. Washington, 1917

K. Jade

Cal para ladrillos silicocalcáreos.
TONIND.- ZTG., vol. 42, nº 48, 1918, pág. 211

L. Gerber

Cal para ladrillos silicocalcáreos.

TONIND.- ZTG., vol. 42, nº 56, 1918, pág. 248

R.P. Brawn

Mortero para los ladrillos silicocalcáreos.

ROCK PROD., vol. 25, nº 6, 1922, pág. 36

Chr. Eberle

Consumo de calor en las fábricas de ladrillos silicocalcáreos.

TONIND.- ZTG., vol. 48, nº 26, 1924, pág. 279; nº 27, pág. 289

W. Leduc

Consumo de potencia y de calor en la fabricación de ladrillos silicocalcáreos.

TONIND.- ZTG., vol. 54, nº 59, 1930, pág. 975; nº 60, pág. 993

W. Raiss

El consumo de calor en las fábricas de ladrillos silicocalcáreos.

TONIND.- ZTG., vol. 55, nº 35, 1931, pág. 507; nº 36, pág. 524; nº 38, pág. 557

B. Krieger

Lavado de la arena para los ladrillos silicocalcáreos.

TONIND.- ZTG., vol. 55, nº 70, 1931, pág. 997

S. Nagai

Síntesis hidrotérmica de silicatos cálcicos.

Z. ANORG. ALLG. CHEMIE, nº 206, 1932, pág. 177

G.E. Bessey, H.J. Eldridge

Aptitud de las cales para la fabricación de ladrillos silicocalcáreos.

SOC. CHEM. IND. J., vol. 52, nº 8, 1933, pág. 443

W. Dawid

El proceso de endurecimiento en los ladrillos silicocalcáreos.

TONIND.- ZTG., vol. 57, nº 22, 1933, pág. 266

G. Grime, G.E. Bessey

El material aglomerante de los ladrillos silicocalcáreos.

CERAM. SOC. TRANS., vol. 32, nº 1, 1933, pág. 14

W.A. Hamor, G.J. Cox, J. Metschl, J.W. Van Brunt

El empleo de sucrosa en los ladrillos silicocalcáreos.

AMER. CERAM. SOC. J., vol. 16, nº 4, 1933, pág. 187

B. Krieger

Añadición de materias minerales molidas a los ladrillos silicocalcáreos.

TOWIND.- ZTG., vol. 57, nº 22, 1933, pág. 263.

A.V. Volzhensky

Algunos fenómenos que tienen lugar durante el proceso de endurecimiento por vapor de los ladrillos silicocalcáreos.

TOWIND.- ZTG., vol. 60, nº 34, 1936, pág. 402; nº 35, pág. 445

A.V. Volzhensky

Balace de calor del proceso de endurecimiento de los ladrillos silicocalcáreos.

TOWIND.- ZTG., vol. 60, nº 66, 1936, pág. 810; nº 68, pág. 837; nº 70, pág. 867

F. Hundeshagen

Formación de silicatos en los morteros de cal y en los ladrillos silicocalcáreos.

ZEMENT, vol. 26, nº 38, 1937, pág. 628

E.P. Flint, H.F. McMurdie, L.S. Wells

Formación de silicatos cálcicos hidratados a temperaturas y presiones elevadas.

V.S. BUR. OF STAND. J. RES., vol. 21, número. 5, 1938, pág. 617

O. Schramm

Fabricación de ladrillos silicocalcáreos.

TOWIND.- ZTG., vol. 63, nº 35, 1939, pág. 407

G.E. Bessey

Ladrillos silicocalcáreos.

NATIONAL BUILDING STUDIES, DEPARTMENT OF SCIENTIFIC AND INDUSTRIAL RESEARCH, Special Report Nº 3, 1948

G.E. Bessey

Ladrillos silicocalcáreos y bloques de hormigón.

NATIONAL BUILDING STUDIES, DEPARTMENT OF SCIENTIFIC AND INDUSTRIAL RESEARCH, Bulletin Nº 4, 1948

Editorial

Ladrillos silicocalcáreos.

SAND LIME BRICK MANUFACTURERS' ASSOCIATION LTD., 1948

F. Gewecke

El control químico en la fabricación de ladrillos silicocalcáreos.

ZEMENT-KALK-GIPS, vol. 3, nº 1, 1950, pág. 17

Editorial

La fabricación de los ladrillos silicocalcáreos.

DIE BAUWIRTSCHAFT, vol. 6, nº 30/31, 1952, pág. 681

H.F.W. Taylor

Reacciones hidrotérmicas en el sistema $\text{CaO-SiO}_2\text{-H}_2\text{O}$.
TONIND.- ZTG., vol. 76, 1952, pág. 282

J. Endell

Materiales de construcción tratados con vapor.
ZEMENT-KALK-GIPS, nº especial 2, 1952

J. Endell

Fabricación de ladrillos silicocalcáreos.
ZEMENT-KALK-GIPS, vol. 87 nº 11, 1953, pág. 406

J. Albert

Posibilidades de mejoramiento de ladrillos silicocalcáreos.
SILIKATTECHNIK, vol. 6, nº 2, 1955, pág. 78

J. Endell

La mezcla en la industria de ladrillos silicocalcáreos.
TONIND.- ZTG., vol. 79, nº 11/12, 1955, pág. 167

G. Schmid

Fabricación de ladrillos silicocalcáreos a partir de la cal que queda como subproducto en la fabricación del caucho buna.
SILIKATTECHNIK, vol. 6, nº 7, 1955, pág. 312

J. Albert

Ladrillos silicocalcáreos, con arcilla, ladrillos arcillocalcáreos y piezas coloreadas de revestimiento, preparadas con mezclas silicocalcáreas.
SILIKATTECHNIK, vol. 7, nº 2, 1956, pág. 64