modificación de las propiedades de las arcillas por medio de aditivos

L. ALVISET y G. ARLE
Ingenieros del Centro Técnico de Tejas y Ladrillos.
París. *L'Industria Italiana dei Laterizi*, XX, n.º 3, 1966, pág. 193.

antecedentes

Como se sabe, para eliminar determinados defectos de fabricación y para mejorar las características del producto cocido, se pueden añadir a las arcillas de ladrillería diversas sustancias y productos químicos que no modifican el comportamiento. Este artículo trata, en líneas generales, del empleo de un cierto número de tales aditivos, refiriéndose particularmente a los ensayos realizados en el laboratorio del «Centro Técnico de Tejas y Ladrillos» de París, y considerando:

- a) los desgrasantes, considerando especialmente las escorias de alto horno y las cenizas volantes de central térmica;
- b) la adición del cloruro sódico que, en ciertos casos, permiten mejorar el secado y combatir la explosión del caliche;
- c) la adición de bióxido de manganeso, empleado con frecuencia en la producción de productos envejecidos artificialmente (en algunas pruebas recientes, llevadas a cabo añadiendo esta sustancia a «terra franche», han permitido fabricar ladrillos macizos de color oscuro);
- d) la adición de caliza molida, que permite disminuir las dilataciones debidas a la humedad y que deben también permitir disminuir la deformación de los productos en trance de cocción;
- e) la adición de cal, para endurecer las arcillas muy húmedas.

Se han dejado de mencionar voluntariamente algunas sustancias cuyo empleo es muy conocido, como la arena, la chamota y el carbonato bórico.

Desde hace algunos años se han realizado progresos técnicos importantes en las fábricas de producir ladrillos: moldeo en caliente, desecación rápida, cocción en horno-túnel, etcétera. Estos progresos técnicos requieren a menudo una adaptación de las materias primas, ya que muchas arcillas no soportan, sin el empleo de sustancias correctoras, uno u otro de estos nuevos procedimientos de fabricación.

Estas modificaciones se hacen necesarias también por otras razones derivadas principalmente del hecho de que las exigencias que debe satisfacer el producto cocido se hacen cada vez más severas.

Por consiguiente, el número de fábricas que pueden emplear sus materias primas sin modificaciones, bien mediante aditivos, bien mezclando varias arcillas, disminuye continuamente y se tiende más a la preparación de mezclas que sin alcanzar el rigor y la complejidad de las cerámicas (por ejemplo para mayólica y porcelana), deben ser bastante precisas y bien definidas.

1 aditivos desgrasantes

Haciendo el examen desde un punto de vista general de las mejoras que aportan los desgrasantes, es oportuno señalar un punto particular sobre el que se ha tenido una experiencia reciente que ha dado un resultado particularmente favorable, y es una reducción considerable de los porcentajes de sales solubles que se forman durante la cocción de determinados productos.

Se trataba de una arcilla ferruginosa muy fina y plástica que creaba al cocer productos con el corazón negro, sometidos en el momento de colocarlos en obra, eflorescencias de sulfatos alcalinos; con la misma arcilla, cocida en las mismas condiciones, pero con una adición de 15 % de arena, los productos presentan un contenido de sales solubles de 7 a 8 veces inferior al de los productos normales; esta disminución es muy apreciable para los sulfatos alcalinos, que resultan los más perniciosos.

El fenómeno se puede explicar de la siguiente forma: la adición de desgrasantes facilita la liberación de los gases que se forman en el producto durante la cocción; así el anhídrido sulfuroso, susceptible de fijar los elementos alcalinos para formar sulfatos alcalinos, puede expulsarse y abandonar la zona central de las piezas fácilmente antes que puedan tener lugar las reacciones perniciosas.

Veamos ahora dos desgrasantes en particular: las cenizas volantes y las escorias de alto horno.

1.1. las cenizas volantes de las centrales térmicas

Algunas fábricas emplean esta sustancia como desgrasante para arcillas muy plásticas.

Numerosas centrales térmicas en Francia emplean carbón pulverizado; éste contiene alrededor del 10 % de cenizas. De esto resulta una producción importante de cenizas muy finas (llamadas cenizas volantes) que pueden constituir una materia prima interesante para nuestra industria. Estas cenizas se evacúan en las centrales de dos modos: por vía hidráulica, cuando se transportan con agua y después se recogen en una balsa de decantación (este material es prácticamente inutilizable en nuestra industria porque la humedad retenida por las cenizas es muy alta y variable); o por vía neumática, cuando se recogen en precipitadores electrostáticos y se transportan a silos donde se almacenan en seco. En este caso se reco-

gen generalmente a la salida de los silos con una vis de Arquímedes, en la cual se humedecen ligeramente para evitar que se dispersen durante el transporte.

Estas cenizas se adaptan al fin propuesto, ya que su humedad es escasa y bastante regular (del 7 al 12 %). Dichas cenizas constituyen una materia prima abundante y barata.

1.11. Características principales

1.111. *Composición química.*—La tabla 1 muestra los análisis de algunas cenizas procedentes de centrales térmicas de la región parisina (A y B) y de centrales del norte de Francia (C y D).

Se pueden hacer las siguientes observaciones:

- el contenido de alúmina es particularmente elevado;
- el contenido en óxido de hierro es ligeramente superior al que normalmente se encuentra en las arcillas para ladrillos;
- el contenido en fundentes es importante, en particular lo que se refiere a los óxidos alcalinos (especialmente el potásico);
- además se encuentran cantidades apreciables de sulfatos.

Tabla 1. Análisis de algunas cenizas de centrales térmicas.

	A	B	C	D
Pérdida al fuego	4,40	9,10	7,35	3,65
Sílice (SiO ₂)	49,00	48,05	40,20	42,25
Alúmina (Al ₂ O ₃)	28,56	28,15	32,30	34,05
Oxido de hierro (Fe ₂ O ₃)	7,95	6,58	8,95	8,65
Oxido de titanio (TiO ₂)	0,65	0,55	0,58	0,55
Cal (CaO)	3,00	1,70	3,60	3,65
Magnesia (MgO)	1,10	0,94	2,05	2,27
Oxido potásico (K ₂ O)	3,55	3,45	3,45	3,40
Oxido sódico (Na ₂ O)	0,70	0,70	0,70	0,75
Oxido de manganeso (MnO)	0,13	0,08	0,08	0,07
Sulfatos (SO ₃)	0,81	0,51	0,34	0,37

1.112. *Contenido en inquemados.*—Desde el punto de vista del poder calorífico de las cenizas, cuyo análisis químico se refleja en la tabla 1, se tiene que las sustancias volátiles varían del 3,09 al 3,87 %, y el poder calorífico inferior de 130 a 690 Cal/kg (análisis sobre muestra seca).

Las cifras demuestran que el contenido de inquemados es bajo y que no se puede contar con las calorías liberadas durante la cocción de estos inquemados para asegurar con este úni-

co medio la cocción de los productos; no obstante, estas calorías pueden permitir una apreciable economía de combustible.

1.113. *Contenido en sales solubles.*—Las sales solubles contenidas en las muestras citadas alcanzan porcentajes de 1,66 a 2,43 para las muestras crudas, y de 1,05 a 1,94 para las muestras tratadas a 900° C (en seco).

Los análisis demuestran que tales sales están constituidas en su mayor parte (alrededor del 50 %) por sulfato cálcico. En este caso deben temerse, por lo tanto, eflorescencias en el secado, y también algunas que aparezcan sobre productos después de cocidos. Para estas últimas se puede esperar que las sales solubles contenidas en las cenizas reaccionen durante la cocción con los componentes de la arcilla para formar compuestos insolubles. Por otra parte, empleándose las cenizas en dosis relativamente pequeñas (inferiores al 20 %), las cantidades de sales solubles introducidas por este concepto son mínimas. El inconveniente, por lo tanto, no es muy grave.

De todos modos es prudente, antes de empezar la producción, realizar algunas pruebas de control en el laboratorio relativas al riesgo de aparición de eflorescencias.

1.114. *Características físicas.*—La granulometría de las cenizas volantes de central térmica es generalmente fina y muy regular. Las partículas, según Butterworth (Trans. Brit. Cer. Soc., vol. 53, n.º 5, 1954), son inferiores a 0,25 mm (salvo excepciones).

Las cenizas de carbón pulverizado están constituidas principalmente de pequeñas esferas fundidas, en su mayor parte rellenas y algunas huecas; el carbón se presenta bajo forma de cok, bien como partícula separada o bien como revestimiento discontinuo de la superficie de los gránulos de cenizas. La gran finura de estas cenizas puede constituir un inconveniente para el empleo de este material como desgrasante y, como se verá más adelante, casi siempre es necesario añadir los elementos más gruesos, lo que lleva al empleo de la mezcla ternaria: arcilla/cenizas/arena (o chamota).

1.115. *Constancia de características.*—Cuando en un ciclo de producción se prevé el empleo sistemático de cenizas procedentes de una central próxima a la instalación, debe procurarse constancia de las características con el tiempo. Los análisis efectuados sobre numerosas muestras han demostrado que el poder calorífico puede ser bastante variable y prácticamente es preciso controlar con regularidad las diversas remesas.

1.12. *El empleo de las cenizas volantes.*—Esta materia prima puede emplearse cada vez que es necesario resolver un problema con adición de desgrasantes:

- para disminuir la plasticidad de una arcilla muy grasa;
- para disminuir la fisuración;
- para mejorar el secado, disminuyendo la retracción y facilitando la difusión de agua;
- para mejorar la curva de cocción;
- para disminuir los desconchados durante la cocción.

La granulometría de las cenizas volantes es muy fina y por consiguiente su empleo como desgrasante da lugar a una masa relativamente compacta con una acción desgrasante limitada.

Los mejores resultados se obtienen generalmente añadiendo una cierta cantidad de elementos de granulometría más grosera, como arena o chamota, con partículas de dimensiones comprendidas entre 0,5 y 1,0 mm de diámetro. Se llega así a composiciones tales como 10-20 % de cenizas y 5-15 % de arena de granulometría más gruesa.

Merece la pena señalar aquí una característica particular de las cenizas volantes de central térmica; estas sustancias contienen cantidades bastante notables de fundentes (óxidos de hierro, potasio y calcio), y son por consiguiente susceptibles de reaccionar, al menos parcialmente, en el proceso de la cocción con otros elementos de la arcilla. Por esto se consigue que estos desgrasantes no provoquen reducción en la resistencia mecánica del producto cocido. Esto es un dato importante, porque el empleo de arena o chamota como desgrasante tiene a menudo como consecuencia una sensible reducción de la resistencia a compresión del producto. El empleo, de las cenizas volantes puede permitir por lo tanto, resolver el problema de reducir la plasticidad sin que se afecte la resistencia del producto cocido.

Señalaremos, a título orientativo, que el precio aproximado de estas materias primas es de 35 a 60 ptas/t sin incluir impuestos y transportes.

1. 2. las escorias granuladas de alto horno

En Francia se producen alrededor de 14 millones de toneladas al año de escorias siderúrgicas, de las cuales 4,5 millones se granulan en corriente de aire.

Se obtiene así un tipo de arena de granulometría comprendida entre 0 y 2 mm, que presenta la propiedad de permanecer estable durante todo el ciclo de producción de ladrillos.

Estos materiales pueden emplearse por lo tanto como desgrasantes en mezclas para la producción de ladrillos huecos, examinando más adelante las características generales, la influencia sobre las características de las arcillas para ladrillos y los problemas de precir.

1.21. *Características generales.*—Las escorias granuladas se presentan bajo forma de gránulos de aristas vivas, de las que se dan tres ejemplos de composición en la tabla 2.

Aquí nos encontramos en presencia de silicoaluminatos cálcicos en los cuales, dada la ausencia de pérdida al fuego, la cal resulta totalmente combinada bajo una forma estable al menos hasta 1.050° C.

La relación cal/sílice es variable de un tipo de escoria a otra, distinguiéndose:

- la escoria básica, en la que esta relación oscila de 1,20 a 1,50, lo que hace que tenga propiedades hidráulicas;
- la escoria ácida, cuya relación cal/sílice es inferior a 1,20.

Estas últimas no se emplean para la producción de cemento, pero su interés para la industria de ladrillos es el mismo que para las básicas.

Su granulometría va bien para mezclas destinadas a la producción de ladrillos huecos, pero es gruesa para las masas destinadas a la fabricación de tejas en las que además, con su color oscuro, los gránulos de escoria perjudicarían el aspecto del producto cuando en su empleo se superasen porcentajes de 5-10 por 100.

Señalemos por fin que, a causa de la granulación por inmersión, las escorias se reciben húmedas: esta humedad es del orden del 12 % para la escoria básica y del 3-5 % en la escoria ácida.

Tabla 2. Composición de algunas escorias siderúrgicas

Composición química	A	B	C
Sulfuros (S)	1,14	0,92	2,10
Pérdida al fuego	—	—	—
Sílice (SiO ₂)	32,00	36,00	31,10
Alúmina (Al ₂ O ₃)	13,90	16,10	14,50
Oxido de hierro (Fe ₂ O ₃)	1,42	0,89	1,66
Oxido de titanio (TiO ₂)	0,55	0,69	0,67
Cal (CaO)	46,20	37,80	37,20
Magnesia (MgO)	4,13	5,10	3,07
Oxido potásico (K ₂ O)	0,48	1,19	0,38
Oxido sódico (Na ₂ O)	trazas	0,50	0,70
Oxido de manganeso (MnO)	—	0,67	8,20
	99,82	99,86	99,58
Granulometría < 0,2 mm	3,7 %	0,9 %	7,5 %
Granulometría entre 0,2 y 1 mm	84,4 %	24,6 %	38,5 %
Granulometría > 1 mm	11,9 %	74,5 %	54,0 %
		de los que	de los que
		23,7 % > 2 mm	8,5 % > 2 mm

1.22. Ejemplos de mejoras aportadas con la adición de escoria.

1.221. *Ensayos de laboratorio.*—Los ensayos preliminares de laboratorio han permitido verificar que las escorias se comportan exactamente igual que los desgrasantes clásicos; por lo tanto, tendrán influencia en las siguientes propiedades: humedad de moldeo; además, las escorias, paralelamente a la disminución de la plasticidad, provocan una disminución del porcentaje de agua de moldeo para obtener la llamada consistencia «normal».

tendencia a la fisuración, que como ocurre en presencia de todos los desgrasantes de granulometría grosera, queda disminuida;

aptitud a la desecación, que resulta mejorada por las siguientes razones; reducción de la humedad de moldeo, ligera disminución de la retracción por secado; menor compacidad de la masa, lo que facilita la emigración de agua; intervalo de cocción más amplio; resistencia al hielo aumentada, gracias a la creación de una estructura capilar menos fina.

Señalaremos otras dos características particulares de las escorias granuladas de alto horno: al contrario que la arena, estas sustancias no contienen cuarzo y no están por lo tanto sometidas a las variaciones bruscas de dimensiones que tienen lugar durante la cocción en este mineral. Se puede por esto pensar que es menor también el riesgo de acentuar la tendencia a la fisuración que se produce en el proceso de enfriamiento del producto cocido.

Las escorias contienen sulfuros, de los que puede derivar una acción nefasta en lo que respecta al riesgo de aparición de eflorescencias. Esto es cierto, pero según los resultados de los análisis de sales solubles efectuados, se ha comprobado que este daño es mínimo.

1.222. *Resultados en escala industrial.*—La escoria granulada ha sido adoptada ya por muchos establecimientos franceses; basta citar a título de ejemplo, uno que ha elegido este tipo de desgrasante, porque el único desgrasante natural del que podía disponer era arena muy fina, y por lo tanto, muy poco eficaz.

La escoria ha aportado en la masa las partículas de granulometría más grosera que faltaban y, después de realizar algunos ensayos, se ha elegido la siguiente mezcla para la aplicación industrial: marga verde, 73 %; arena, 21 %; escoria granulada, 6 %.

El porcentaje se ha calculado en peso sobre materiales secos.

Después de varios años de empleo se han observado ciertas ventajas y ciertas desventajas. Entre las ventajas se encuentran la facilidad de secado y, en particular, la disminución de la formación de fisuras transversales; obtener productos cocidos de mejor sonoridad y de mayor resistencia a la compresión, lo que deriva de la supresión de defectos estructurales con repercusión más notable que la pérdida de resistencia intrínseca debida a la adición de inertes.

Los inconvenientes se deben a la presencia de impurezas en la escoria (este inconveniente puede eliminarse por medio del tamizado) y a la abrasividad de la propia escoria, que requiere el empleo de aleaciones especiales de buena calidad para la recarga de hélices y boquillas.

1.23. *Datos comerciales.*—Las escorias granuladas se producen especialmente en el norte de Francia (700.000 t/año) y sobre todo en el Este (3.700.000 t/año).

Todavía su empleo no está limitado a estas regiones, porque con un precio de venta del orden de 35 ptas./t franco fábrica, el precio del transporte resulta soportable.

Es por otra parte cierto que con su granulometría grosera, las escorias son desgrasantes muy enérgicos y pueden por tanto completar, con un pequeño porcentaje, la acción desgrasante de una arcilla magra o de arena fina.

Conviene finalmente subrayar el interés de la escoria no apta para fábricas de cemento (escoria ácida o escoria magnesífera llamada «spiegel») que son aptas para ladrillos y disponibles en condiciones más ventajosas.

2 la adición de cloruro sódico

Esta adición se realiza en escala industrial para mejorar el secado de ciertas arcillas y para disminuir los estallidos del caliche.

2.1. mejoras en el secado

En algunas fábricas se añade cloruro sódico para eliminar el defecto de aparecer fisuras durante el secado y durante el período de almacenamiento entre el secado y la cocción, a consecuencia de la reabsorción de agua de la humedad atmosférica. Ciertas arcillas presentan al final del proceso de secado ligeras variaciones dimensionales (se trata de contracciones del orden de milésimas); estas contracciones provocan fisuras que se manifiestan cuando los productos no contienen más que algún tanto por ciento de agua residual. Para estas mismas arcillas se observa a menudo el fenómeno de reabsorción de humedad después de la salida del secadero y durante el almacenamiento antes de entrar al horno; esta reabsorción de humedad va acompañada de un ligero hinchamiento que provoca la formación de fisuras.

Se ha podido observar que una adición de cloruro sódico del orden del 6 ‰ en las arcillas que presentan estos fenómenos, los disminuye sensiblemente y puede suprimir totalmente en algunos casos la aparición de estas fisuras.

Es necesario admitir que no está muy claro el comportamiento exacto del cloruro sódico: se puede suponer que esta sustancia, siendo higroscópica, regulariza la evaporación del agua en el curso del secado y hace homogénea la humedad en el interior del producto. En particular es posible que el cloruro sódico impida un desecado muy rápido de la superficie de la pieza y de este modo disminuya las solitaciones que puedan tener lugar al final del secado.

La cantidad de cloruro sódico a añadir es del orden del 6 ‰; la sal a emplear es sal machacada (tamaño de grano de 1 a 3 mm) añadida sobre una cinta transportadora a la salida del mezclador-alimentador por medio de un distribuidor por vibración.

Hay que señalar que el cloruro sódico puede volver a aflorar en parte bajo forma de eflorescencias durante el secado. Durante la cocción, sin embargo, estas eflorescencias se volatilizan totalmente y los productos quedan exentos de ellas. Los iones sodio actúan como fundentes y los productos presentan en la superficie una ligera gresificación en los puntos donde aparecieran las eflorescencias durante el secado. La consecuencia es una coloración menos uniforme de la superficie de los productos y, en definitiva, un mal aspecto, aunque las propiedades físicas (porosidad, resistencia a la helada, etc.) no queden afectadas.

Estas comprobaciones llevan a la conclusión de que el empleo del cloruro debe tomarse con precauciones para la producción de ciertos tipos de piezas (ladrillos de paramento o tejas, por ejemplo) y es necesario hacer una prueba semi-industrial antes de llegar a su empleo sistemático.

La sal desnaturalizada se puede obtener industrialmente al precio de unas 100 ptas. el quintal.

El costo del tratamiento resulta, por lo tanto, de 6 ptas./t de producto.

2.2. *disminución de las explosiones debidas al caliche*

Algunos estudios relacionados con la adición de sales en escala industrial para combatir la reabsorción de humedad por parte de los productos secos han demostrado que el cloruro sódico justifica su acción por la buena calidad de los productos, disminuyendo el riesgo de aparición de explosiones debidas al caliche.

Esta acción puede explicarse del siguiente modo: durante el secado las sales se concentran en las proximidades de la superficie, es decir, donde el caliche es más peligroso. Continúa la cocción, al final de la cual la sal funde y al final se descompone. Favorecida por la fuerte concentración de iones sódio, la mezcla arcilla/cal viva/sal, forma un compuesto fusible: favorece la formación de silicatos, haciendo perfectamente estable a la humedad, una fracción de la cal.

La dosis de sal a emplear es, como ya hemos señalado, del orden de 6 kilos por tonelada de arcilla y, como ha manifestado Swallow, no se mejoran sensiblemente los resultados por aumentar ese porcentaje por encima de dicho valor. Esto se debe, por lo que parece, al movimiento de la sal en la superficie durante el secado, que aumenta más que suficiente la dosis de la sal en el lugar donde es más útil.

Conviene subrayar que la sal es sólo eficaz contra los pequeños granos de caliza que no superan los 2 mm, y por tanto no evita tener que realizar una enérgica laminación de las pastas que presentan gránulos calizos. Se trata de un método complementario para luchar contra el caliche, que se suma a los ya clásicos, es decir, la molienda, el empleo de temperaturas de cocción lo más altas posibles, la inmersión en agua fría de los productos a la salida del horno, etc.

Al añadir sales, los gránulos rotos de caliche se sustituyen por pequeños puntos vitrificados de color amarillo-verdoso, que no son dañinos en el caso de productos destinados a ser revocados.

3 la adición de bióxido de manganeso

La fabricación de tejas oscurecidas en masa o bien por medio del amasado con bióxido de manganeso se conoce desde hace más de 30 años. Aquí queremos recordar una ampliación de este método al caso de ladrillos macizos fabricados con una materia prima muy magra, la llamada «terra franche».

Gracias a los modernos sistemas de fabricación —extrusión o prensado, secado artificial—, estos materiales han mejorado de calidad progresivamente y hoy día es muy corriente su empleo como paramento en las construcciones más modernas.

Se ha presentado por tanto el problema de poder variar el aspecto, y su demanda por parte de los arquitectos ha puesto a punto un ladrillo negro llamado «ladrillo de Parisis».

3.1. fabricación de los "ladrillos de Parisis"

Estos ladrillos se fabrican añadiendo el 1,1 % de bióxido de manganeso con una pureza del 88-90 %. Esta dosis, muy baja, es suficiente para obtener los resultados requeridos, ya que:

las «terras franches» son arcillas constituidas en sus tres cuartas partes de arena fina, en la que el bióxido de manganeso se dispersa muy bien;

estas mismas arcillas se cuecen a temperatura muy elevada, de 1.050 a 1.100° C., en una zona de temperaturas en la que el manganeso desarrolla muy bien su coloración; la ausencia de cal es otro factor favorable a este desarrollo.

3.2. costos

Supuesto un peso medio de 2,2 kg para el el ladrillo macizo, la adición del 1 % de bióxido de manganeso a 10 ptas./kg representa un costo del orden de 0,25 ptas./ladrillo.

En lo que respecta a inversiones en maquinaria, se debe prever el empleo de un dosificador, por ejemplo del tipo de tolva vibrante. El precio de este dosificador es del orden de 25.000 pesetas.

Como se ve, se mueve la cosa dentro de límites de gasto permitidos, poniendo a disposición de los consumidores productos con un aspecto decorativo interesante.

4 la adición de caliza molida

La adición de caliza molida puede disminuir eventuales dilataciones producidas por la

humedad en los productos cocidos, no sólo las deformaciones de determinados materiales (especialmente tejas) durante la cocción.

La absorción de humedad de la atmósfera puede, alguna vez, ir acompañada de dilataciones, que pueden variar desde pocas micras/m a 1.000-1.500 micras/m. A este fenómeno están sometidos a veces los productos no calizos, mientras que los calizos presentan dilataciones despreciables. Por tanto, uno de los métodos aconsejados consiste en añadir caliza molida a la arcilla privada o casi privada de dicho componente; el fenómeno prácticamente se elimina con una adición del 10 por 100.

En escala industrial se cree que es suficiente una adición del 2 al 8 %; la cal a emplear debe ser muy fina, y el óptimo corresponde a un tamaño de grano de 40 micras. Son tolerables granos hasta de 0,2 mm de diámetro. La cal molida cuesta en Francia alrededor de 700 ptas./t, excluidos los impuestos, y el costo del tratamiento variará de 15 a 55 ptas./t de producto cocido. Es posible adquirir calizas bastas cuyo precio es del orden de 180 ptas./t; en este caso es necesario una instalación de trituración que permita obtener la granulometría deseada. Para grandes producciones esta solución es la más ventajosa.

4.2. *disimnución de la deformación en el curso de la cocción*

Es de señalar que las arcillas margosas poseen un intervalo de cocción adecuado comprendido entre 850 y 1.000° C; por encima de esta temperatura, entre 1.000 y 1.100° C tiene lugar una fusión brusca.

Este comportamiento es muy distinto al de las arcillas ferruginosas que contienen exclusivamente fundentes alcalinos, con los cuales tiene lugar una gresificación progresiva a partir de 900° C, provocando un aumento regular de la retracción durante la cocción, y, paralelamente, una disminución de la porosidad. Con estas arcillas, y en particular en el caso de la producción de tejas, esta retracción tiene como consecuencia una deformación de los productos que limita la temperatura de cocción utilizable. En estos casos se adopta para la cocción la temperatura límite a partir de la cual aparecen deformaciones en la base del encañado, temperatura límite que puede resultar inferior a la que sería deseable para obtener productos bien cocidos que presentaran, por ejemplo, buena garantía contra la helada.

Partiendo de las observaciones del comportamiento de las arcillas margosas, es de tener en cuenta que la adición de caliza a las arcillas puede modificar la fusibilidad, en el sentido de aumentar la temperatura a partir de la cual tienen lugar fenómenos de retracción y de deformación.

Sobre este punto se han efectuado ensayos de laboratorio, seguidos de alguna prueba en escala semi-industrial.

4.11. *Ensayos de laboratorio.*—Para estudiar la influencia de la adición de caliza en los riesgos de deformación de los productos durante la cocción, se ha efectuado la siguiente prueba:

Se han moldeado por extrusión en vacío probetas de 10 × 25 × 180 mm y se han secado entre dos placas de yeso para evitar cualquier peligro de deformación. Para la cocción estas probetas se colocan al tresbolillo encajando una de sus extremidades entre dos piezas refractarias. La deformación de las probetas durante la cocción se mide determinando la altura en la extremidad libre, antes y después de la cocción.

El resultado obtenido está de acuerdo con las previsiones y se ha observado que la adición de caliza lleva consigo una disminución de la deformación hasta una temperatura límite de unos 1.750° C.

4.12. *Ensayos en escala semi-industrial.*—En una fábrica de tejas que dispone de una arcilla exenta de cal, en la que la fusibilidad limita la temperatura de cocción, se han efectuado tres pruebas en escala semi-industrial añadiendo un 5 % de caliza finamente molida.

En ciertos casos se ha observado una disminución de la retracción y de las deformaciones en la cocción, sin que el carácter muy limitado del ensayo haya permitido precisar con certeza el porcentaje de aumento del material elegido en principio.

Sobre los productos derivados de estos ensayos se han hecho ensayos de permeabilidad y heladicidad que demuestran que la adición del 5 % de caliza no modifican sensiblemente estas características. Sin embargo se puede pensar también que, con un aumento de la temperatura de cocción, esta ligera adición de caliza permite una cierta mejora en la resistencia a la helada.

Es necesario continuar las pruebas a escala semi-industrial en este campo para precisar si esta técnica podrá tener un interés apreciable desde el punto de vista práctico.

5 la adición de cal

Para endurecer las masas muy húmedas se emplean corrientemente adiciones de cal viva o apagada.

El empleo de determinadas materias primas durante las estaciones lluviosas presenta a veces difíciles problemas, a causa de la excesiva humedad, que provoca frecuentemente deformaciones de los productos muy blandos a la salida de la galletera o de la prensa.

Estos defectos se combaten habitualmente con más o menos eficacia utilizando los medios más diversos: excavación y almacenamiento de la arcilla durante la estación seca, adición a las pastas de arcilla seca procedente de la trituración de desechos del secadero, etc.

Otro método consiste en añadir a la mezcla un cierto porcentaje de cal viva o apagada a fin de endurecer la arcilla por floculación.

Se observa que el empleo de cal con un contenido del 2 al 3 ‰ con relación al peso de arcilla seca permite trabajar con masas que presentan un contenido de agua del 3,4 a 4,5 % más del normal en la extrusión (tabla 3). Estas cifras pueden parecer muy pequeñas, pero la adición de un 4 % de agua a una masa de consistencia normal lo transforma en un material muy húmedo, y difícil de dar forma.

Es interesante señalar que el endurecimiento conseguido no corresponde a una absorción por parte de la cal del agua contenida en la arcilla. Esto se demuestra por el hecho de que se obtienen idénticos resultados empleando tanto cal viva como apagada. Por otra parte, el cálculo demuestra que la cantidad de agua necesaria para apagar la cal viva no se tiene en cuenta. Se trata más bien de una reacción química entre la cal y la arcilla, que provoca la floculación de esta última. El endurecimiento se logra de una forma extremadamente rápida: el tiempo de acción es inferior a 1 minuto y, por lo tanto, el endurecimiento se produce en el curso de la elaboración de la arcilla durante el proceso de producción.

La cantidad a añadir, establecida anteriormente en 2-3 ‰, corresponde a un orden de magnitud que permite pequeñas variaciones de dosificación inevitables en la práctica. Este contenido debe además respetarse con la máxima precisión posible, porque errores importantes en exceso corren el riesgo de provocar eflorescencia durante el secado: la cal en exceso que no ha reaccionado con la arcilla, se mueve a la superficie durante la evaporación del agua. Este riesgo de eflorescencia no llega a ser importante hasta adiciones de cal próximas al 1,1 por 100.

El procedimiento se utiliza en escala industrial y su aplicación no presenta dificultades especiales. La cal debe distribuirse después de los alimentadores de arcilla, bien sobre un transportador, o bien directamente en el molino por medio de un dosificador análogo a los alimentadores automáticos de carbón o de un dosificador de vibración.

Una disposición particularmente interesante consiste en añadir, a la salida del alimentador de arcilla, casi toda la cal que se emplee; otra fracción que representa el complemento se añade en la mezcladora-amasadora, graduándola según la dureza de la pasta al salir de la galletera. Esta precaución permite resolver perfectamente la dificultad que pueda surgir a consecuencia de las variaciones en el contenido de agua en la materia prima procedente de cantera. Otra precaución consiste en parar el distribuidor de cal unos minutos antes de detener la producción para evitar que la masa endurezca mucho dentro de la máquina durante la noche, creando dificultades en el momento de la puesta en marcha de la galletera.

Tabla 3. Aumentos admisibles de humedad en la pasta después de la adición de cal

		Humedad normal de moldeo (% sobre peso seco) H_1	Adición de cal (en % en seco)	Humedad de extrusión, después de la adición H_2	Aumento de humedad H_2-H_1
Pasta para ladrillos	Fábrica n.º 1	25,1	3	29,3	4,2
	Fábrica n.º 2	35,6	2	40,1	4,5
	Fábrica n.º 3	22,7	2	26,1	3,4
Pasta para tejas	Fábrica n.º 4	26,0	2	30,2	4,2
		26,0	3	29,5	3,5

Los diversos ensayos efectuados en fábrica han demostrado que es indiferente, a los efectos del endurecimiento, emplear cal viva o cal apagada. Desde el punto de vista práctico se recomienda el empleo de cal apagada, ya que la cal viva contiene a menudo gránulos que pueden provocar desconchados en el producto cocido.

El costo del tratamiento varía con la facilidad de aprovisionamiento de cada una de las fábricas; para una adición del 3 ‰ se puede calcular que el aumento del precio será de 4 a 6 ptas./t de producto.

Señalemos, finalmente, que determinadas fábricas han sustituido, por razones de facilidad de aprovisionamiento, la cal viva o apagada por cal hidráulica o cemento. En muchos casos estos productos dan buenos resultados.

6 conclusiones

Se han tratado de examinar un cierto número de aditivos, susceptibles de modificar las características de las pastas y permitir eliminar ciertos defectos, con el fin de mejorar la calidad de los productos.

Merece la pena insistir una vez más sobre el hecho de que las mezclas para la producción de ladrillos se harán cada vez más complejas y que es preciso estudiar sus características. No obstante, es necesario buscar procedimientos industriales poco costosos para hacer posible el empleo de numerosos productos en estas mezclas.

Estos aditivos, a la par que los progresos realizados por los constructores de maquinaria para mejorar continuamente la producción, hacen pensar que la industria de la tierra cocida tiene todavía muchas posibilidades para adaptar siempre mejor sus productos a la necesidad de los consumidores.