

## La cocción rápida

A. IBAÑEZ Y F. SANDOVAL

Instituto de Cerámica y Vidrio, CSIC. 28500 Arganda del Rey (Madrid).

La cocción rápida es el resultado de un acercamiento del tiempo real de cocción al tiempo teórico mínimo necesario para que ocurran todas las reacciones del proceso cerámico. Se pueden, de esta manera acortar los tiempos de calentamiento, durante algunas etapas de dicho proceso, así como aumentar la velocidad de enfriamiento, la cual está únicamente limitada por la capacidad para absorber las tensiones por parte de la pieza cocida. En este trabajo, se revisa el concepto de cocción rápida, así como sus requisitos (hornos, materias primas, composiciones, etc.). Se estudian las reacciones que ocurren durante la cocción y su repercusión en el diseño de la curva de cocción. A pesar de algunos inconvenientes, la cocción rápida ofrece múltiples ventajas sobre la cocción tradicional, que se recogen y analizan.

*Palabras clave: cocción rápida, cocción tradicional, reacciones, corazón negro, materias primas.*

### The fast firing

The fast firing is the result of the approaching to the necessary theoretically minimum firing time in order to ensure the reactions, which occur in the ceramic process during heat treatment. In this way, the thermal treatments can be shortened in several stages, and the cooling rate, which is only limited by the capacity of the body for absorbing the involved stresses, can be also increased. In this work, the fast firing is reviewed and also, its requirements (kilns, raw materials, body compositions, etc.). The reactions which take place during the thermal treatment are studied, and also their repercussion on the firing curve design. In spite of some inconvenients, the fast firing offers a lot of advantages with respect to traditional one, which are analyzed.

*Key words: fast firing, traditional firing, reactions, black core, raw materials.*

## 1. INTRODUCCION

El término cocción rápida no es suficientemente específico, admite diferentes significados y por lo tanto ofrece cierta confusión. La mayor parte de los intentos de definir este término, se centran sólo en el tiempo de cocción, ya que cualquier reducción significativa del tiempo original puede ser asociada a un proceso de cocción rápida. Así, aparecen argumentos a favor de 3 horas, 1 hora o menos para que el proceso se considere una cocción rápida. Pero estrictamente hablando, el proceso de cocción rápida consiste en un acercamiento muy próximo del tiempo real de cocción al tiempo teórico mínimo (1) y como la producción cerámica implica una serie de procesos dependientes del tiempo, la cocción rápida debe ser el resultado de una interrelación óptima entre todos los factores influyentes.

Entre esos factores, Ghorra (2) incluye además el tipo de horno. Así pues, propone definir la cocción rápida como un proceso que implica un tiempo de cocción de 90 minutos o inferior y en el cual la relación entre masa de las piezas y masa del refractario no sea inferior a 1:1.

Los procesos de cocción rápida han reducido drásticamente los ciclos de cocción, algunos de los cuales se muestran en la tabla I.

En los procesos cerámicos la cinética de la reacción depende

TABLA I. TIEMPOS HABITUALES DE COCCIÓN (1)

Producto cerámico	Cocción tradicional	Cocción rápida
Revestimientos	35 horas	40-60 minutos
Pavimentos	35 horas	60-90 minutos
Cerámica sanitaria	120 horas	7-10 horas
Loza	65 horas	2-8 horas

fuertemente de la temperatura, por lo que se puede especular con una temperatura umbral por debajo de la cual la reacción progresa en proporciones despreciables. Según Cooper (3) sólo influyen decisivamente en la cocción cerámica los tiempos de permanencia a la temperatura máxima (a la que tiene lugar la reacción en estado sólido) mientras que es poco relevante el avance de la reacción durante el calentamiento rápido hasta alcanzar esa temperatura. En este sentido, la energía suministrada al horno no se correlaciona necesariamente con la extensión de la reacción cerámica, sino más bien con la inercia térmica del horno.

Por lo tanto, podemos deducir que la principal especificación en la cocción cerámica, es la permanencia a la temperatura máxima, repercutiendo poco el resto del ciclo de cocción. La velocidad de calentamiento debe ser cuidadosamen-

te controlada sólo mientras se produce la eliminación de volátiles, o para permitir la penetración del calor en piezas de gran masa o de formas complejas. En esta misma línea, Carreño (4) define la cocción rápida como aquella que presenta en su curva de cocción una zona de maduración corta y, por tanto, dotada de una gran velocidad de calentamiento, con total independencia de la longitud de las zonas de precalentamiento y enfriamiento.

Durante el enfriamiento, la extensión de la reacción es prácticamente nula, por lo que la velocidad de enfriamiento solo está limitada por la capacidad de la pieza de absorber las tensiones implicadas.

De acuerdo con las consideraciones anteriores, que sientan las bases de la cocción rápida, se pueden acortar drásticamente diversos tramos de la curva de cocción, sin afectar de un modo significativo a las propiedades del producto acabado. Esta idea ya fue anticipada por Norton y Hodgdon muchos años atrás, cuando concluyeron que la loza podía ser cocida aparentemente tan rápido como el horno lo permitiera (5).

## 2. TECNICAS DE COCCION

En España, la tecnología tradicional de bicocción en ciclo largo (hornos túnel de vagonetas) era prácticamente única a mediados de 1980. Actualmente, la mayor parte de la producción se obtiene por cocción en ciclo rápido, aunque existen diversas variantes:

a) Bicocción tradicional: basada en la cocción del soporte en horno túnel de ciclo largo (36-44 h) y cocción posterior para esmaltado del mismo en horno túnel u horno de canales (10-18 h).

b) Bicocción lenta-rápida: Cocción del soporte en horno túnel de ciclo largo (36 - 44 h) y esmaltado posterior del mismo en horno monoestrato de rodillos (35 - 55 min).

c) Bicocción rápida: se basa en la cocción del soporte en horno monoestrato (ciclo rápido de 40 - 50 min.) y esmaltado posterior también en horno monoestrato (30-40 min.).

d) Monococción rápida: consiste en la cocción conjunta del soporte y el esmalte en horno monoestrato (45-60 min.).

En la fabricación de pavimentos cerámicos se utiliza casi de forma exclusiva el proceso de monococción rápida, pero en el caso de los revestimientos coexisten las diversas tecnologías, debido principalmente a (6):

a) Condicionantes económicos, que dificultan la reconversión.

b) El esmaltado de los productos cerámicos de revestimiento requiere un importante control, dada la calidad de la decoración buscada, por lo que es más problemática su aplicación sobre soportes crudos (monococción), que cocidos (bicocción). El hecho de separar la cocción del soporte de la del esmalte ofrece, para este último, posibilidades (extensión de la paleta de colores, calidad de aspecto) que son difíciles de conseguir en monococción. Además, el soporte cocido facilita las operaciones de esmaltado y decoración (7).

c) Los productos de revestimiento de alta porosidad, cuya absorción de agua (aa)>10% se basan en formulaciones con elevado contenido de carbonato cálcico, necesario para proporcionar al producto:

- La porosidad adecuada.
- Estabilidad dimensional: ausencia de descuadras (variación de dimensiones de un punto a otro de la pieza cerámica) y calibres (variación de dimensiones entre las piezas de una misma remesa).
- Baja expansión por humedad.

La descomposición de los carbonatos con el consiguiente desprendimiento de CO<sub>2</sub>, se solapa con el desarrollo del esmalte, como se verá en el apartado 6, provocando defectos en el vidriado (*pinchados*).

## 3. TEORIA DE LA COCCION RAPIDA

Los procesos de cocción rápida requieren menos tiempo para completar las reacciones físicas y químicas dentro de un cierto intervalo de temperaturas. Los cambios en las técnicas de procesamiento de las materias primas o en el diseño del horno, que permitan al fabricante alcanzar la misma tasa de producción en tiempos menores, del orden de una hora, son logros significativos considerados como cocción rápida. La aplicación de este proceso a la loza resulta más difícil debido al grosor de la pieza y al hecho de que contiene cierta cantidad de cuarzo libre. Este no crea problemas en el calentamiento, pero sí en el enfriamiento rápido, ya que, alrededor de los 573°C, se produce la inversión beta-alfa del cuarzo, que viene acompañada de expansión de volumen (2%), dando lugar a la aparición de microgrietas en el producto cocido, produciendo un deterioro de la resistencia mecánica del mismo. Por esta razón, hay que ralentizar el enfriamiento de estos productos cerámicos en torno a esa temperatura, para evitar esta situación. En cuanto al grosor de la pieza cerámica, este afecta a la pendiente de la curva de cocción debido a un fenómeno de transferencia de calor. La pieza cerámica siempre presenta gran refractariedad; esta propiedad tiende a reducir la velocidad a la cual el calor es transferido al centro de la pieza.

La mayoría de los materiales cerámicos son sinterizados en presencia de una fase líquida, aunque el conocimiento de los mecanismos que gobiernan la densificación y el desarrollo microestructural es bastante limitado. El empaquetamiento de las partículas, que lleva a una rápida densificación inicial, depende de varios parámetros:

- a) Las características de viscosidad y de mojado de la fase líquida,
- b) El tamaño y la forma de las partículas.
- c) Su grado de compactación.
- d) El grosor de la pieza.

Estos parámetros están interrelacionados dentro de un proceso complejo que es difícil de analizar.

Una pasta cerámica ordinaria puede ser considerada macroscópicamente como un material isotrópico durante el proceso de cocción. Para describir la transferencia de calor durante dicho proceso, Yin y col. (8) han desarrollado un nuevo modelo matemático que no sólo incluye las variables dependientes de la temperatura en la pieza cerámica, sino también el calor de reacción de la pasta, que es considerado en este modelo como una fuente interna de calor para la cocción de la pieza cerámica. Los resultados más importantes obtenidos por estos autores son:

a) El *calor de reacción* es uno de los factores más importantes de todos cuantos influyen en la cocción cerámica. Los procesos endotérmicos aumentan el gradiente térmico en el interior de la pieza, mientras que los exotérmicos lo reducen. Una de las reacciones que más afectan al gradiente de temperaturas en la pieza es la pérdida del agua de constitución en los minerales de arcilla.

b) Llamando *longitud de penetración* de un punto situado en el interior de la pieza a la distancia más corta entre dicho punto y la superficie externa, podemos decir que el punto al que corresponde la mayor longitud de penetración es el de menor temperatura de la pieza.

c) El gradiente térmico máximo es directamente proporcional a la velocidad de calentamiento.

d) Las variaciones dilatométricas de la pieza tienen un efecto muy pequeño sobre las variaciones en el gradiente térmico durante la cocción.

**4. REQUERIMIENTOS DE LA COCCION RAPIDA**

La cocción rápida exige dos condiciones básicas (9):

1) El horno debe ser capaz de incrementar el flujo térmico del material, manteniendo las características de uniformidad.

2) El material a cocer debe ser capaz de soportar el incremento de gradiente térmico.

Para la primera condición se necesitan hornos adecuados, cuyo desarrollo y características serán objeto de análisis en el apartado siguiente.

La segunda presenta bastantes problemas, ya que implica alcanzar una forma geométrica aceptable en el producto acabado y disponer del tiempo mínimo requerido para que se realicen las reacciones de sinterización y evitar el fenómeno del *corazón negro* que se describirá más adelante.

Es necesario, por lo tanto, desarrollar un conocimiento teórico más profundo de los procesos implicados, y un correcto control de las fases que preceden a la cocción.

**5. MATERIAS PRIMAS PARA COCCION RAPIDA**

Las composiciones empleadas en la producción de pavimento y revestimiento cerámicos han estado muy condicionadas por las materias primas disponibles en el área de producción, lo que explica las grandes diferencias en las composiciones en los distintos países. Así, mientras en Estados Unidos está muy extendido el uso de wollastonita y talco, debido a su asequibilidad, en Alemania se preparan pastas a partir de arcillas caoliníticas o íltico-caoliníticas a las que se añaden arenas feldespáticas, y en Italia y en España se han adaptado las composiciones a las arcillas carbonáticas de fácil disponibilidad. Pero recientemente se aprecia una cierta inversión en esta tendencia, determinada por el hecho de que la incorporación de nuevas tecnologías, de clara validez a nivel mundial, requiere el uso de materias primas con características químicas, mineralógicas y físicas bien definidas (10).

En general, la selección de materias primas se enmarca en los siguientes criterios básicos:

- a) Reducción de la proporción de minerales arcillosos.
- b) Mínima proporción de fases gaseosas a eliminar (dióxido de carbono y agua).
- c) Introducción de inertes y otros materiales que contribuyan a la reducción de la contracción debida a los minerales arcillosos, así como a mejorar la compactación de la pieza.

Siguiendo esta línea, se pueden utilizar materias primas naturales o sintéticas que permitan la formación de silicoaluminatos de calcio o magnesio, principalmente anortita o cordierita (11).

**6. REACCIONES QUE OCURREN DURANTE LA COCCION**

Para conocer el comportamiento térmico de los sistemas complejos, deben ser estudiadas tanto las reacciones indivi-

**TABLA II. REACCIONES QUE SE PRODUCEN DURANTE LA COCCION CERAMICA (13)**

Temperatura	Proceso
< 120 °C	Pérdida del agua adsorbida.
> 280 °C	Descomposición de compuestos orgánicos.
> 320 °C	Combustión del carbono residual.
> 450 °C	Pérdida del agua de constitución de los minerales arcillosos. Conversión caolinita-metacaolinita.
573 °C	Inversión del cuarzo.
> 600 °C	Pérdida del agua de cristalización de la montmorillonita.
> 700 °C	Descomposición de los carbonatos.
900-1000 °C	Conversión de la metacaolinita en espinel Al-Si y cristobalita (sin fase vítrea). Fusión eutéctica de los feldespatos.
1050 °C	Formación de mullita primaria a partir de la espinel Al-Si.
1100-1200 °C	Formación de mullita secundaria por recristalización de la fase vítrea. Disolución del cuarzo.
> 1200 °C	

duales como los procesos globales. Debe tenerse en cuenta que las reacciones no alcanzan el equilibrio durante el proceso de cocción, debido a los reducidos tiempos de la misma, a las altas energías de activación y a las velocidades de reacción (12). La naturaleza exacta de los procesos que tienen lugar durante la cocción es difícil de describir en general, ya que cada mezcla reacciona de un modo diferente, debido a las diferencias de composición. Algunas de las reacciones básicas se recogen en la tabla II (13).

Al elevarse la temperatura, la evaporación de la humedad residual es seguida por la combustión de la materia orgánica presente, luego por la deshidroxilación de los minerales de la arcilla y finalmente por la descomposición de los carbonatos y componentes asociados (1).

Dicha descomposición depende fuertemente de la velocidad de calentamiento. Así, Lecrivain (7) ha estudiado la cinética de desgasificación de una composición clásica de azulejo a distintas velocidades de calentamiento, obteniendo las curvas de la figura 1.

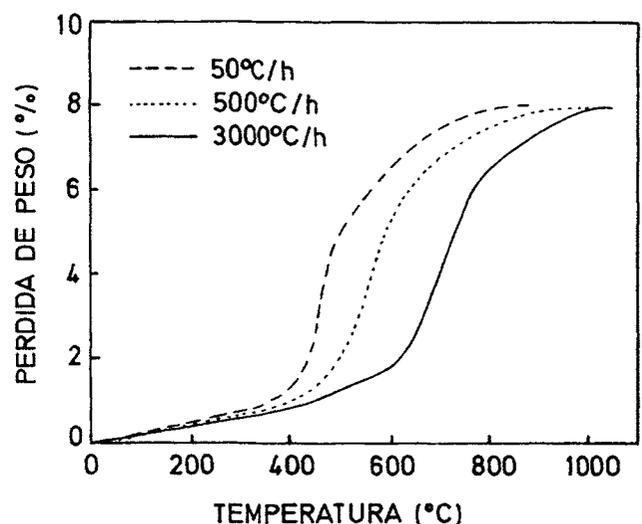


Fig. 1. Curvas de desgasificación.

Como puede apreciarse en ella, al pasar de una velocidad de calentamiento de 50 °C/h a 3.000 °C/h, el final de la desgasificación se desplaza de 800 a 1.050 °C. Considerando que la fusión del esmalte se produce a unos 900 °C, la composición es inadecuada para monococción rápida. La sustitución de carbonato cálcico por wollastonita natural permite evitar este problema; pero su elevado precio de importación impide su empleo en la formulación de pastas. La producción de wollastonita sintética a partir de materias primas de bajo coste haría viable su empleo para monococción porosa rápida.

Otro importante emisor de gas es el carbono, generalmente presente en las arcillas en forma de productos orgánicos. La oxidación incompleta de las sustancias carbonáceas, provoca alteraciones en el color y en la textura internos del producto cocido, que dan lugar al fenómeno conocido como *corazón negro*. La aparición de este defecto está condicionada por la velocidad de oxidación de la materia orgánica, que a su vez depende de (14):

- La naturaleza y cantidad de las sustancias oxidables.
- El tamaño de partícula de estas sustancias.
- El ciclo de cocción.
- La concentración de oxígeno y de óxidos de carbono en la atmósfera que rodea a las sustancias oxidables.
- La permeabilidad de la pieza cerámica.
- Las variaciones de composición y textura que experimenta la pieza durante las distintas etapas de cocción.

Aunque en menor escala, otros emisores de gas son los sulfuros, sulfatos y fluoruros esencialmente asociados a las arcillas y caolines.

Por tanto, la curva de cocción de estos procesos está determinada por la difusión de los gases, y depende de la porosidad del soporte. La norma básica es no suministrar a las piezas más calor del que puedan absorber, con objeto de evitar gradientes de temperatura excesivos hacia su interior (4).

Revisten gran importancia para la pieza cerámica obtenida, las reacciones entre el esmalte y el soporte, así como el acoplamiento entre ellos.

La propiedad térmica más importante de un esmalte es su coeficiente de dilatación térmica lineal. El coeficiente de dilatación lineal se calcula para un intervalo de temperaturas dado por la expresión:

$$\alpha_{T_2-T_1} = \frac{\Delta l}{l \cdot \Delta T} \quad (C^{-1})$$

donde:

l = longitud inicial de la muestra.

El coeficiente de expansión lineal de un esmalte suele determinarse en el rango de temperaturas de 20-400°C, y sus valores suelen encontrarse entre 3 y 7 x 10<sup>-6</sup> °C<sup>-1</sup>.

Se sabe que las tensiones ejercidas por los esmaltes en compresión aumentan la resistencia mecánica de las porcelanas (15). Este fenómeno se explica considerando que el avance de las grietas superficiales se reduce por la existencia de tensiones de compresión, mientras que las tensiones en tracción favorecen dicho avance. También parece bien establecido que las grietas, tanto internas como externas, son debidas a la presencia de fase vítrea, de modo que la disminución del porcentaje de esta fase en porcelanas de wollastonita mejora su resistencia mecánica (11). El origen de la fractura se halla en la fase vítrea o en el borde de grano, pero no en la fase cristalina. Controlando las tensiones de compresión en el esmalte, se puede mejorar la resistencia mecánica del producto.

## 7. DISEÑO DE LA CURVA DE COCCION

Los productos cerámicos cocidos llevan implícitos un número sustancial de procesos físicos y reacciones químicas, cuya cinética determina finalmente el ciclo de cocción. La reacción más lenta dicta siempre la velocidad de la operación. Los factores de los que dependen estas reacciones son (16, 17):

- La composición química.
- La composición mineralógica.
- La distribución granulométrica de los componentes de la mezcla.
- La temperatura de cocción.
- La atmósfera del horno.

La obtención de una curva de cocción óptima requiere un conocimiento adecuado de los factores citados y de sus interacciones. La cocción óptima se alcanza cuando un tiempo mínimo de tratamiento térmico no da lugar a una pérdida de calidad en el producto. En general es necesario realizar una importante cantidad de ensayos en el laboratorio para llegar a una evaluación realista de la interacción entre todos los factores, es decir, del comportamiento de la pasta en el sistema termodinámico del horno.

El ciclo de cocción debe estar adaptado al tipo de producto y a las posibilidades técnicas del equipo de cocción, requiriendo un mínimo de energía. Los criterios principales para establecer una curva de cocción óptima son (18):

- Composición de la pieza.
- Geometría y grosor de la misma.
- Densidad de enhornamiento.
- Tipo de horno.

Los requisitos básicos de la curva de cocción para un determinado material se determinan a partir del comportamiento durante: el calentamiento, la permanencia a la temperatura máxima y el enfriamiento, influyendo especialmente las variaciones dilatométricas de la pieza cerámica durante esas etapas.

En la introducción se expuso que las reacciones cerámicas dependen de la temperatura máxima y del tiempo de permanencia a dicha temperatura más que de la velocidad de calentamiento. Escardino y col. (19) han estudiado el efecto de la modificación de ambos parámetros sobre composiciones para baldosas de baja porosidad procesadas en ciclo rápido, concluyendo que la temperatura ejerce un mayor efecto sobre la gresificación (sinterización) que el tiempo de permanencia. Así, un incremento de unos 10°C en la temperatura de cocción (de 1.130 a 1.140 °C, por ejemplo) reduce a la mitad (4 a 2 minutos) el tiempo de permanencia a la temperatura de cocción, sin que se altere la porosidad abierta (aa=3%).

El termoanálisis se usa con frecuencia para medir el comportamiento de una pieza cerámica durante el proceso de calentamiento, con objeto de lograr una curva de cocción razonable. Sin embargo, lo que se obtiene con él son resultados cualitativos.

Las curvas de dilatación son especialmente útiles para investigar la curva de cocción, ya que nos muestran zonas en las que las variaciones de dimensión son lentas o poco sensibles frente a otras regiones con dilataciones o contracciones muy rápidas, concentradas en estrechos intervalos de temperatura. Estas zonas serán particularmente peligrosas, ya que el gradiente de temperatura que existe a través del espesor de una pieza, provocará modificación de dimensiones, tanto mayores cuanto más abrupta sea la curva de contracción-dilatación. Así, el efecto del cuarzo y las grandes contracciones de las pastas pueden ocasionar, en el caso de una cocción muy

rápida, tensiones internas que conduzcan a la rotura de la pieza. La curva dilatométrica permite prever los intervalos en los que conviene ralentizar los intervalos de calentamiento o enfriamiento frente a aquellos en los que la velocidad de tratamiento térmico puede ser acelerada sin inconvenientes. De este modo, la curva dilatométrica puede proporcionar en primera aproximación una curva teórica de cocción (20). Esta curva se establece regulando la velocidad de cocción de modo que las variaciones de dimensión sean proporcionales a los tiempos de cocción. La curva inicialmente obtenida se corrige posteriormente en función de la experiencia y de las exigencias de cada producto.

En la misma línea Bittner (13) considera que una curva típica de cocción rápida presenta saltos bruscos de temperatura en las zonas donde no se producen tensiones en la pieza, y rangos muy controlados donde estas tensiones pueden surgir, especialmente en la curva del enfriamiento, que debe estar gobernada por los gradientes de temperatura de la pieza y su resistencia al choque térmico (16, 17). Esto explica la fuerte reducción de la velocidad de enfriamiento por debajo de 600 °C, ya que se hace necesario debido a la inversión  $\beta \rightarrow \alpha$  del cuarzo que puede provocar microgrietas, con el consiguiente deterioro de las propiedades mecánicas del producto, según ya se ha indicado anteriormente.

Pero la información obtenida a partir de métodos térmicos no suele ser suficiente para determinar la curva de cocción. El estudio de las curvas de contracción por cocción y de absorción de agua en función de la temperatura (llamadas *curvas de gresificación* o de *sinterización*) es un paso final obligado para adecuar la curva teórica, construida con datos obtenidos mediante instrumentación específica, a las condiciones reales del horno donde se va a producir la reacción cerámica.

Una nueva forma de investigar la curva de cocción óptima, es la simulación asistida por ordenador, aunque los resultados de la simulación suelen estar limitados por la existencia de procesos fisicoquímicos y de variaciones dimensionales en la pieza, que no se contemplan en los modelos matemáticos. Por ejemplo, las factorías que han evolucionado a la tecnología de cocción rápida, han aprendido que en un horno de rodillos la máxima temperatura debe ser superior a la de un horno túnel, con una diferencia típica de unos 50 °C. Este tipo de recursos es bastante familiar, pero no hay herramientas matemáticas simples que permitan al ceramista transformar los procesos desde uno a otro régimen.

La *reacción cerámica* depende de la difusión, por lo que el tiempo es un factor relevante en todos los procesos de sinterización. A la vez, la velocidad a la que una pieza cerámica se aproxima al grado de densificación adecuado, depende de la temperatura. Con respecto a la sinterización, Krökel (21) ha demostrado que al representar el logaritmo del tiempo frente a la inversa de la temperatura absoluta, se obtiene una línea recta, la tradicional gráfica de Arrhenius. También sobre la base de las constantes de Arrhenius, Ishida y Watanabe obtienen una expresión que puede ser válida para transferir los datos de cocción en laboratorio a la escala industrial. Para un determinado grado de vitrificación (medido en función de la absorción de agua) la expresión que relaciona el tiempo de palier  $t$  con la temperatura absoluta  $T$  es:

$$\lg(t) = \frac{A}{T} + C$$

donde  $A$  y  $C$  son constantes que describen el comportamiento de un determinado material. Esta descripción es puramente empírica; las pastas formuladas con arcillas son sistemas complejos desde el punto de vista químico, por lo tanto los estudios de sinterización o de vitrificación no ofrecen datos termodinámicos fiables.  $A$  y  $C$  no poseen un significado claro, aunque un alto valor de  $A$  parece ir ligado a un estrecho intervalo de vitrificación.

La ecuación [2] describe un proceso exotérmico, pero se puede considerar que parte de la energía necesaria para la sinterización es obtenida a diferentes niveles de temperatura, dependiendo cada pequeña contribución de la temperatura. A partir de esta idea, y con ayuda de un programa de cálculo, Fisher (16) ha obtenido curvas teóricas de cocción para distintas pastas de loza. Si un ciclo de cocción industrial se hace con excesiva rapidez, el tiempo de palier (tratamiento isotérmico) se acorta, de modo que una parte significativa de la energía térmica es proporcionada por las rampas de calentamiento y enfriamiento.

## 8. COCCION RAPIDA FRENTE A COCCION TRADICIONAL

### 8.1. Ventajas e inconvenientes de la cocción tradicional

La cocción convencional en hornos túnel presenta las siguientes desventajas:

- Uso poco eficiente de la energía: de 2000 a 2400 kcal por kg de pieza cocida.
- Elevada inversión de capital en hornos y material de enhornamiento.
- Gran superficie de planta requerida.
- Difícil automatización.
- Alto coste laboral.
- Alto coste de mantenimiento de refractarios.
- El proceso no admite cambios rápidos.
- Existe un significativo gradiente térmico dentro de la vagoneta que soporta las piezas contribuyendo así a diferencias en tamaños y tonos de color dentro de la carga.

Entre las ventajas de este tipo de operación se pueden citar:

- Se puede utilizar cualquier tipo de esmalte y conseguir múltiples efectos decorativos.
- El proceso es más permisivo en los parámetros, tolerando amplios márgenes de error.
- El proceso admite el uso materias primas de menor calidad y por lo tanto, de menor coste tanto en el soporte como en el esmalte.
- Cualquier tipo de combustible es tolerado.

### 8.2. Ventajas e inconvenientes de la cocción rápida

En la operación de cocción rápida, la pieza se sitúa sobre un soporte refractario o directamente sobre los rodillos del horno, y es cocido una o dos veces en horno de gas o eléctrico, en ciclos que oscilan entre 30 y 90 minutos.

Esta operación presenta diversas ventajas:

- Un horno eficaz puede consumir 320 kcal por kg de pieza.
- Coste de equipamiento razonable.
- Requiere poco espacio.
- El horno está mejor aislado y las pérdidas de calor muy controladas.

e) El equipamiento es montado en fábrica por módulos, lo que permite una instalación fácil y rápida.

f) Las órdenes de pedido son libradas mucho antes.

g) El coste laboral es más reducido.

h) Los costes de refractarios y de mantenimiento son inferiores.

i) Conduce por sí misma a la automatización.

j) Menos rechazo en la producción, debido a una respuesta más rápida frente al control de calidad.

k) Aumenta la productividad de la planta y reduce los costes de producción.

l) Cuando se usa un horno de construcción ligera y baja capacidad térmica, la temperatura puede ser subida o bajada en un tiempo considerablemente inferior que en un horno túnel convencional; esto permite interrupciones ocasionales para mantenimiento y cierre por vacaciones o incluso por fines de semana.

m) Como la cantidad de material de refractario de enhornamiento es mínima en los procesos de cocción rápida, las pérdidas debidas a la manipulación son minimizadas.

n) El gradiente térmico dentro de la pared del horno puede mantenerse en  $\pm 2^\circ\text{C}$ , eliminando así las variaciones de color o de tamaño dentro de una misma remesa.

Las desventajas de la cocción rápida son:

a) Se requiere un estricto control del proceso y los métodos de preparación, admitiendo rangos muy estrechos de variación. El margen de error permitido es muy estrecho. Todas las variables del proceso desde las materias primas a la curva de cocción, deben ser estrechamente controladas.

b) No todos los tipos de efectos decorativos en esmaltes pueden ser conseguidos bajo estas condiciones.

c) Se requieren composiciones que produzcan menos volátiles en el tratamiento térmico; en concreto, las cocciones más rápidas necesitan materias primas con un mínimo contenido de materia orgánica. En general las materias primas son más caras.

d) Los hornos de rodillos solo admiten combustibles limpios como el gas natural.

## 9. CONCLUSIONES

1. La calidad del producto acabado en procesos de cocción rápida está más condicionada por las materias primas que en la tecnología tradicional.

2. Se hace imprescindible mantener una constancia en las composiciones química y mineralógica de las materias primas, cuyas exigencias son además más estrictas en lo que se refiere al contenido permisible de materia orgánica, sulfuros, sulfatos, etc.

3. El empleo de materias primas naturales de bajo coste es viable si se respetan las condiciones de calidad técnica y de

constancia en el tiempo. Eventualmente, se puede recurrir a mezclas reajustadas para un determinado lote, y en general, al empleo de materias primas de síntesis para asegurar la necesaria constancia de calidad (22) y eliminar en lo posible la emisión de volátiles durante la cocción.

4. Una de las principales ventajas que ofrece la cocción rápida frente a la tradicional es que permite responder con eficacia a las actuales exigencias del mercado, que tiende a pedidos cada vez más cortos y con mayor variabilidad. ♦

## 10. BIBLIOGRAFIA

1. R. Sladek. «The fast firing process in the ceramic industry». *Interceram*, 4, 35-40 (1986).
2. G.J. Gorra. «The theory of fast firing». *Ceram. Eng. Sci. Proc.* 14, 1-2, 75-115 (1993).
3. C.F. Cooper. «Heat work». *Trans. J. Brit. Ceram. Soc.* 80, 60-66 (1981).
4. E. Carreño. «Composiciones de cerámica blanca adaptadas a las nuevas tendencias tecnológicas. Cocciones rápidas». *Bol. Soc. Esp. Cerám. Vidr.* 11, 6, 376-389 (1961).
5. F.H. Norton, F.B. Hodgdon. *J. Amer. Ceram. Soc.* 14, 177 (1931).
6. V. Beltrán. Succión de líquidos en baldosas cerámicas porosas. Relación entre las características microestructurales de las piezas y el fenómeno de cocción. Tesis doctoral, Universidad de Valencia (1988).
7. L. Lecrivain. «Nouveaux produits et nouvelles technologies dans les céramiques d'équipement de bâtiment». *L'Indus. Céram.* 813, 115-122 (1987).
8. H. Yin, Z. Liu, X. Hu, Z. Chen. «Computer simulation and analysis of ceramic firing». *Ceram. Eng. Sci. Proc.* 14, 1-2, 245-247 (1993).
9. G.F. Carnevali, C. Palmonari, C. Sirotti, G. Timellini. «Fast firing of floor and wall tile. A review». *Trans. J. Brit. Ceram. Soc.* 81, 1, 1-3 (1982).
10. L. Lorici, A. Brusa. «Porous and vitrified single fired tiles». *Ceram. Eng. Sci. Proc.*, 12, 1-2, 183-221 (1991).
11. R.L. Cobble. *Effect of microstructure on the mechanical properties of ceramic materials. Ceramic Fabrication Processes*. Edit. W. D. Kingery, 213-218 (1963).
12. W.D. Kingery, H.K. Bowen, D.R. Uhlmann, D. R. *Introduction to Ceramics*, Edit. John Wiley and Sons, Nueva York, cAP. 13 (1976).
13. H.G. Bittner, G. Halex, U. Kobras. «Modern fast firing of whiteware products. Effect on product quality». *Ber. Dtsch. Keram. Ges.* 69, 11-12, 481-492 (1992).
14. A. García Verduch. «Algunos conceptos básicos de la cocción rápida. Cerámica y Cristal», 102, 35-37, (1988).
15. R. Cook, C. Brunner. «Correlation glaze-body stresses». *J. Amer. Ceram. Soc.* 32, 401-405 (1949).
16. P. Fisher. «The kinetics of vitrification». 8th. International Ceramic Congress on the research for production, Palma de Mallorca, 29 Marzo - 1 Abril (1990).
17. I. Kotsis, A. Balogh. «Synthesis of wollastonite». *Ceram. Int.*, 15, 79-85 (1989).
18. M. Poppi. «Inertizing in ceramic production». *L'Indus. Céram.*, 887, 788-792 (1992).
19. A. Escardino, J.L. Amorós, F. Negre, C. Feliu. «Defectos de planaridad en las piezas de pavimento gresificado motivados por deformación pirolástica. Influencia de las variables de proceso». *Cerámica y Cristal*, 102, 38-43 (1988).
20. P. Munier. «La predetermination de la courbe temperature/temps pour la cuisson de produits céramiques». *Chaleur et Industrie, Jouillet-Août* (1945).
21. O. Krökel. «Das temperatur-zeit-verhalten der sinterung». *Silicatechnik*, 31, 142-144 (1980).
22. N. Bossi. *Confronto fra prodotti in monocottura porosa ottenuti con mazinazione a secco e a umido. La Monocottura Rapida Porosa. Problemi e prospettive*. Edit. G. Biffi, Faenza Editrice, Faenza, 53-58 (1988).

Recibido: 4-7-96.

Aceptado: 12-11-96.