

HORNO TUNEL PARA COCCION RAPIDA ⁽¹⁾

R. TOPOLEVSKY
A. GASTON
C. ECHEVERRIA

Laboratorio de Cerámica. Facultad de Ingeniería. Universidad Nacional de Rosario.

RESUMEN

En este trabajo se presentan de modo resumido las características fundamentales del horno de cocción rápida construido en el Laboratorio de Cerámica de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Rosario.

Se hace una descripción del problema de termotransferencia en hornos túneles y se comparan los resultados numéricos con los experimentales.

Se describe una de las experiencias que actualmente se cursan y se señala la fundamental importancia de la ingeniería de hornos en el problema de cocción rápida.

Quickfire tunnel-kiln

In the present paper we briefly describe the main characteristics of the fast firing kiln constructed at the Ceramic Laboratory of the Faculty of the National University of Rosario.

A description of the problem of heat transmission in tunnel-kilns is presented and the numerical results are compared with the experimental curves.

One among the experiments currently undertaken is described. The importance of kiln —engineering is emphasized as related to rapid firing.

Four à tunnel pour cuisson rapide

Ce travail présente brièvement les caractéristiques essentielles du four de cuisson rapide construit au laboratoire de céramique de la faculté d'ingénierie de l'Université Nationale de Rosario. Il expose le problème du transfert thermique dans les fours à tunnel et compare les résultats numériques et expérimentaux. Il décrit une des expériences actuellement en cours et souligne l'importance fondamentale de l'ingénierie des fours dans la solution du problème de la cuisson rapide.

Schnellbrand-Tunnelofen

Die grundlegende Charakteristik des in dem «Laboratorio de Cerámica de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Rosario» (Keramik-Labor der Fakultät für Ingenieurwissenschaft der National-Universität Rosario) gebauten Schnellbrandofens wird kurzfassend geschildert.

Das Problem der im Tunnelofen stattfindende Wärmeübertragung wird beschrieben und es werden numerische und experimentelle Ergebnisse verglichen.

Einer unter der zur Zeit verlaufenden Versuchen wird beschrieben und es wird auf die Bedeutung der Ofen-Ingenieurwissenschaft bei der Frage des Schnellbrands hingewiesen.

1. INTRODUCCION

La técnica de cocción rápida se ha extendido en un amplio espectro de la industria cerámica porque su empleo ha demostrado ser satisfactorio desde el punto de vista técnico y ventajoso desde el punto de vista económico (1-3).

La ingeniería de un horno túnel para cocción rápida presenta analogías y diferencias respecto de la correspondiente a cocción convencional. Básicamente, como todo horno túnel, consta de tres zonas: precalentamiento, fuego, enfriamiento. No obstante, se busca lograr una máxima transferencia de calor en el mínimo tiempo compatible con:

- a) las reacciones de descomposición de la pasta cerámica, es decir, eliminación de agua física y químicamente ligada,
- b) combustión de elementos como carbonos, descomposición de sulfatos, sulfuros, etcétera,

- c) minimización de las tensiones termomecánicas producidas por diferencia de temperaturas en el cuerpo a cocer.

La sinterización no debe comenzar hasta que no hayan concluido las etapas a) y b) mencionadas en el párrafo anterior, puesto que, si esto ocurre, una amplia gama de defectos se hacen evidentes (4)(5).

Para lograr esta alta transferencia térmica se deben tener en cuenta:

- 1) régimen de escurrimiento de gases,
- 2) sección transversal del horno en relación a la sección transversal de carga a cocer,
- 3) distribución de temperaturas en una sección transversal.

La determinación de las funciones de correlación entre la velocidad de empuje y los ítems 1), 2), 3) es motivo de estudio por la complejidad de las variables involucradas. Por otro lado, las características del material a cocer que afectan las variables a), b) y c) y, por ende, la velocidad de empuje son (5):

(1) Original recibido el 18 de septiembre de 1985.

Difusividad térmica α , siendo:

$$\alpha = \frac{K}{C\rho} \left[\frac{\text{cm}^2}{\text{s}} \right]$$

K: conductividad térmica [$\text{cal cm}^{-1} \text{ } 3 \text{ } ^\circ\text{C}^{-1} \text{ s}^{-1}$]

C: calor específico [$\text{cal/g } ^\circ\text{C}$]

ρ : densidad [g/cm^3]

De alguna manera la difusividad térmica puede interpretarse como la velocidad con que se eleva la temperatura del cuerpo cuando se aplica calor a un punto del mismo.

Difusividades altas favorecen la disminución de la diferencia de temperatura entre el interior y el centro del cuerpo a cocer y, por tanto, disminuyen las tensiones termomecánicas por dilatación volumétrica diferencial o por diferencias de dilatación-contracción al producirse transformaciones de fase en tiempos diferidos entre el material de la periferia y el del centro. Por tanto, difusividades altas favorecen la cocción rápida.

Deformación crítica es el cociente entre σ (módulo de rotura) y E (módulo de elasticidad).

Altos valores de deformación crítica implican una mayor disposición del material para acomodar deformaciones o una mayor tenacidad. Por tanto, deformación crítica alta implica también mayor resistencia a las tensiones termomecánicas generadas por altas velocidades de empuje.

Porosidad, granulometría y microestructura. Estas variables, íntimamente ligadas (6)(7), tienen una profunda influencia en b) y c), como se menciona en (5).

Forma y espesores de la muestra. Ambos factores geométricos afectan la distribución de temperatura interior de una pieza, ya que, como se señala más adelante, el mecanismo de transferencia de calor desde la superficie del producto hacia su interior es conductivo. Las funciones de correlación entre diferencia máxima de temperatura superficie-interior y forma son muy complejos salvo casos muy simplificados, como el de placas infinitas (5). En su mayoría estos casos deben ser tratados por formulaciones analíticas aproximadas [ver apéndice I y (8)] o por elementos finitos. De todas formas, cuanto mayor es el espesor, mayor es el tiempo requerido para igualar la temperatura de la superficie a la interior, si es que aquella se mantuviera constante. Por tanto, espesores grandes fuerzan menores velocidades de empuje.

1.1. Régimen de escurrimiento de gases

La transferencia de calor en la zona de precalentamiento es esencialmente de tipo convectivo, desde los gases calientes hacia la superficie de la carga, y de carácter conductivo a través de ella. No obstante, la radiación de las paredes no es despreciable.

Si las velocidades de circulación de gases son bajas, las fuerzas viscoelásticas de contacto entre los gases calientes y la carga son considerables, dificultándose la transferencia a través de la capa límite. Por ello se trata de trabajar con un número de Reynolds superior al correspondiente al umbral turbulento.

1.2. Sección transversal del horno

Debe ser lo más ajustada posible a la carga, eliminando espacios muertos y maximizando las superficies radiantes.

1.3. Distribución de temperatura

La distribución de temperatura en un plano perpendicular al de avance de carga debe ser lo más constante posible para no sumar gradientes adicionales a los que se generan en la dirección de avance que pueden facilitar fuertemente la aparición de defectos por alguna de las razones anteriormente mencionadas. Para ello se prefiere trabajar en leve sobrepresión en la zona de fuego (1 a 3 milímetros en la columna de agua), presión atmosférica aproximadamente al comienzo de ella y depresión hacia la entrada y bocas de tiraje.

2. CARACTERISTICAS GENERALES DEL HORNO

Para diseñar el horno que funciona actualmente en este laboratorio se consideró que era necesario:

- buen aislamiento y baja inercia térmica adecuada para el uso en un ambiente universitario de horarios diurnos limitados y espacios reducidos,
- flexibilidad para poder conformar curvas de cocción con relativa facilidad,
- bajo costo de construcción,
- ingeniería de concepción y de detalle simple.

En base a estas pautas el horno construido presenta las siguientes características fundamentales:

- Diseño modular: el horno está construido en base a seis módulos independientes de 1 m de longitud que permitirían, eventualmente, alargarlo con facilidad a longitudes que le darían mayor versatilidad.
- Bóveda suspendida de sencilla construcción.
- Ausencia de partes móviles en las zorras: éstas se desplazan sobre sistemas de patines fijos a la estructura. El costo de mantenimiento y la eficiencia de este sistema han probado ser muy satisfactorios.
- Aislamiento de manta cerámica: el uso de manta cerámica como único revestimiento de las paredes refractarias y como único material constitutivo de la bóveda plana ha posibilitado un excelente aislamiento térmico aun a las máximas temperaturas de operación del orden de los 1.350°C. Esta propiedad, sumada a su inercia térmica, han facilitado ciclos de puesta en régimen sumamente veloces, ya que de temperatura ambiente puede llegarse a 1.300°C en régimen estable dentro de los noventa minutos con bajos consumos de combustible (9).
- Construcción con material existente en el país.
- Amplia posibilidad de recirculación de gases calientes.
- Velocidad de avance variable: la velocidad de avance variable se ha logrado mediante la utilización de un sistema mecánico de empuje accionado

a su vez por un sistema variador electrónico de velocidad.

Las figuras 1 a 4 muestran diferentes vistas del horno y las figuras 5 a 9, permiten apreciar algunos de sus detalles constructivos.

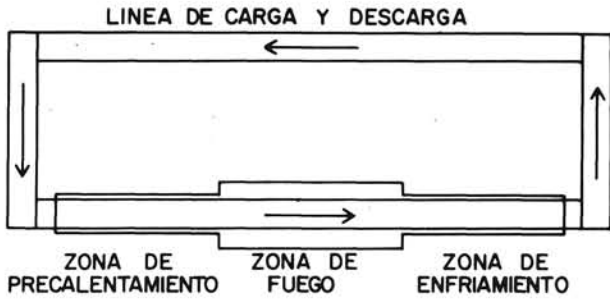


Fig. 1.—Planta esquemática del horno e instalaciones accesorias.

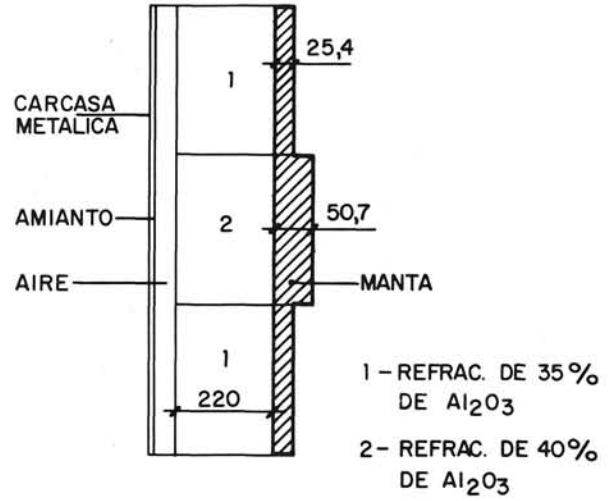
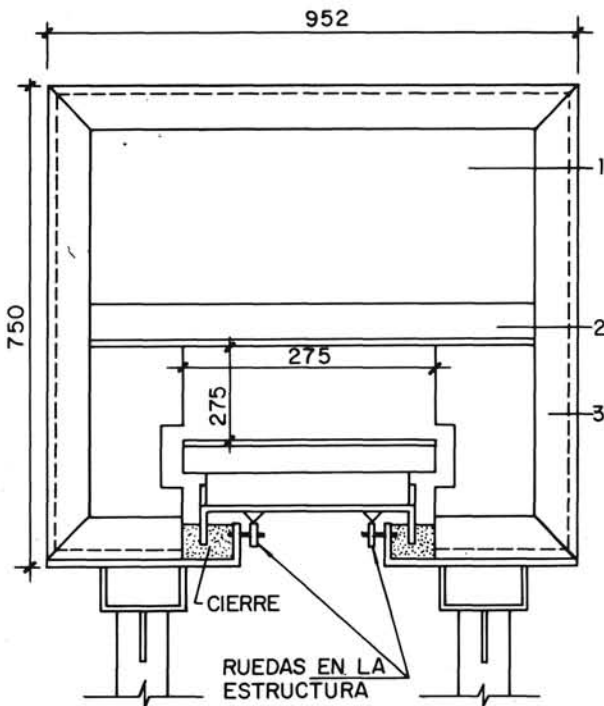


Fig. 4.—Espesores de la pared refractaria del horno.



- 1 - CHAPA 3,17
- 2 - PN L 25 x 25 x 4,76
- 3 - PN L 51 x 51 x 4,76

Fig. 2.—Vista de entrada y/o salida del horno, juntamente con un corte de una zorra

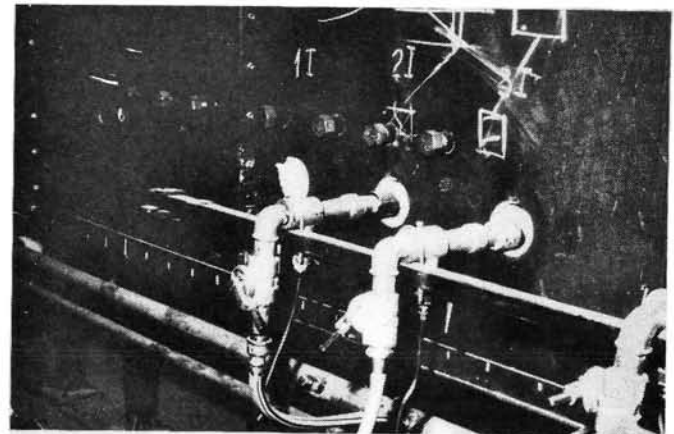


Fig. 5.—Detalle de los quemadores.

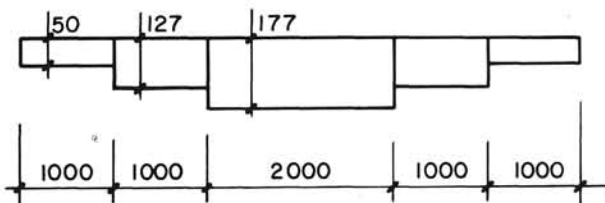


Fig. 3.—Espesores de la bóveda del horno.



Fig. 6.—Detalle de la bóveda suspendida de manta cerámica.

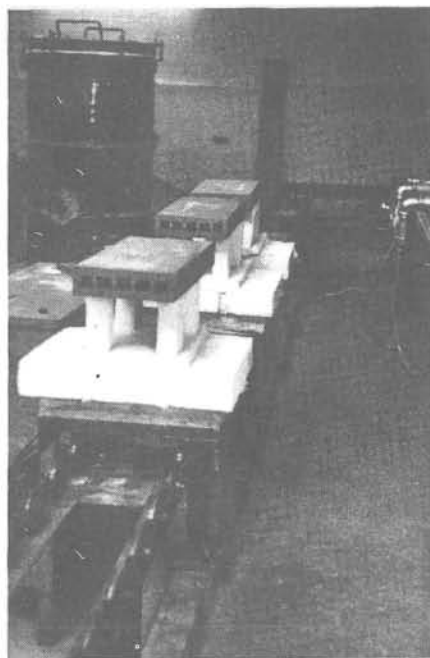


Fig. 7.—Detalle del riel de transferencia con baldosas en distinto estado de cocción.

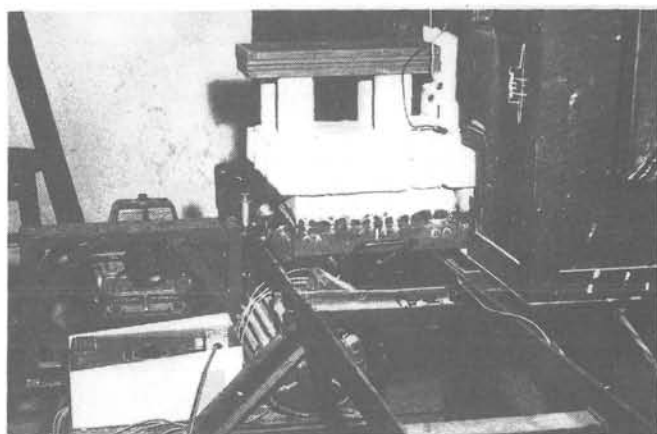


Fig. 8.—Detalle del empujador, con una zorra entrando al horno.

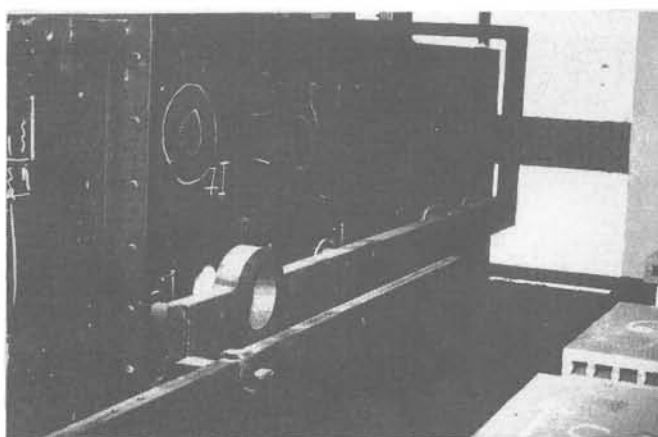


Fig. 9.—Detalle del traje del horno. También se aprecian los módulos constructivos.

TABLA I
CARACTERISTICAS GENERALES DEL HORNO TUNEL

LONGITUD	6 m.
N.º de zorras	25 (20 para el tren-5 para el recambio en el riel de Transferencia).
Ancho medio del canal	275 mm.
Altura media del canal	275 mm.
Quemadores	De tipo pre-mezcla de baja velocidad.
Combustible	Gas natural domiciliario de baja presión.
Zona de fuego	De llama directa.
Empujador	Electromecánico de velocidad variable en forma continua de 0 a 10 cm/min.
Bóveda	Suspendida de manta cermica carborundum tipo H.
Medición de temperaturas	Termopares fijos a las paredes refractarias laterales. Termopares que se desplazan en una zorra (Termopar móvil).
Medición de consumo de gas	Por placa orificio.
Medición de consumo de aire	Por tubo de pilot.
Medición de velocidad de gases	Por anemómetro.
Largo de zorra	300 m.
Ventilador tiraje	Caudal 6m ³ /mm. Presión 150 mm. de H ₂ O.

3. TRABAJO EXPERIMENTAL

Los trabajos encarados hasta el momento han apuntado al afianzamiento del conocimiento de las funciones de correlación entre los parámetros de diseño ingenieril, curvas de cocción y transferencia de calor.

Como sólo ejemplo de la metodología de trabajo y no para realizar un estudio de cocción rápida en una masa dada, se describe seguidamente lo realizado para una masa cerámica roja, cuyas características de dilatometría irreversible determinadas con un dilatómetro, cuyo cabezal sensible es un transductor diferencial de bajo voltaje de 1 mV/ μ m y una $T_{m\acute{a}x.} = 1.100^{\circ}\text{C}$, se muestran en la figura 10. En base a estos datos experimentales compatibilizados con el análisis térmico diferencial correspon-

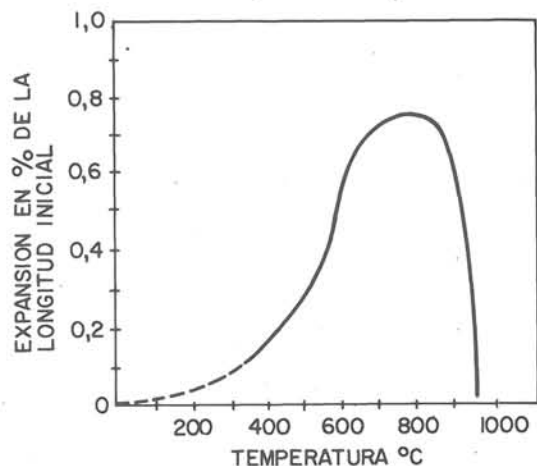


Fig. 10.—Dilatometría irreversible ITE.

diente, se propone tentativamente una curva de cocción como muestra la figura 11 (10). Esta curva propuesta se construye con métodos standard y se decidió usarla como tentativa por las características particulares de la pasta a cocer. Resulta más fácil hacer ajustes posteriores en las rampas de crecimiento y tiempo de maduración evaluando los resultados obtenidos e interpretando los defectos que se presenten. Debe remarcarse no obstante, que este punto de partida para la aproximación de la curva de cocción puede no ser válido para otras pastas de distintas características dilatométricas.

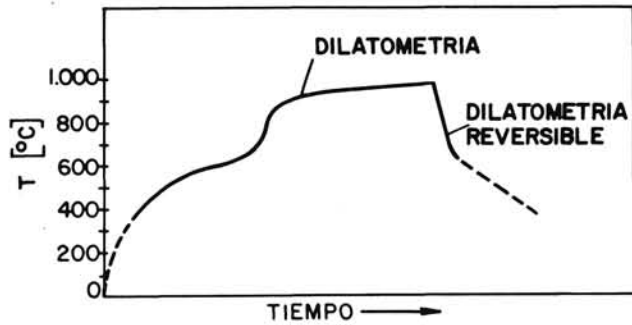


Fig. 11.— Perfil del programa de cocción.

Los parámetros correspondientes a esta experiencia son:

- flujo de carga: 0,38 kg/min correspondiéndole un ciclo frío-frío de 4 h.
- velocidad de empuje: 2,5 cm/min.
- caudal de gas natural: 4 m³/h.
- caudal de aire: 40 m³/h.
- calor específico de la carga a 250°C: 0,2 kcal/kg°C.
- Número de Reynolds en el canal del horno: 1.500 a 2.000.
- Peso de las muestras: media por zorra: 4,5 kg.
- Dimensiones de las muestras: ver figura 13

Las curvas medidas con termopar móvil correspondientes a la temperatura de gases y temperatura interior de la carga se aprecian en la figura 12; el montaje experi-

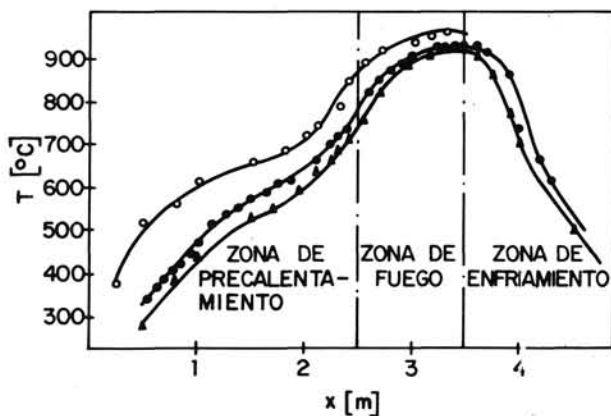


Fig. 12.— Perfiles de temperatura.
 ○ Temperatura media de los gases (experimental).
 ● Temperatura media de la carga (analítica).
 ▲ Temperatura interior de la carga (experimental).

mental correspondiente se esquematiza en la figura 13, en la que se aprecian las medidas de las muestras que corresponden a piezas de cerámica roja para pisos tipo «spalt-platten» de producción industrial standard. La velocidad de empuje es aparentemente baja, pero ello es debido a que las muestras utilizadas son muy voluminosas y de alta masa. El flujo de carga es relativamente alto y está cerca del límite de la capacidad de calentamiento del horno. Trabajando con probetas de menor espesor y masa los tiempos frío-frío son muchísimos menores, como se consigna más adelante.

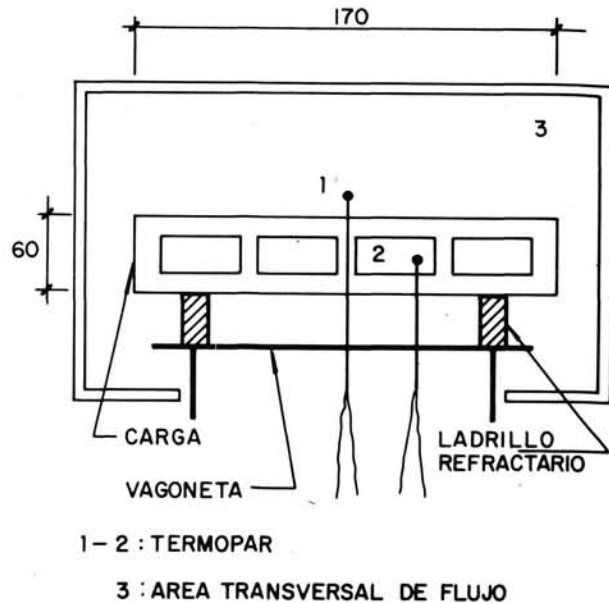


Fig. 13.— Disposición de la carga en el canal del horno. Ubicación de los termopares.

En la figura 12 se aprecia también la curva analítica (temperatura media de la carga) obtenida según se describe en la modelización desarrollada en el apéndice I.

La tabla II muestra el balance térmico para esta experiencia. El balance térmico se ha realizado en base a procedimientos standard (16) y utilizando programas de computación disponibles en nuestro laboratorio.

TABLA II
 BALANCE ENERGETICO PARA LA EXPERIENCIA REALIZADA

Calor entregado por los quemadores.	34.000 kcal/h (Qg)
Calor de reacción:	4.000 kcal/h
Calor perdido por paredes solera y bóveda	8.000 kcal/h
Calor perdido por humos de la chimenea	13.600 kcal/h

En las figuras 11 y 12 se pueden comparar la curva de cocción propuesta como punto de partida con las obtenidas experimentalmente y numéricamente según el apéndice I. El resultado es satisfactorio.

La velocidad de salida de gases de chimenea media con anemómetro resultó de 2 m/s.

4. CONCLUSIONES

La incorporación del equipo aquí descrito a nuestro laboratorio permite realizar profundos estudios sobre cocción rápida a los que estamos abocados y que serán objeto de futuras publicaciones.

Hemos demostrado que el diseño y la construcción de un horno de cocción rápida es realizable con materiales de manufactura regional y que a excepción de la manta cerámica son convencionales.

El precalentamiento altamente turbulento define en gran medida la viabilidad de la cocción de una masa de elevado contenido orgánico minimizando la formación del llamado corazón negro.

El tiempo de maduración se regula como el mínimo necesario para obtener el correcto balance entre porosidad y densidad requerido por la calidad del producto y que es de dominio de los ceramistas. Hemos probado que para la cocción rápida las características de termotransferencia gases-carga son de vital importancia. Para lograr que ésta sea efectiva debe trabajarse con la máxima turbulencia posible en el precalentamiento y se debe tener acceso a una gran versatilidad en el conformado de la curva de cocción a través de quemadores y con adecuado manejo de los humos de combustión. Parte importante de las características de la masa cerámica que retardan la cocción (difusividad, porosidad, contenido de sustancias orgánicas) puede compensarse con una adecuada ingeniería de horno. Con este horno se han cocido satisfactoriamente probetas del mismo material arriba descrito, pero sensiblemente más pequeñas (espesor=10 mm) en ciclos de noventa minutos, es decir $v=6,6$ cm/min.

La principal limitación de este horno es su longitud, ya que impone severas dificultades para poder mantener la estabilidad de presión interior con altos flujos de carga. Está previsto un aumento de su longitud a 10 m para un futuro próximo.

Se ha puesto al servicio de la industria cerámica y de los fabricantes de horno un elemento de gran utilidad para el estudio de procesos industriales hasta el momento inexistente en esta parte del mundo.

En este trabajo se ha descrito el horno que ha sido construido y ensayado satisfactoriamente en nuestro laboratorio. No formó parte del objetivo del mismo presentar resultados sobre el fenómeno de cocción rápida en sí. Ello es motivo de trabajos actualmente en curso. También es motivo de trabajos adicionales en curso la mejor definición de las funciones de correlación parámetros de horno-termotransferencia-velocidad de cocción-masa cerámica.

Los trabajos actualmente en curso son:

1. Modelización de hornos túnel por aproximación numérica aplicando el método de los elementos finitos.
2. Factibilidad de aplicación de cocción rápida al decorado de porcelanas blancas. Se están realizando satisfactoriamente ensayos de decorado de porcelanas blancas en espesores delgados de 3 a 5 milímetros en forma de probetas prismáticas rectangulares y discos a temperaturas de 1.300°C en tiempos frío-frío de noventa minutos con velocidades de empuje de 6,5 cm/min.
3. Alteración de masas de cerámica roja para mejorar su comportamiento frente a la cocción rápida.

4. En base a la modelización numérica por elementos finitos de hornos y a las experiencias en curso, profundización del estudio de las funciones de correlación que definen la ingeniería de cocción rápida.

Oportunamente se expondrán los resultados obtenidos en estas experiencias.

APENDICE I

MODELIZACION DE UN HORNO TUNEL (8) (11)

El proceso de transferencia de calor que tiene lugar en un horno túnel puede asimilarse al de un intercambiador de calor con flujo a contracorriente. El planteo de las ecuaciones de balance de energía térmica entre ambos fluidos (representados en este caso por la carga y los gases en circulación) serán el punto de partida para obtener una expresión analítica para el perfil de temperatura de los mismos. Para este cálculo se introducen las siguientes hipótesis:

1. Las paredes del intercambiador son adiabáticas; no hay intercambio de calor con el medio ambiente.
2. No hay fuentes ni pérdidas de calor en los fluidos: solamente se considera el intercambio de calor entre ellos.
3. Se analiza el intercambiador en un estado estacionario: la temperatura en cada punto es independiente del tiempo. El flujo de masa es constante.
4. La temperatura de los fluidos en una sección transversal es constante ($\Theta_1 = \Theta_2$); no hay variación de la temperatura en cada medio en dirección perpendicular al flujo de gases; los fluidos están completamente mezclados y poseen conductividades térmicas *ideales*.
5. Se excluye la transferencia de calor en dirección paralela a la de la corriente (la conductividad térmica es nula en dicha dirección).
6. La transferencia de calor en una sección transversal sigue la Ley de Newton:

$$d\dot{Q}_{12} = \alpha(\bar{\theta}_1 - \bar{\theta}_2)dA^*$$

$$dA^* = \frac{A}{L} dx$$

α : coeficiente de transferencia de calor

θ_1, θ_2 : temperatura media de los fluidos en dirección perpendicular al flujo

A: área de intercambio

L: longitud del intercambiador

7. Los coeficientes de transferencia de calor, el calor específico de los fluidos, son independientes del tiempo, temperatura y posición.

Planteando el balance energético entre ambos fluidos:

calor absorbido por el fluido 2 (carga) = calor cedido por el fluido 1 (gases)

se obtienen las siguientes ecuaciones (véase figura 14)

$$\dot{C}_1 \frac{d^2\bar{\theta}_1}{dx^2} + \alpha \frac{A}{L} \left\{ \frac{\dot{C}_1}{\dot{C}_2} - 1 \right\} \frac{d\bar{\theta}_1}{dx} = 0 \quad \dot{C}_1 = \dot{m}_1 C_1$$

$$\dot{C}_2 \frac{d^2\bar{\theta}_2}{dx^2} + \alpha \frac{A}{L} \left\{ 1 - \frac{\dot{C}_2}{\dot{C}_1} \right\} \frac{d\bar{\theta}_2}{dx} = 0 \quad \dot{C}_2 = \dot{M}_2 C_2$$

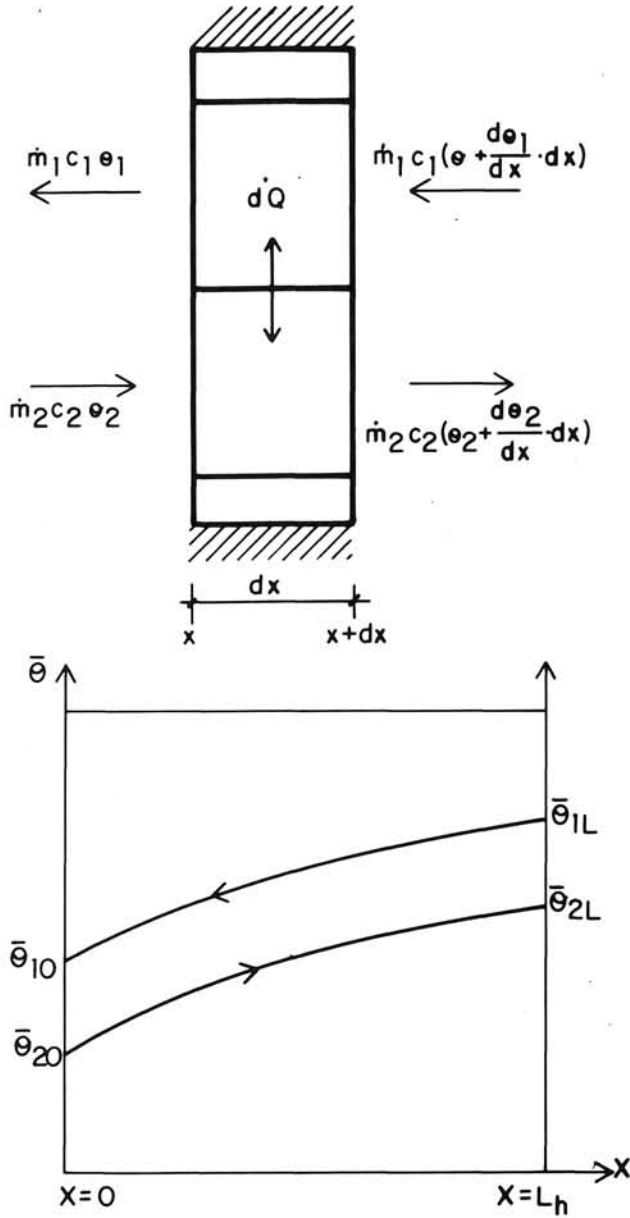


Fig. 14.- Balance energético entre fluidos. Curvas cualitativas de temperatura en la zona de precalentamiento.

Planteando las condiciones de contorno para $x = 0$ y teniendo presente las temperaturas conocidas son θ_{20} (temperatura de la carga al ingresar a la zona de precalentamiento) y $\bar{\theta}_{1L}$ (temperatura de los gases al comienzo de la zona de fuego), se obtienen las siguientes expresiones para la temperatura/media de cada fluido (carga y gases):

$$\bar{\theta}_1(x) = \bar{\theta}_{20} + (\bar{\theta}_{10} + \bar{\theta}_{20}) \frac{1 - \frac{\dot{C}_2}{\dot{C}_1} \exp \left\{ -\frac{\alpha A}{L \dot{C}_2} \left(1 - \frac{\dot{C}_2}{\dot{C}_1} \right) X \right\}}{1 - \frac{\dot{C}_2}{\dot{C}_1} \exp \left\{ -\frac{\alpha A}{L \dot{C}_2} \left(1 - \frac{\dot{C}_2}{\dot{C}_1} \right) L \right\}}$$

$$\bar{\theta}_2(x) = \bar{\theta}_{20} + (\bar{\theta}_{1L} + \bar{\theta}_{20}) \frac{1 - \exp \left\{ -\frac{\alpha A}{L \dot{C}_2} \left(1 - \frac{\dot{C}_2}{\dot{C}_1} \right) X \right\}}{1 - \exp \left\{ -\frac{\alpha A}{L \dot{C}_2} \left(1 - \frac{\dot{C}_2}{\dot{C}_1} \right) L \right\}}$$

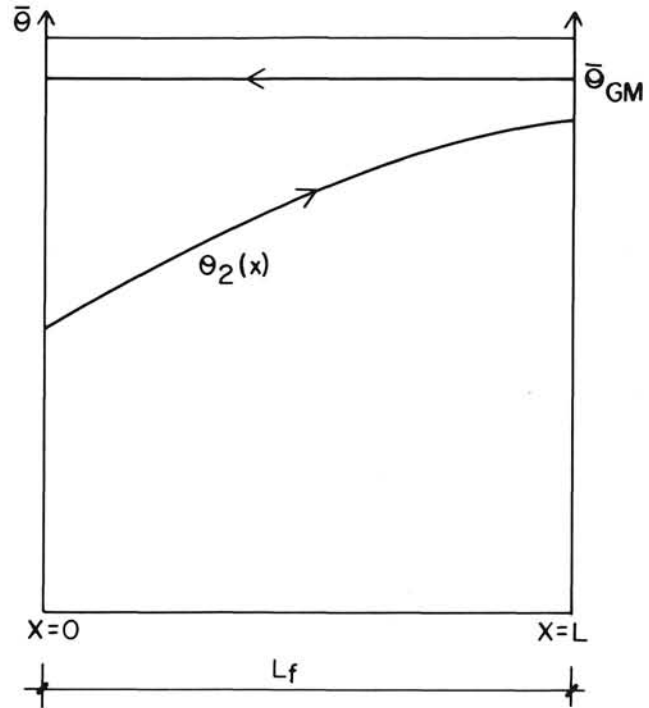


Fig. 15.- Curvas cualitativas de temperatura en la zona de fuego.

Estas ecuaciones se aplican a la zona de precalentamiento y enfriamiento.

Para la zona de fuego se plantea el balance energético suponiendo que la temperatura de los gases ($\bar{\theta}_{GM}$) es constante (ver figura 15):

$$\dot{m}_2 C_2 \frac{d\theta_2}{dx} = \frac{\alpha A}{L} (\bar{\theta}_{GM} - \theta_2)$$

obteniéndose la siguiente expresión para temperatura de la carga en esta zona:

$$\theta_2(x) = \bar{\theta}_{GM} + [\theta_2(L_h) - \bar{\theta}_{GM}] \exp \left\{ -\frac{\alpha A}{L \dot{C}_2} \cdot x \right\}$$

notar que:

$$\theta_2(x_{\text{fuego}}=0) = \theta_2(x=L_{\text{precal}}) = \theta_2(L_h)$$

La aplicación de estas expresiones exige el conocimiento del coeficiente de transferencia efectivo de calor (11-15), para cada zona del horno:

coeficiente efectivo de transferencia:

$$\alpha = \frac{1}{\frac{1}{\alpha'} + \frac{S}{k}}$$

donde: $\alpha' = \alpha_{\text{convenc}} + \alpha_{\text{rad}}$.

$\frac{S}{k}$ coeficiente de transferencia por conducción

Ante la imposibilidad de determinar este coeficiente en forma independiente, haciendo uso de las expresiones:

para la zona de precalentamiento

$$\alpha = \frac{L \dot{C}_2}{A \left(\frac{\dot{C}_2}{\dot{C}_1} - 1 \right) x_i} \cdot \ln \left\{ \frac{(\bar{\theta}_2(x_i) - \bar{\theta}_{20})}{(\bar{\theta}_{10}(x_i) - \bar{\theta}_{20})} \frac{\dot{C}_2 - \dot{C}_1}{\dot{C}_1} + 1 \right\}$$

para la zona de fuego

$$\alpha = \frac{-L_T \dot{C}_2}{Ax_i} \ln \frac{\bar{\theta}_2(x_i) - \bar{\theta}_{GM}}{\bar{\theta}_2(x_i) \cdot \bar{\theta}_{GM}}$$

y los perfiles de temperatura experimentales se evalúan los correspondientes coeficientes de transferencia. En estas expresiones x_i representa una sección arbitraria de cada zona.

Los perfiles analíticos calculados se comparan con los experimentales (fig. 12).

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos al Ing. C.I. Ferrari por su invaluable asesoramiento, al Ing. A. Jabur, al Ing. O. Chiapparoli, al Sr. H. Berestein y al Dr. R. Caligaris por su colaboración en el proyecto y a la Subsecretaría de Ciencia y Técnica de la Nación por haber otorgado un subsidio para la construcción del horno.

BIBLIOGRAFIA

- HOLMES, W.H.; COX, R.W.; DAVIES, E.; SALT, D.L.: The British Ceramic Research Association Quickfire kiln. *Trans. Brit. Cer. Res. Assoc.*, 32, 237-251. Reprinted by permission of The Director of Research from British Ceramic Research Association. Research paper 629.
- HARMS, W.: The integration of the fast firing kiln in the modern porcelain factory. *Interceram.* 1 (1977) 272-276.
- ELIAS, X.: Operating cost comparison between conventional and rapid-firing tunnel kiln. *Interceram.* 4 (1980) 42-44.
- HARMS, W.: Some decomposition reactions in single firing with reference to rapid firing. *Interceram.* 2 (1974) 101-106.
- GARCIA VERDUCH, A.: Algunos conceptos básicos de la cocción rápida. *Bol. Soc. Esp. Cer. Vid.* 23 (1984) 387-392.
- TOPOLEVSKY, R.; MAGGI, P.; CALIGARIS, R.: Optimization of the pressing parameters of brittle and semi-plastic mixtures. *Interceram.* 15 (1983) 34-37.
- CALIGARIS, R.; TOPOLEVSKY, R.; MAGGI, P.; BROY, F.: Compactation behaviour of ceramic powders. *Powder Technol.* 42 (1985) 263-267.
- GASTON, A.: Tecnología térmica para cocción rápida en hornos continuos. *Trabajo final de la Licenciatura en Física. Universidad de Rosario (Argentina)* (1984).
- YOSHINAGA, M.; TAKASHIMA, H.; SUZUKI, Y.; YABUKI, K.: The reduction of unit fuel consumption of high temperature batch furnaces by sticking ceramic fiber layers on the inside surfaces of refractories. *Interceram* 5 (1981) 509-511.
- SINGER, F.; SINGER, S.S: Cerámica industrial. *Edit. Urmo, Bilbao* (1976). Tomo II págs. 265-270.
- GARDEIK, H.: Thermal technology of tunnel kiln firing in the ceramic industry. *Ceramic Monographs. Handbook of Ceramics. Edit. Schmidt Verlag GmbH, Freiburg* (1981), págs. 1-11.
- KERN, D.: Procesos de transferencia de calor. 13ª Edición. *Compañía Editorial Continental, México* (1979), págs. 67-71.
- SCHRÖDER, U.; JESCHAR, R.: Modellversuche über Druckverlust und Wärmeübergang in gitterförmigen Tunnelofenbesatz. *Ber. Deut. Keram. Ges.* 49 (1972) 881-886.
- MERTES, H.: Theoretische Untersuchung über das Aufheizen einer Mehrkornschüttung in Gegenstrom. *Dissertation TU Clausthal* (1968).
- VDI-Wärmeatlas. *VDI-Verlag, Düsseldorf* (1963).
- TRINKS, M.: Hornos industriales. *Editorial Urmo, Bilbao* (1975). Tomo I pág.121-129.