

Secado de piezas de porcelana mediante microondas

J. QUINTANILLA*, J.J. LECUONA*, G. DAZA**, F.J. SECO**

* Porcelanas Bidasoa, 20303 Irún (Guipúzcoa) **Inasmet, Depto. Cerámicas y Pulvimetalurgia. 20009 San Sebastián Guipúzcoa

Durante el secado convencional, las piezas se calientan desde el exterior dando lugar a elevados gradientes de humedad y temperatura que, a su vez, generan tensiones como consecuencia de contracciones diferenciales de la pieza facilitando su fractura. Además, este proceso es muy largo creando dos importantes cuellos de botella del proceso de fabricación de piezas de porcelana: secado y almacenamiento previo al refinado y al bizcochado. El secado por microondas permite solventar estos problemas debido a que las piezas se secan de forma mucho más homogénea y rápida con gradientes de humedad y térmicos inferiores, reduciéndose el número de rechazos y el tiempo de secado. Probablemente el mayor problema del secado por microondas de este tipo de productos consiste en la necesidad de secar simultáneamente piezas de tamaños, pesos, espesores y geometrías muy diferentes. En este artículo se describe el secado por microondas de piezas de porcelana tanto de forma individual como mezclando piezas diferentes simultáneamente. Los resultados indican que el tiempo de secado se puede reducir drásticamente sin que las diferentes geometrías y tamaños de las piezas planteen inconvenientes. Además, se hace una estimación de los beneficios económicos que se pueden alcanzar introduciendo esta tecnología en el proceso de secado de porcelana.

Palabras Clave: Microondas, Secado, Porcelana

Microwave Drying of Porcelain Parts

During conventional drying, parts are heated from the outside creating large humidity and temperature gradients which, in turn, generate stresses due to differential shrinking of the part promoting their fracture. Besides, this process is very lengthy creating two important bottlenecks in the production of porcelain parts: drying and storage before refining and biscuit firing. Microwave technology can solve these problems since parts are heated more homogeneously and very quickly with smaller humidity and thermal gradients and, thus, shorter drying times and fewer rejects. Probably the main problem in microwave drying of these products is the need to dry simultaneously parts with very different sizes, weights, thicknesses and geometries. This paper describes microwave drying of porcelain parts both individually and mixing different parts simultaneously. The results obtained indicate that drying times can be reduced drastically and that parts with different geometries and sizes do not pose a problem. Besides, the economic benefits that can be derived by introducing microwave technology in the drying process of porcelain parts are estimated.

Key words: Microwaves, Drying, Porcelain

1. INTRODUCCION

Al intentar eliminar la humedad de una pieza por métodos convencionales (radiación, convección, etc.), el calor penetra hacia el interior creando un gradiente térmico contrario al de la humedad y desfavorable para el secado. En estos casos, para que se produzca el secado es necesario esperar a que el interior alcance una temperatura suficiente para que la humedad pueda emigrar hacia la superficie y, finalmente, al exterior de la pieza. En el secado por microondas ocurre al contrario, la temperatura es superior en el interior que en la superficie y, además, el calor se genera en las partículas con humedad facilitando su emigración a la superficie (1).

Este sistema de secado presenta varias ventajas sobre los métodos convencionales pues permite aplicar el calor allí donde es necesario sin necesidad de calentar la pieza o el ambiente externo a la misma, el equipo de calentamiento se conecta y des-

conecta de la red de forma instantánea, no se producen humos ni se calienta el entorno mejorando ostensiblemente el ambiente laboral, facilita la automatización del proceso al poderse integrar fácilmente dentro de las líneas de fabricación de los productos, los equipos son de menor tamaño ahorrando espacio y, especialmente, permite grandes reducciones en el tiempo de secado. Posiblemente de todas éstas, la última sea la más importante habida cuenta de los beneficios económicos que conlleva: aumento de la flexibilidad en la producción, disminución de los rechazos como consecuencia de una menor manipulación de las piezas, reducción en el espacio necesario para el almacenamiento de los productos durante las etapas de secado, reducción del coste de la energía al poder utilizar horas valle durante el secado y reducción en el consumo energético del proceso al no ser necesario calentar la pieza ni el entorno de ésta.

Resulta llamativo el hecho de que a pesar de las considerables ventajas que puede aportar esta tecnología al proceso de secado y de que se conoce desde hace varias décadas, no existan apenas trabajos sobre el secado de porcelanas por microondas; tan sólo en algunos productos muy específicos como pies de lámparas y picaportes (2, 3). Más información puede encontrarse sobre otras aplicaciones dentro del sector de materiales cerámicos tales como el secado de tejas, porcelanas eléctricas, refractarios, etc (4 - 8). Tal vez el mayor problema del sector de vajillas de porcelana consiste en que es necesario secar simultáneamente una gran variedad de productos con diferentes tamaños, pesos y geometrías lo que dificulta que la tecnología sea de utilidad industrial.

El objetivo fundamental de este trabajo consiste en estudiar el proceso de secado por microondas de diferentes piezas de vajillas de porcelana y hacer una estimación del impacto económico de la introducción de esta tecnología en el sector en España.

2. PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

Los ensayos de secado se llevan a cabo en un horno de microondas multimodo (figura 1) de cavidad rectangular con dimensiones 610 mm x 420 mm x 200 mm y dos magnetrones de 1000 w cada uno. La potencia de emisión se puede programar digitalmente entre 0 y 2000 w de forma continua y el horno está dotado de un sistema de ventilación para eliminar la humedad.

Los ensayos se realizan sobre tres piezas diferentes, fabricadas con porcelana dura (caolín, feldespato y cuarzo). En la figura 2 se muestran las piezas secadas a blanco por microondas y en la figura 3 el daño sufrido por éstas como consecuencia de un secado excesivamente rápido. Sus características son :

- **Tetera (ref tt)** Peso seco (p.s.) : 700 g. Según experiencia



Figura 2 Selección de piezas usadas en los ensayos de secado. Piezas secadas a blanco por microondas correctamente.



Figura 3 Daño sufrido por las piezas como consecuencia de un secado por microondas excesivamente rápido.

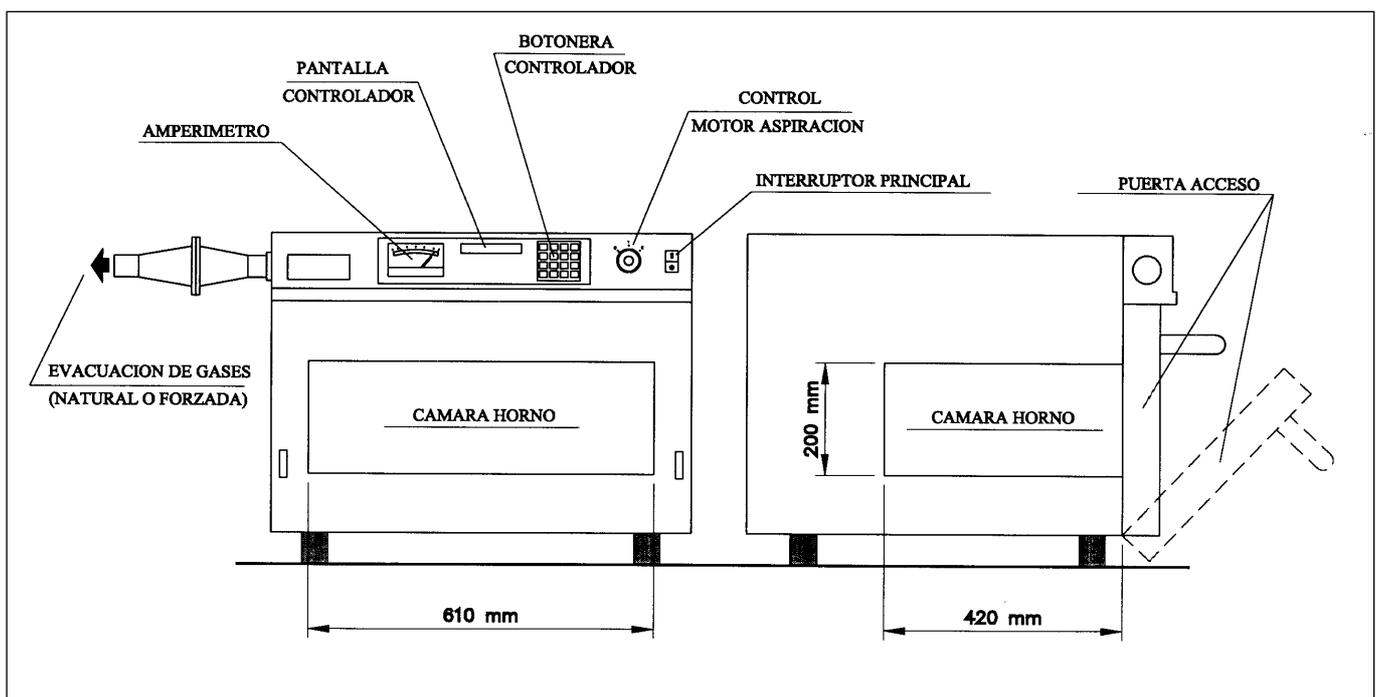


Figura 1 Esquema del horno microondas utilizado en los ensayos de secado.

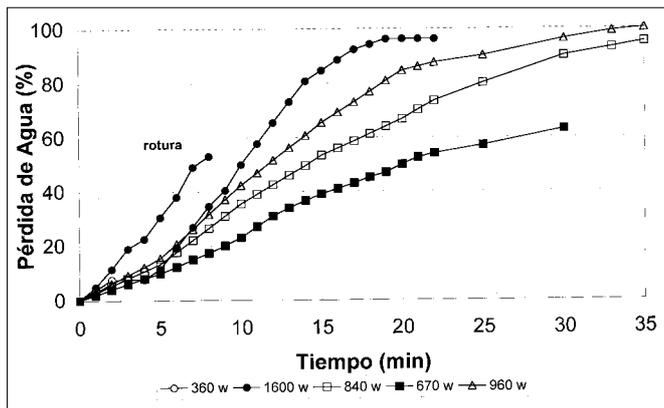


Figura 4 Pérdida de agua frente al tiempo de secado de 5 rabaneras secadas individualmente empleando diferentes potencias.

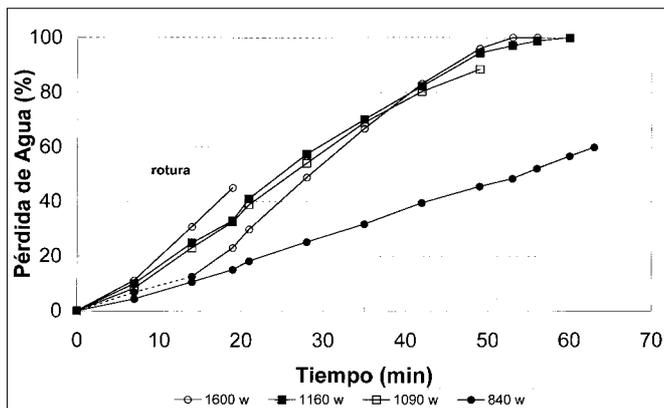


Figura 5 Pérdida de agua frente al tiempo de secado de 5 teteras secadas individualmente empleando diferentes potencias.

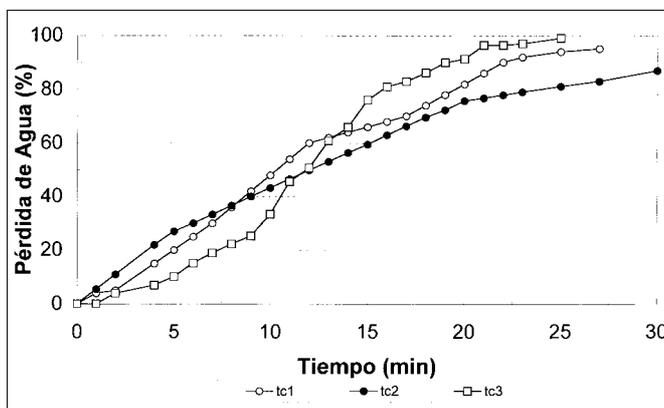


Figura 6 Pérdida de agua frente al tiempo de secado de 3 tazas de café secadas individualmente con 960w de potencia.

del fabricante, esta pieza es particularmente susceptible a desarrollar grietas durante el secado. Tiene paredes gruesas, variando el espesor entre la base y la parte superior. Además, el asa y el pitorro son zonas de geometría compleja donde es de esperar que se concentren las tensiones. La tetera se fabrica por colaje en molde abierto.

- **Taza Café** (ref tc) Peso seco : 90 g. Posee paredes delgadas y un asa, más gruesa, pegada al cuerpo de la taza. La zona de adhesión del asa a la taza constituye una zona de problemática típica durante el secado en todas las piezas de esta naturaleza. Las tazas se fabrican por calibrado.

- **Rabanera** (ref rb) Peso seco : 105 g. Se elige esta pieza por ser la menos susceptible a desarrollar problemas durante el secado. Se fabrican por colaje en molde cerrado.

Las piezas se pesan en una balanza de precisión y se introducen en el horno. Durante el secado se extraen a intervalos regulares y se registra su peso y el tiempo transcurrido, realizándose el proceso en unos 15 a 30 segundos. Una vez finalizado el ensayo, se vuelven a pesar las piezas y se introducen en una estufa durante tres días con objeto de asegurar que se encuentran en el estado ideal para proceder al bizcochado. Al final de dicho periodo se vuelve a pesar las piezas. Durante los ensayos, la humedad en las inmediaciones del horno se mantuvo entre el 62% y el 64%.

Con objeto de interpretar adecuadamente los resultados de los ensayos, se resume a continuación la nomenclatura y fórmulas empleadas :

- t_{mo} : tiempo de secado por microondas
- P_i : peso inicial
- P_{mo} : peso después del secado por microondas
- P_{sb} : peso después del secado en estufa - secado a blanco

$$RENDIMIENTO\ DEL\ SECADO\ POR\ MICROONDAS\ (\%) = \frac{P_i - P_{mo}}{P_i - P_{sb}} \cdot 100$$

El motivo de emplear la fórmula anterior se debe a que permite comparar los resultados en igualdad de condiciones puesto que, para una pieza determinada, el peso inicial varía debido a diferencias en el contenido inicial de agua (parte se evapora durante el tiempo transcurrido entre la fabricación y el inicio del ensayo) y a que el peso de la materia seca no es siempre el mismo.

3. RESULTADOS Y DISCUSION

Se realizaron ensayos de secado sobre piezas individuales, sobre varias piezas iguales secadas simultáneamente y sobre varias piezas diferentes secadas simultáneamente.

3.1 Ensayos sobre piezas secadas individualmente

La figura 4 muestra los gráficos de pérdida de agua frente al tiempo correspondientes a ensayos realizados sobre rabaneras empleando diferentes potencias. Podemos observar que potencias de 1600w son excesivas ocasionando la rotura y, por el contrario, potencias de 670w son demasiado bajas alargando excesivamente el secado. Pérdidas de agua (según se define en (1)) del 100% se consiguen en 35 minutos a 960w. Se pueden conseguir tiempos más cortos combinando diferentes

potencias dentro del mismo ensayo, sin embargo estos ensayos son muy dependientes del tipo de pieza y, por consiguiente, no son útiles si se quieren secar simultáneamente piezas diferentes que es el objetivo que se persigue.

Igual información se resume en la figura 5 para el caso de las teteras. En este caso, se consiguen secar las teteras en 55-60 minutos con una potencia de 1160w no obteniéndose ventajas apreciables al combinar diferentes potencias dentro del mismo ciclo de secado.

Los resultados obtenidos con las tazas se resumen en la figura 6. En este caso todas las tazas se secan a 960w (potencia óptima para el secado de una rabanera) obteniéndose resultados similares al obtenido con una rabanera en las mismas condiciones; 25-30 minutos para secados superiores al 90%. Se observa, además, una buena reproducibilidad tanto en las tazas como en las rabaneras (figura 7) y las teteras (figura 8). Las pequeñas diferencias observadas se deben a la diferencias en los contenidos iniciales de agua.

3.2 Ensayos sobre piezas iguales secadas simultáneamente

Se realizaron sobre teteras y a las potencias de 1160w y 1920w, figuras 9 y 10. Tal vez, el aspecto más importante a destacar es que no se observaron roturas de piezas como consecuencia de una mala distribución del campo electromagnético en el interior de la cámara. De la figura 9 se puede, además, deducir que la relación entre la potencia y la materia seca para secar en tiempos razonables a esta potencia es de 830w/Kg de m.s. Similares conclusiones se alcanzan con los resultados de la figura 10 excepto que, en este caso, la relación entre la potencia y la materia seca es un 17% inferior (685w/Kg de m.s.) como consecuencia de haber aumentado la potencia del horno.

Los resultados indican claramente que la eficiencia energética del secado por microondas aumenta considerablemente con la potencia del horno. Teniendo en cuenta que la potencia de un horno industrial sería unas 10 veces superior a la máxima que se puede conseguir con el prototipo empleado, cabe esperar una considerable mejora en el rendimiento energético del horno consiguiéndose, muy probablemente, rendimientos superiores a los conseguidos con procesos de secado convencionales.

3.3 Ensayos sobre piezas diferentes secadas simultáneamente

Estos ensayos son cruciales dado que si se pretende que la

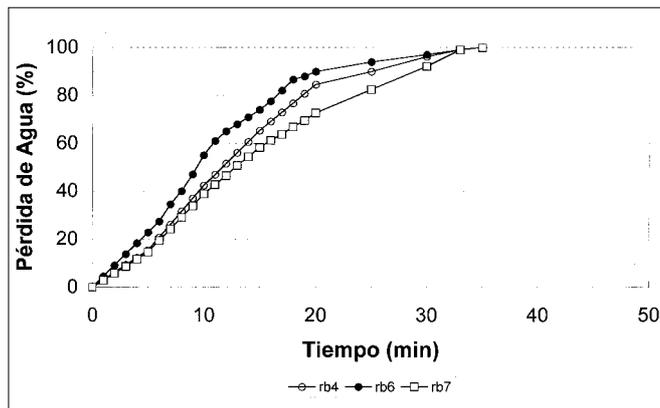


Figura 7 Pérdida de agua frente al tiempo de secado de 3 rabaneras secadas individualmente con 960w de potencia.

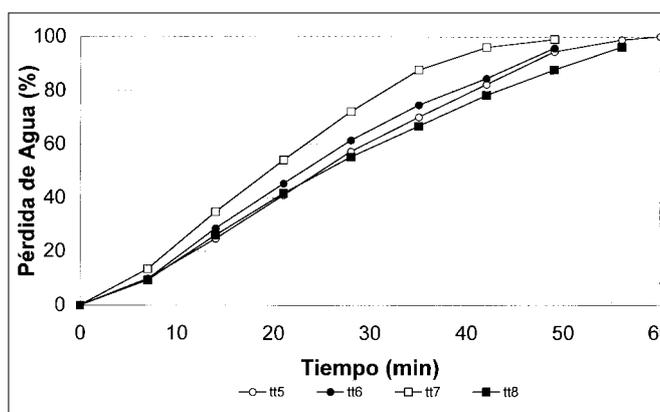


Figura 8 Pérdida de agua frente al tiempo de secado de 4 teteras secadas individualmente con 1160w de potencia.

tecnología de secado por microondas sea de utilidad industrial en el sector de la porcelana, resulta imprescindible poder secar piezas diferentes simultáneamente con objeto de no perjudicar la gran flexibilidad de producción que puede aportar esta tecnología.

En la figura 11 se muestra el resultado de un ensayo de secado de 5 piezas mezclando los tres tipos diferentes empleados en el estudio. Aún a pesar de la gran diferencia entre las características de las piezas, no se observa ninguna rotura consiguiéndose prácticamente un secado completo a blanco de

TABLA 1
IMPACTO ECONÓMICO SOBRE EL SECTOR DE VAJILLAS DE PORCELANA ESPAÑOL DE LA INTRODUCCIÓN DEL SECADO POR MICROONDAS.

Categoría	Incremento/Reducción (%)	Coste Asociado (Mptas.)	Comentario
Reducción en el tiempo medio para fabricar una pieza	27	-	
Reducción en el número de rechazos	(2-4)	(285-380)/año	El porcentaje es sobre la producción total
Incremento del espacio disponible en la planta	1,7	90	1400 m ² sobre un total de 80000 m ²
Reducción de costes laborales	3,8	20/año	Reducción de 45 operarios de la sección de alfarería
Coste del horno de secado por microondas	-	-(50-67)/año	
Total	-	90 + (238-350)/año	

todas las piezas en 70 minutos.

La figura 12 muestra el resultado de un ensayo similar pero empleando la máxima potencia del horno y 13 piezas diferentes. Aun cuando la cantidad de materia seca es muy superior a la del ensayo anterior (2465 g frente a 1090 g), se consigue un secado completo, sin roturas, en 60 minutos.

4. IMPACTO SOBRE EL SECTOR DE VAJILLAS DE PORCELANA

Las cifras se han obtenido en base a los resultados de este estudio y datos de proceso de PORCELANAS BIDASOA, extrapolándose, posteriormente, al mercado Español de vajillas de porcelana. Los resultados se resumen en la tabla 1.

Si excluimos la fabricación de platos, al poder ser fabricados sin necesidad de secar el producto mediante prensado isostático a partir de polvos con un contenido muy bajo en humedad, el secado de los demás productos necesita un periodo que oscila entre 24 y 48 horas en función del peso y el espesor. Los resultados obtenidos indican que con microondas el secado se podría llevar a cabo en media o una hora consiguiendo una reducción del 27% en el tiempo medio necesario para fabricar una pieza dado que, en la actualidad, el proceso completo de fabricación es de 5 a 6 días.

El número de rechazos asociado con el proceso de secado se sitúa en el 10% aproximadamente. La mayoría de éstos se producen como consecuencia de la manipulación que sufren las piezas durante las etapas de secado, manipulación que quedaría considerablemente reducida si el secado se realizase mediante microondas, estimándose, conservadoramente, una reducción en el número de rechazos del 30%-40%, es decir un 3%-4% de la producción total (excluidos los platos) o bien entre 285 a 380 MPtas/año.

Otra consecuencia consiste en incrementar el espacio disponible en la planta tanto debido a las reducidas dimensiones de un horno de secado por microondas comparada con la de los secaderos convencionales como, principalmente, debido a que el espacio ocupado por los carros dónde se depositan las piezas para secar (antes de introducirse en los secaderos) se reduce. En total se podría ahorrar alrededor del 1,7% de espacio (es decir, 1400 m² sobre un total estimado de 80000 m²) que, a los precios actuales del mercado, conllevaría un ahorro de 90 MPtas.

A su vez, la reducción en la manipulación de las piezas daría lugar a una disminución de los costes laborables en un 3,8%, correspondiendo a una reducción de 45 operarios de la sección de alfarería. Este ahorro se puede estimar en 20 MPtas/año.

Tal vez, la única desventaja de la tecnología es el elevado coste de compra del equipo que se podría estimar, aproxima-

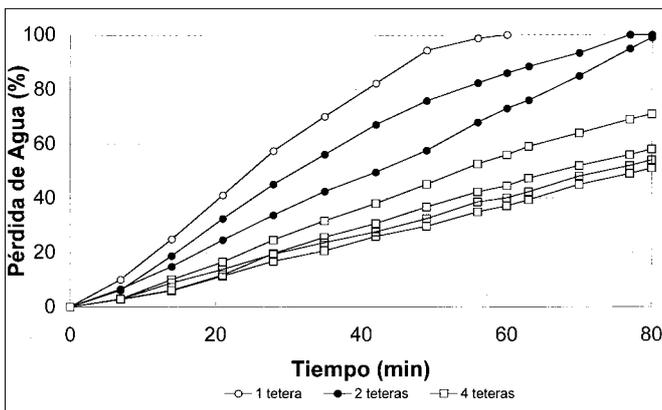


Figura 9 Pérdida de agua frente al tiempo de secado de tres ensayos de piezas secadas simultáneamente con 1160w de potencia : 1, 2 y 4 teteras.

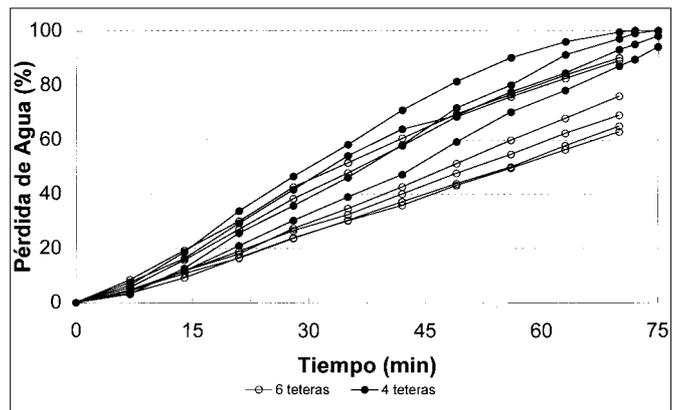


Figura 10 Pérdida de agua frente al tiempo de secado de dos ensayos de piezas secadas simultáneamente con 1920w de potencia : 4 y 6 teteras.

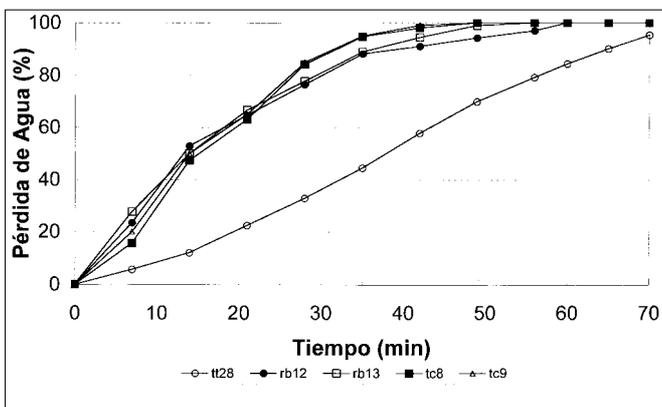


Figura 11 Pérdida de agua frente al tiempo de secado de 5 piezas diferentes secadas simultáneamente con 1160w de potencia.

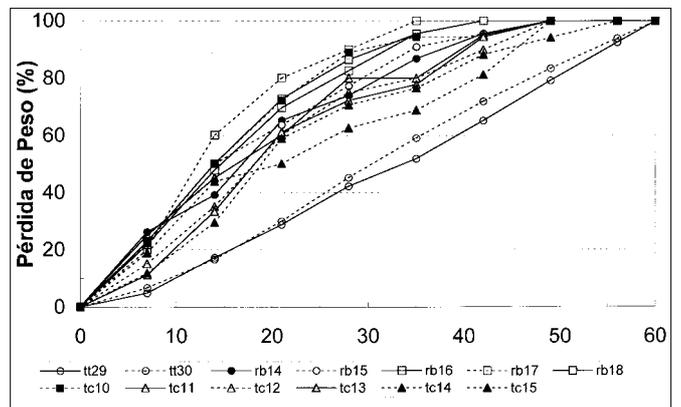


Figura 12 Pérdida de agua frente al tiempo de secado de 13 piezas diferentes secadas simultáneamente con 1920w de potencia.

damente, en 50 a 67 MPtas/año durante 5 años para cubrir las necesidades del sector.

Otra fuente importante de ahorro puede derivarse tanto de un menor consumo energético como de un menor coste medio de la energía al permitir la tecnología secar el producto durante horas valle. No se ha podido establecer con precisión una cifra en este apartado puesto que la potencia máxima del horno empleado (2 Kw) dista mucho de la necesaria para una instalación industrial no resultando muy fiables las extrapolaciones. Sin embargo se ha podido constatar un considerable aumento de la eficiencia energética del proceso al aumentar la potencia suministrada. Esto nos lleva a pensar que el ahorro energético anual podría igualar o incluso superar el coste anual de la instalación del equipo de secado por microondas.

5. CONCLUSIONES

En este trabajo se han realizado diversos ensayos de secado por microondas de piezas de porcelana. Los resultados obtenidos indican que se pueden obtener importantes reducciones en el tiempo necesario para secar las piezas. Además, se ha podido constatar la viabilidad de secar simultáneamente piezas de tamaños, pesos y geometrías muy diferentes, requisito indispensable para poder sacar el máximo partido a la gran flexibilidad que dicha tecnología puede aportar a la producción industrial. A su vez, se ha llevado a cabo una estimación del impacto económico de la tecnología en el sector de fabricación de vajillas de porcelana que arroja un saldo muy positivo. En resumen, pensamos que su implantación industrial ayudaría a resolver algunos de los principales problemas del sector como son el excesivo número de rechazos, plazos de entrega elevados y un sistema de producción poco flexible (9).

6. AGRADECIMIENTOS

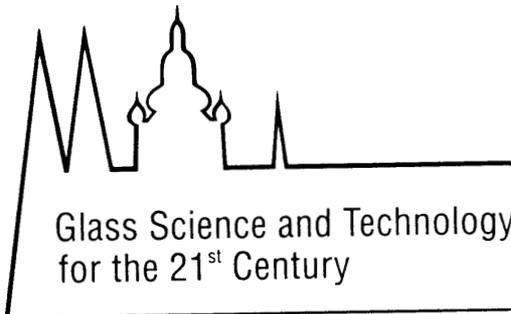
Deseamos expresar nuestro agradecimiento al CADEM por la ayuda prestada en la medición de los consumos energéticos del horno de microondas.

REFERENCIAS

1. A.C. Metaxas, J.G.P. Binner. "Microwave Processing of Ceramics". Advanced Ceramic Processing and Technology, Vol I, 285-367. Noyes Publications, New Jersey USA (1990)
2. "The Microwave/Vacuum Drying of Cast Ceramic Ware". New Practice Report No 40, ETSU (1993)
3. D.P. Rizio, P.J. Bunyan. "The Use of Microwave Energy and Rapid Firing in the Manufacture of Whitewares". J. of Australian Ceramic Society, 27 [1-2], 95-101 (1991)
4. Ch. Siefke. "Microwave Drying of Ceramic Tiles and Tapes". CFI, Ceram. Forum Int., 70, [10], 529-536 (1993)
5. J. Markert, R. Diedel. "Microwave Drying in the Clay Roofing Tile Industry". ZI, Ziegelind. Int., 44, [8], 407-412 (1991)
6. W.A. Hendrix, T. Martin. "Microwave Drying of Electrical Porcelain : A Feasibility Study". Ceramic Engin. & Science Proc. 14, [1-2], 251-256 (1993)
7. K. Malhotra. "R&D Opportunities in Drying of Advanced Electro-Ceramics". Drying Technology, 10 [3], 715-732 (1992)
8. A. Odriozola. INASMET. "Microondas : Sus Posibilidades en la Industria Cerámica". Conferencia oral presentada en: "Nuevas Tecnologías para Hornos y Utilización de Gas en el Sector de la Cerámica Estructural", patrocinado por la DG XVII - Programa Thermie, Toledo (1994)
9. G.J. Small. "Improved Business Performance through Advanced Technology". Interceram, 44, [3], 180-185 (1995)

Recibido: 17-9-96

Aceptado: 18-2-99

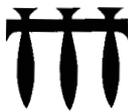


**Glass Science and Technology
for the 21st Century**

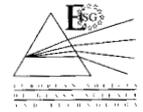
**June 21 - 24, 1999
Prague
Czech Republic**

**GLASS SCIENCE AND TECHNOLOGY
FOR THE 21st CENTURY**

**JUNE 21 - 24, 1999
PRAGUE
CZECH REPUBLIC**



**ANNUAL
MEETING**



5th CONFERENCE



**ANNUAL
MEETING**

**Information:
<http://www.vscht.cz/esg99>**