

Cofinanciado por:



**Conceptos de ahorro de Energía
para la industria cerámica Europea**

Proyecto CERAMIN



**Tutorial sobre el ahorro de Energía
no eléctrica**

Autor: Rüdiger Köhler, KI Keramik-Institut GmbH, D 01662 Meißen



Proyecto CERAMIN

www.ceramin.eu

Proyecto promovido por :



**Institut für Energetik und Umwelt (IE)
gemeinnützige GmbH**

Internet: www.ie-leipzig.de



KI Keramik-Institut GmbH

Internet: www.keramikinstitut.de



CERAM Research Ltd.

Internet: www.ceram.com



**Centre Recursos d'Iniciatives i Autocupació,
s.l.**

Internet: www.cria.es



ETA – Energia, Trasporti, Agricoltura srl

Internet: www.etaflorence.it



Société Française de Ceramique

Internet: www.ceramique.fr



Instytut Szkła i Ceramiki

Internet: www.isic.waw.pl

Autor: : Rüdiger Köhler, KI Keramik-Institut GmbH, D 01662 Meißen

Traducción al castellano: S. Montero

Revisión y adaptación: Cria SL

2009 - Barcelona

Los miembros del proyecto CERAMIN advierten que el contenido de este libro solo compromete a su autor. Los contenidos de esta publicación no reflejan la opinión ni posicionamiento de la Comisión Europea ni de ninguna de sus organizaciones o delegaciones.



Índice de contenido

.....	1
Tutorial sobre el ahorro de Energía	1
no eléctrica.....	1
.....	1
Introducción.....	4
1 Comentarios generales	7
1.1 Sobre este Tutorial	7
2 Ladrillos de mampostería	8
3 El pavimento y los ladrillos de exterior	16
4 Las tejas para tejados y baldosas extruidas.....	21
5 Las vajillas	27
6 La cerámica sanitaria	33
7 Las tejas	37

Bibliografía



Introducción

El proyecto de CERAMIN persigue animar a la industria europea de la cerámica a que disminuya su consumo de energía específico (CEE) por medio del reconocimiento a dichos esfuerzos con una competición de carácter voluntaria y la elaboración de un tutorial con recomendaciones prácticas para poder mejorar dicho ahorro energético .

Se ha procedido a invitar a diversas empresas cerámicas de los países implicados en dicho proyecto, intentando recoger los diferentes subsectores de cerámica existentes. Dicha invitación comportaba participar en un concurso para reconocer los logros de las empresas en lograr el más bajo CEE y la mayor reducción relativa CEE.

El plan inicial pretendía implicar en la primera fase a 60 empresas de al menos 6 países europeos: Alemania, España, Francia, Inglaterra, Italia y Polonia . (Los partners implicados en el proyecto CERAMIN son presentado en la pagina web <http://www.ie-leipzig.com/Ceramin/partners.htm>)

El siguiente cuadro 1 muestra el número final de empresas participantes por subsector y por país al final de la primera fase.

Los sectores con más empresas participantes son de los subsectores de baldosas, de materiales refractarios y de cerámica de mesa y decorativa.

	UK	E	F	I	D	PL	Suma de los subsectores
Ladrillos					1	2	3
Baldosas cerámicas	9				13	2	24
Tejas cerámicas						1	1
Materiales refractarios	2	3	1			1	7
Azulejos	1		2			1	4
Sanitarios cerámicos			1		1	1	3
Cerámica de mesa y decorativa	3		1			2	6
Cerámica técnica							0
Suma de los Países	15	3	5	0	15	10	48

Cuadro 1: Número de empresas por subsector y país que tomaron finalmente parte en el proyecto hasta 31.12.2008

El proceso de reconocimiento y valoración del ahorro energético

Las normas para el cálculo del ahorro energético están adjunta al documento (anexo 1). Según dichas normas, el cálculo se debía realizar considerando por lo menos dos años





de producción. De estos dos años, solamente se ha utilizado el resultado del cálculo de una de las reducciones. Por este motivo, las dos últimas columnas del cuadro 2 están vacías para el año base.

Las empresas participantes están clasificadas por subsector y por nivel de reducción de consumo energético. Se han listado sólo las primeras 5 (si está disponible) reducciones energéticas y las mejores de la SEC absoluta, por subsector. Los datos han sido aportados voluntariamente por las empresas sin un control de verificación ex post, con la excepción de los subsectores de cerámica industrial pesada donde la verificación estaba disponible según EUTS para la mayor parte de las compañías.

Casualmente, cuando la recogida de datos en el cuadro 2 se completó, emergieron los problemas asociados con la crisis y ello comportó una disminución muy significativa de la participación. Por esta razón, expresada por las propias empresas, sólo unas pocas empresas estaban dispuestas a dar datos acerca de su éxito en los procesos de ahorro de energía .^{50, 51}

Las observaciones y recomendaciones recogidas en este documento se basan en la experiencia general técnica de los partners y empresas así como de la experiencia recogida en la bibliografía adjunta..

-  CERAM Research Ltd. (UK) – www.ceram.com
-  Instytut Szkła i Ceramiki (PL) – www.isic.waw.pl
-  Societe Francaise de Ceramique (F) – www.ceramique.fr
-  KI Keramik-Institut GmbH (D) – www.ceramics-institute.com

	Enter-prise No.	No. of Plant	Branch	Sum of energy consumption [GJ]	SEC [GJ/t]	Place-ment absolute	Energy miti-gation	Place-ment mitigation
D	1	1	Masonry...	15.308	2,69	4	0,92	1
PL	PL-3	PL-3	Masonry...	181.290	1,34	1	0,38	2
PL	PL-5	PL-5-2	Masonry...	145.052	2,17	2	0,29	3
PL	PL-5	PL-5-2	Masonry...	138.090	2,61	3		
PL	PL-3	PL-3	Masonry...	287.464	2,76	5		
D	1	1	Masonry...	20.885	3,60	6		
UK	5	1	Baldosas...	56.609	10,63	42	3,81	1
UK	3	1	Baldosas...	21.388	4,24	32	1,63	2
UK	8	1	Baldosas...	9.768	3,16	25	1,10	3
UK	6	1	Baldosas...	19.413	5,83	38	0,97	4
D	6	1	Baldosas...	90.670	4,72	35	0,40	5
UK	1	1	Baldosas...	4.135	1,43	2	-0,05	16
UK	1	1	Baldosas...	4.024	1,37	1		
UK	8	1	Baldosas...	13.168	4,26	33		
D	6	1	Baldosas...	99.921	5,12	37		
UK	3	1	Baldosas...	35.812	5,88	39		
UK	6	1	Baldosas...	21.743	6,80	40		
UK	5	1	Baldosas...	62.746	14,45	46		
PL	PL-5	PL-5-1	Tejas...	78.481	4,27		12,08	
PL	PL-5	PL-5-1	Tejas...	34.822	22,38			
UK	9	1	Refractarios	90.397	16,31	11	6,27	1
E	2	2	Refractarios	44.031	8,16	7	1,72	2
PL	PL-4	PL-4	Refractarios	304.986	4,91	3	1,13	3



EIE/06/222/SI2.444565 CERAMIN – Tutorial sobre el ahorro de Energía

F	D	1	Refractarios	50.026	10,88	8	0,51	4
E	2	1	Refractarios	57.675	3,77	1	0,24	5
E	2	1	Refractarios	53.184	4,66	2		
PL	PL-4	PL-4	Refractarios	347.730	6,04	4		
F	D	1	Refractarios	45.543	11,39	9		
E	2	2	Refractarios	51.487	13,32	10		
UK	9	1	Refractarios	145.421	25,72	12		
UK	13	1	Azulejos	475.346	8,80	7	0,67	1
PL	PL-1	PL-1	Azulejos	505.728	5,13	3	0,28	2
F	C	1	Azulejos	212.677	8,33	5	0,13	3
F	B	1	Azulejos	300.240	5,12	2	-0,12	4
F	B	1	Azulejos	349.200	5,00	1		
PL	PL-1	PL-1	Azulejos	356.082	5,55	4		
F	C	1	Azulejos	196.815	8,73	6		
UK	13	1	Azulejos	491.282	9,46	8		
F	A	1	Sanitarios...	176.090	20,79	5	3,02	1
PL	PL-7	PL-7	Sanitarios...	118.560	10,68	1	1,03	2
D	13	1	Sanitarios...	81.472	10,76	2	0,65	3
D	13	1	Sanitarios...	82.198	12,07	3		
PL	PL-7	PL-7	Sanitarios...	138.484	14,69	4		
F	A	1	Sanitarios...	178.351	25,33	6		
UK	11	1	Mesa...	131.907	56,35	10	13,18	1
PL	PL-8	PL-8	Mesa...	259.203	44,57	5	4,96	2
F	E	1	Mesa...	125.536	52,39	6	3,90	3
PL	PL-2	PL-2	Mesa...	454.358	31,21	1	1,96	4
UK	12	1	Mesa...	241.809	33,13	2	1,01	5
PL	PL-2	PL-2	Mesa...	299.109	36,10	4		
UK	12	1	Mesa...	277.784	34,65	3		
PL	PL-8	PL-8	Mesa...	287.050	54,50	8		
F	E	1	Mesa...	122.729	56,30	9		
UK	1	1	Mesa...	169.593	76,12	12		
UK	16	1	Mesa..	24,48	85,3	14		

Cuadro 2: Top 5 de las empresas participantes en relación con el ahorro de energía por subsector (si se dispone de 5 participantes) y las mejores empresas participantes de consumo específico de energía (SEC) por subsector.



1 Comentarios generales

1.1 Sobre este Tutorial

Esta enseñanza se estructura según tipologías cerámicas. Muchas de las presentes recomendaciones pueden aplicarse a más de una tipología de producción o, al menos, son similares para diferentes tipologías; por tanto, podemos encontrarnos con recomendaciones repetidas.

Nota: Hay que tener en cuenta que únicamente algunos de los consejos se adaptarán a su sistema productivo o a sus necesidades respecto de los costes y beneficios.

1.2 Recomendaciones de aplicación global

Cuando una planta productiva, íntegramente o en parte, funciona al límite del diseño de su capacidad, tendrá un CES - consumo de energía específica (SEC - “specific energy consumption”) – menor que si trabajase por debajo de su capacidad de diseño.

Aunque el consumo de energía eléctrica durante la fabricación de la cerámica no se toma en cuenta, la cogeneración de calor y electricidad podría ser una buena decisión estratégica a considerar.



2 Ladrillos de mampostería

2.1 Las materias primas y la mezcla

Los aditivos usados con el fin de mejorar el aislamiento también deberían ser fuentes de energía.

La temperatura de combustión de estos aditivos ha de solapar un amplio rango de temperaturas. El grafito residual⁴⁷, coque de petróleo¹⁷ o carbón de arcilla¹⁹ pueden ayudar a conseguir energía sinterizada hasta 800 °C. Los aditivos de la sinterización, como las cenizas, vidrio residual, lana de vidrio o de minerales, o arcillas de baja sinterización, pueden ayudar a reducir la temperatura de sinterización o producir (secar y cocer) productos más ligeros que conservan las mismas propiedades mecánicas.^{47, 29, 35, 65}

El moldeado requiere plasticidad, especialmente para celosías modernas. Ha de usarse la cantidad de agua apropiada para lograr una plasticidad correcta. Una manera de ahorrar energía durante el proceso de secado es usar arcillas mejoradas que se moldean con facilidad o aditivos especiales que ayudan a conseguir una plasticidad correcta.^{47,48,21,37}

2.2 El moldeado

Es posible ahorrar energía mediante métodos de prensado tieso. No obstante, no es apto para todas las composiciones, ya que a veces la energía ahorrada se consume como energía eléctrica en la prensa extrusora y en el acabado.^{48, 1}

Debe intentar usarse la temperatura de moldeado (extrusión) cuando se inicia el secado.^{36, 5, 6, 26}

2.3 El secado

En la industria cerámica, el secado se refiere a la pérdida de agua por evaporación o volatilización. Es bien sabido que el agua se caracteriza por una capacidad termal específica elevada (4.2 kJ/kg K) y una temperatura muy elevada de evaporación (2.500 kJ/kg). Estas propiedades materiales, inevitablemente comportan un elevado consumo energético. La única posibilidad en este caso es llegar, tan lejos como sea posible, al límite del consumo teórico.

La siguiente Figura 1 muestra: En la actualidad, hasta 50% de la energía térmica de la producción de cerámica se usa en el proceso de secado⁴⁹ pero en el Reino Unido, donde aún se usan mucho los métodos de prensado tieso, la energía térmica que se usa para el secado es del 30% .⁹

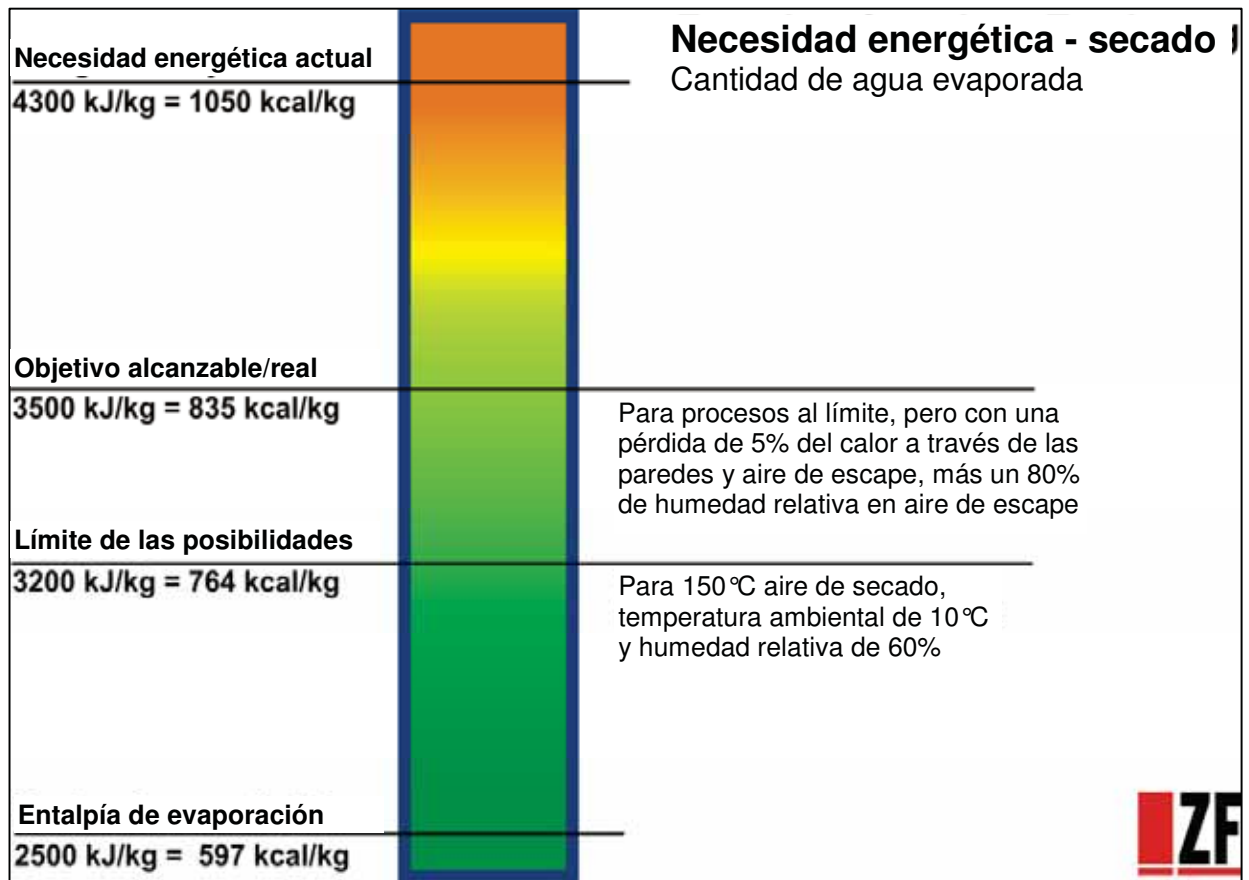


Figura 1: Secado con tecnología puntera

Una manera común de reducir el consumo de energía durante el secado en empresas más antiguas es acoplar el secador y el horno.⁷

El acoplamiento del secador y el horno se considera tecnológicamente puntero, no obstante también es importante modificar la práctica. Por ejemplo, debe controlarse cuidadosamente los descansos del moldeo y secado en fin de semana.⁴³

Otro método para lograr la modernización es controlar el sistema de ventilación/quemador y la atmósfera de secado.⁶

El uso de pequeñas cantidades de aire a temperatura elevada disminuye la pérdida de aire debido a los gases de escape.^{36, 45, 49}

El aire debe fluir a través de las celosías.⁴⁷

El siguiente cuadro muestra los costes de energía más bajos (calor y electricidad) que se pueden alcanzar en un ideal de calor energético y circulación de aire seco.

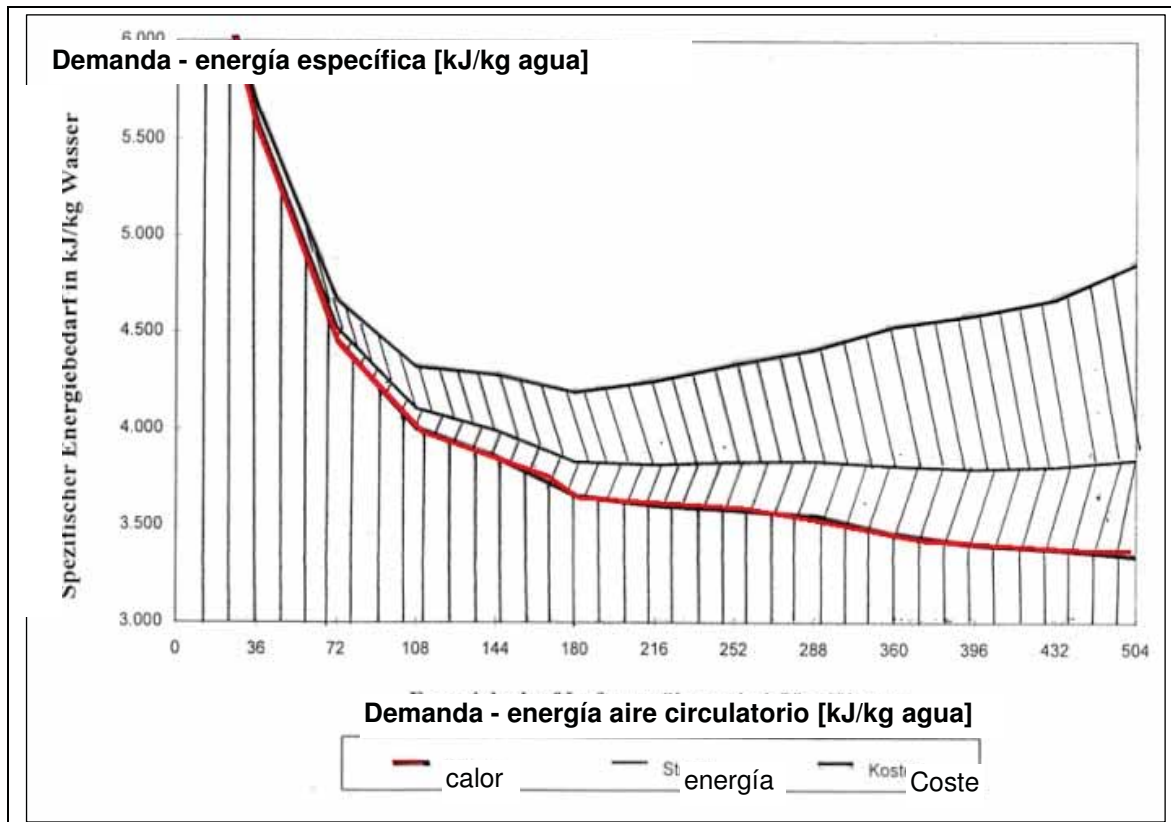


Figura 2: Demanda de energía específica versus demanda de energía de aire circulatorio en secadores

Los soportes y la densidad de los mismos debería ser tal que asegure que el aire de secado llegue a gran parte de las superficies.⁵

Los periodos más cortos de secado suponen un ahorro de energía.^{5, 6, 41, 44}

Para lograr la humedad requerida para el secado, evitar añadir humedad y, en caso necesario, incrementar la densidad del soporte.⁹

La reorientación de los flujos de aire pueden mejorar la consistencia y reducir el tiempo de secado; patrones intermitentes de flujos de aire pueden reducir el tiempo de secado y mejorar el rendimiento.⁹

Utilizar software para simular el proceso de secado. Una buena manera de optimizar el secado es mediante enlaces a datos de control proporcionados por empresas especializadas.³⁶

En el caso de un sistema de secador y horno acoplados, la provisión energética del horno - y no le demanda del horno - determina el nivel energético del secador. De otra manera, un uso energético deficiente en el secador resulta en un consumo energético más elevado durante la cocción.^{36, 42}

El sistema que une el aire caliente del horno con el secador debe contar con un buen aislamiento.⁴⁷



Gran parte de los equipamientos y las tecnologías de secado modernos pueden ahorrar hasta un 90% en el tiempo de secado en comparación con el secado convencional.⁴⁹

Los sistemas de secado alternativos como el 'secado sin aire' usan una atmósfera basada en el vapor y afirman haber reducido los tiempos de secado hasta un 80%.⁶³

Los sistemas de quemadores alternativos de IR están disponibles utilizando mallas, y pueden ser operados con una variedad de gases diferentes, son fáciles de controlar y muy eficientes en términos energéticos. Estos pueden integrarse en cabinas de secado existentes.⁶⁴

2.4 La cocción

El consumo energético específico para sinterizar productos cerámicos depende de la temperatura de cocción requerida. La composición de la masa, los procesos de la formación del material y las propiedades que se pretenda que obtenga determinan la temperatura. La siguiente Figura 3 muestra un incremento exponencial de la energía específica demandada según aumenta la temperatura

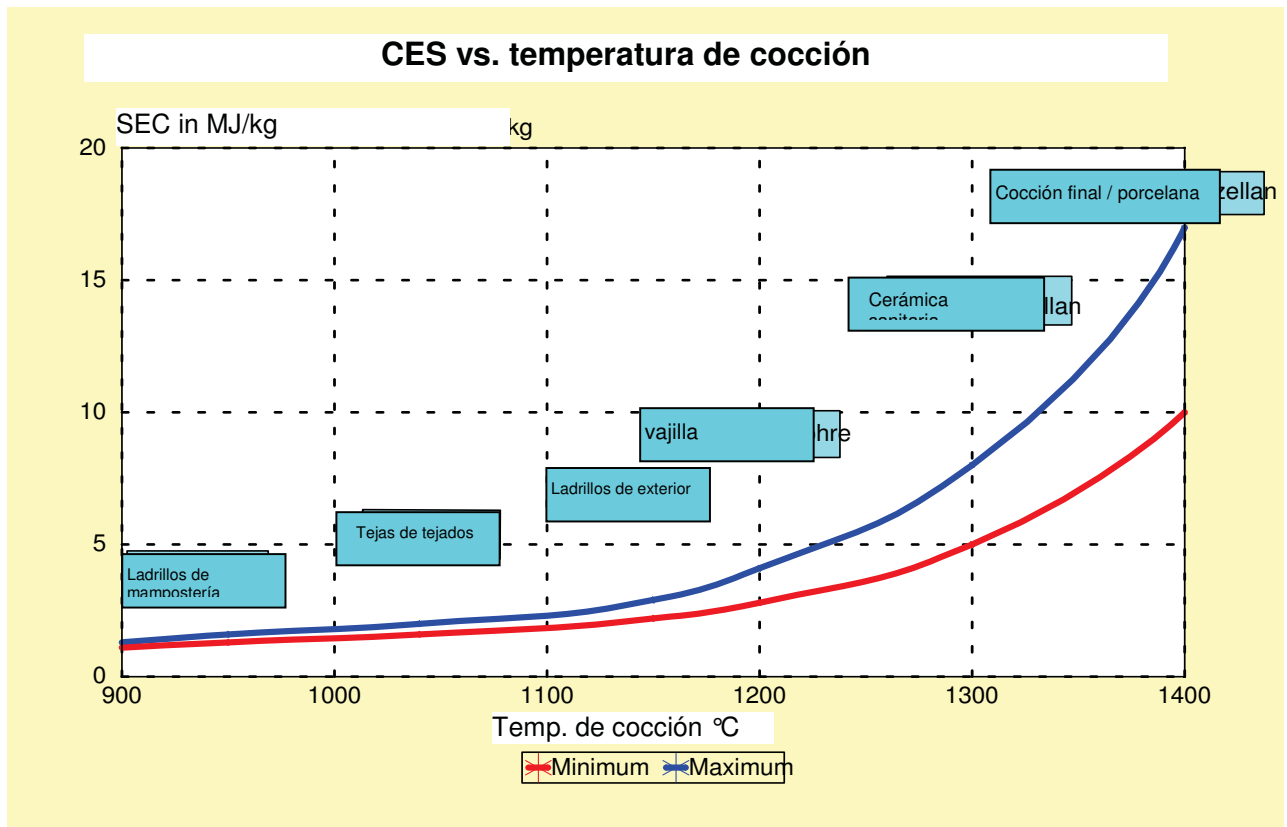


Figura 3: El consumo energético de productos cerámicos diferentes según las diferencias en las temperaturas de cocción.⁴⁸

La siguiente Figura 4 muestra el equilibrio de un horno túnel para ladrillos de mampostería. Los valores de mayor pérdida energética corresponden a las corrientes diferentes de aire de escape parcialmente usadas durante el secado

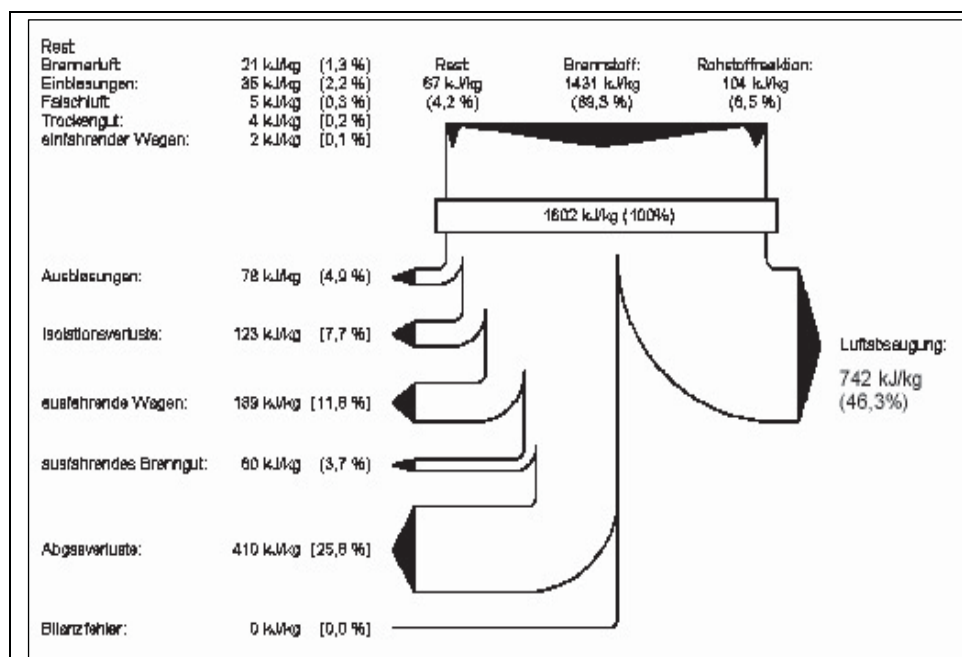


Figura 4: El equilibrio de un horno túnel para ladrillos de mampostería (Figura Sankey)⁴⁷

2.4.1 Diseño del horno y la vagoneta de horno túnel

Existen dos opciones principales por las cuales el diseño de hornos y la vagoneta del horno túnel influyen sobre la pérdida de energía:

🌀 Las fugas del aire de alrededor hacia el horno

”No obstante, una de las mejores opciones para ahorrar energía sigue siendo la eliminación de las fugas,” Don Denison, Denison Inc.²¹

🌀 El peso de los materiales dentro del horno y de la vagoneta que requieren calentarse

“En principio, las pestañas de las ruedas de la vagoneta del horno deberían situarse en su exterior”.²

“Los pisos del horno deben estar hechos de materiales aislantes ligeros y de alta calidad con un contenido mínimo de chamota pesada. Es recomendable que las capas desde el piso inferior hasta el superior estén adaptadas para aguantar las tensiones de las respectivas diferentes temperaturas”.^{2, 3, 20}

Puede verse una foto para el cálculo del espesor ideal de los pisos de la vagoneta en ².

Las juntas de arena deben estar diseñadas para evitar fugas a lo largo del tiempo. Se ofrecen recomendaciones en ^{2, 33}



Intentar evitar paredes laterales de horno auto-portantes. Estas paredes tienden a doblarse hacia el canal de cocción debido a las diferencias de temperatura en la sección transversal. Es de suma importancia considerar el diseño cuidadosamente y que la pared sea sostenida por el techo del horno.²

Los techos de hornos que han sido especialmente diseñados para ello evitan las fugas debidas a la expansión del calor y hacen que el enfriamiento del techo sea redundante.²

2.4.2 La tecnología en la combustión y la cocción

En la zona principal de cocción es recomendable una presión de 10-15 Pa.

Para algunos fabricantes de ladrillos aún es posible ahorrar energía mediante la sustitución de los combustibles sólidos, como carbón, por GLP o aceite, aumentando la eficiencia energética.⁵¹

El uso de las energías renovables, como el biogás generado por las empresas mismas con sus propios reactores, pueden facilitar un ahorro en los costes y en las emisiones de CO₂¹¹; no obstante, el biogás no puede suplir la necesidad de energía de un fabricante de ladrillos en su totalidad.⁴⁷

Es recomendable aumentar el control durante la cocción con los sistemas de quemadores nuevos y su control por zonas múltiples.^{33,51,34}

Los quemadores de impulso son más eficientes que los convencionales.

Los quemadores de alta velocidad (la velocidad de los gases calentados > 100 m/s) son recomendables para la zona de precalentamiento hasta los 700 °C. Es más probable que ocurra el calentamiento por convección a esta temperatura baja. Los hornos pueden renovarse con estos quemadores más modernos para ahorrar energía.

Algunas de las técnicas ya descritas para el secado también son importantes en la cocción: permiten la mejor transición posible de calor de los gases calientes a la carga.^{33,34}

El aire de combustión debe precalentarse; a temperaturas más elevadas de cocción; el precalentamiento ahorra energía y debe hacerse usando el aire de escape del horno.⁴⁰

Usar cargas de trabajo precalentadas desde el secador, por ejemplo, ordenando las paletas para el secado y la cocción, o directamente colocando la carga sobre las vagonetas del horno para su secado.^{1,23}

Un desarrollo de última generación que se ha usado en la industria de la fabricación de ladrillos son los recubrimientos de emisividad en algunas secciones del horno para reflejar el calor a la zona requerida, reduciendo así el lapso de temperatura entre las piezas y el aire de alrededor. En teoría, esto ha supuesto una reducción en los costes de hasta 10%.⁵¹



Reducir las pérdidas del aire residual recirculándolo para calentar la longitud total del horno.³³

Los gases calientes deben pasar por los agujeros de los ladrillos para aumentar el área entre la carga y los gases calientes, llamado 'cocción por perfusión'.⁴⁷

Recuperar el calor de los gases de escape y los humos resultantes de la combustión.^{18,47}



3 El pavimento y los ladrillos de exterior

3.1 Las materias primas y la mezcla

Los aditivos de la sinterización, como las cenizas, el vidrio residual, la lana de vidrio o de minerales, o las arcillas de baja sinterización pueden ayudar a reducir la temperatura de sinterización o producir (secar y cocer) productos más ligeros que conservan las mismas propiedades mecánicas.^{47, 29, 35, 65}

El moldeado requiere plasticidad: Ha de usarse la cantidad de agua apropiada para lograr una plasticidad correcta. Una manera para ahorrar energía durante el proceso de secado es usar arcillas mejoradas que se moldean con facilidad o aditivos especiales que ayudan a conseguir una plasticidad correcta.^{47,48,21,37}

El uso de aditivos especiales para crear efectos en la superficie puede dar la apariencia de ladrillos oscurecidos. Esto puede suponer un ahorro de los gases del proceso de oscurecimiento.²¹

3.2 El moldeado

Es posible ahorrar energía mediante métodos de prensado tieso. No obstante, no es apto para todas las composiciones, ya que a veces la energía ahorrada se consume en la prensa extrusora y en el acabado como energía eléctrica.^{48,1}

Aprovechar la temperatura usada durante el moldeado cuando usando el secador.^{36,1,5,6,26}

Al ahorrar en la masa de la superficie que ha de soterrarse, unos diseños sofisticados pueden reducir el peso, por ejemplo, en ladrillos para pavimento. También es posible ahorrar mediante el diseño de los ladrillos de exterior. Una celosía sencilla permite el ahorro de energía mediante la perfusión durante el secado o la cocción.

El moldeado mediante secado en el secador ahorra energía, pero consume más energía durante el moldeado y puede afectar la calidad del producto. No obstante, existe un punto óptimo.²¹

3.3 El secado

El secado en la industria cerámica generalmente se refiere a la pérdida de agua por evaporación o volatilización. Es bien sabido que el agua se caracteriza por una capacidad termal específica elevada (4.2 kJ/kg K) y una temperatura muy elevada de evaporación (2.500 kJ/kg). Estas propiedades materiales inevitablemente comportan un elevado consumo energético. La única posible es llegar al límite del consumo teórico posible.

La Figura 1 muestra: En la actualidad, hasta 50% de la energía térmica de la producción de cerámica se usa en el proceso de secado.⁴⁹



En el Reino Unido, donde aún se usan mucho los métodos de prensado tieso, se consume un 30% de energía térmica.⁹

Una manera común de reducir el consumo de energía durante el secado en empresas más antiguas es acoplado el secador y el horno.⁷

El acoplamiento del secador y el horno se considera tecnológicamente puntero, pero también es importante modificar la práctica. Por ejemplo, deben controlarse cuidadosamente los descansos del moldeo y el secado durante el fin de semana.⁴³

Otro método para lograr la modernización es controlar el sistema de ventilación/quemador y la atmósfera de secado.⁶

El uso de pequeñas cantidades de aire a una temperatura elevada disminuye la pérdida de aire debido a los gases de escape.^{36, 45, 49}

El aire debe fluir a través de las celosías.⁴⁷

La Figura 2 muestra los costes de energía más bajos (calor y electricidad) alcanzables en un ideal de calor energético y circulación de aire seco.

Los soportes y la densidad de los mismos debería ser tal que aseguren que el aire de secado llega a gran parte de las superficies.⁵

Periodos más cortos de secado suponen un ahorro de energía.^{5, 6, 41, 44}

Para lograr la humedad requerida para el secado, evitar añadir humedad y, en caso necesario, incrementar la densidad del soporte.⁹

La reorientación de los flujos de aire pueden mejorar la consistencia y reducir el tiempo de secado. Unos patrones intermitentes de flujos de aire pueden reducir el tiempo de secado y mejorar el rendimiento.⁹

Software para estimular el proceso de secado. Una buena manera de optimizar el secado es mediante enlaces a datos de control proporcionados por empresas especializadas.³⁶

En el caso de un sistema de secador y horno acoplados, la provisión energética del horno - y no le demanda del horno - es lo que determina el nivel energético del secador. De otra manera, un uso energético deficiente en el secador resulta en un consumo energético más elevado durante la cocción.^{36, 42}

El sistema que une el aire caliente del horno con el secador debe contar con un buen aislamiento.⁴⁷

Gran parte de los equipamientos y las tecnologías de secado modernos pueden ahorrar hasta un 90% en el tiempo de secado en comparación con el secado convencional.⁴⁹

Unos sistemas de secado alternativos como el ‘secado sin aire’ usan una atmósfera basada en el vapor y afirman haber reducido los tiempos de secado hasta un 80%.⁶³

Sistemas de quemadores alternativos de IR utilizando mallas están disponibles, y pueden ser operados con una variedad de gases diferentes, son fáciles de controlar y muy eficientes en términos energéticos. Estos pueden integrarse a cabinas de secado existentes.⁶⁴

Sistemas de soporte modernos, como el que se muestra en la Figura 5, también pueden ahorrar energía.⁴⁹



Figura 5: MobilSystem de Rotho- soporte para ladrillos de exterior o de pavimento.⁴⁹

3.4 La cocción

El consumo energético específico para sinterizar productos cerámicos depende de la temperatura de cocción requerida. La temperatura se determina según la composición de la masa, los procesos de la formación del material y las propiedades que se pretende obtener. La Figura 3 muestra la relación entre el incremento exponencial del consumo energético y el aumento en la temperatura.

La Figura 4 muestra el equilibrio de un horno túnel para ladrillos de mampostería. Los valores de mayor pérdida energética corresponden a las corrientes diferentes de aire de escape parcialmente usadas durante el secado.

3.4.1 El diseño del horno y la vagoneta de horno túnel

Existen dos formas principales en las cuales el diseño del horno y la vagoneta del horno túnel influyen sobre la pérdida de energía:

a) Fugas del aire de alrededor hacia el horno

"No obstante, una de las mejores opciones para ahorrar energía sigue siendo la eliminación de las fugas," Don Denison, Denison Inc.²¹

b) El peso de los materiales dentro del horno y de la vagoneta que requieren calentarse

"Las pestañas de las ruedas de la vagoneta del horno deberían situarse en su exterior".²

"Los pisos del horno deben estar hechos de materiales aislantes ligeros y de alta calidad con un contenido mínimo de chamota pesada. Es recomendable que las capas desde el piso inferior hasta el superior estén adaptadas para aguantar las tensiones de las respectivas diferentes temperaturas".^{2, 3, 20}

Puede verse una foto para el cálculo del espesor ideal de los pisos de la vagoneta en ².

Las juntas de arena deben estar diseñadas para evitar fugas a lo largo del tiempo. Se ofrecen recomendaciones en ^{2, 33}.

Intentar evitar paredes laterales de horno auto-portantes. Estas paredes tienden a doblarse hacia el canal de cocción debido a las diferencias de temperatura en la sección transversal. Es de suma importancia considerar el diseño cuidadosamente y que la pared sea sostenida por el techo del horno.²

Techos de hornos diseñados especialmente para ello evitan las fugas debidas a la expansión del calor y hacen que el enfriamiento del techo sea redundante.²



3.4.2 La tecnología en la combustión y la cocción

En la zona principal de cocción es recomendable una presión de 10-15 Pa.

Para algunos fabricantes de ladrillos aún es posible ahorrar energía mediante la sustitución de combustibles sólidos, como carbón, por GLP o aceite, que aumentan la eficiencia energética.⁵¹

El uso de las energías renovables, como el biogás generado por las empresas con sus propios reactores, puede ahorrar en los costes y en las emisiones de CO₂¹¹. No obstante, el biogás no puede suplir la necesidad total de energía de un fabricante de ladrillos.⁴⁷

El aumento del control durante la cocción con los sistemas de quemadores nuevos y su control por zonas múltiples.^{33,51,34}

Los quemadores de impulso son más eficientes que los convencionales. Los quemadores de alta velocidad (la velocidad de los gases calentados > 100 m/s) son recomendables para la zona de precalentamiento hasta los 700 °C. Es más probable que ocurra el calentamiento por convección a esta temperatura baja. Los hornos pueden renovarse con estos quemadores más modernos para ahorrar energía.

Algunas técnicas ya descritas para el secado también son importantes en la cocción.

Permitir la mejor transición posible de calor de los gases calientes a la carga.^{33,34}

El aire de combustión debe precalentarse; a temperaturas más elevadas de cocción, el precalentamiento ahorra energía. El precalentamiento debe hacerse usando el aire de escape del horno.⁴⁰

Usar cargas de trabajo precalentadas desde el secador, por ejemplo, ordenando las paletas para el secado y la cocción, o directamente colocando la carga sobre las vagonetas del horno para su secado.^{1,23}

Un desarrollo de última generación, que se ha usado por algunas industrias en la fabricación de ladrillos ha sido : los recubrimientos de emisividad en algunas secciones del horno, para reflejar el calor a la zona requerida, reduciendo así el lapso de temperatura entre las piezas y el aire de alrededor. En teoría, esto ha supuesto una reducción en los costes de hasta 10%.⁵¹

Reducir las pérdidas del aire residual recirculándolo para calentar la longitud total del horno.³³

La cocción por perfusión.⁴⁷

Recuperar el calor de los gases de escape y los humos resultantes de la combustión.^{18,47}



Un horno túnel trabajará con un único producto, y será optimizado para dicho producto. Realmente no puede haber una optimización cuando se colocan diferentes productos en un mismo horno. Debe considerarse el uso intermitente de hornos de menor tamaño para productos especiales, así como establecer una cooperación con otras plantas o reducir el número de tipos de productos diferentes.⁹



4 Las tejas para tejados y baldosas extruidas

4.1 Las materias primas y la mezcla

Los aditivos de la sinterización, como las cenizas, el vidrio residual, la lana de vidrio o de minerales, o las arcillas de baja sinterización pueden ayudar a reducir la temperatura de sinterización o producir (secar y cocer) productos más ligeros que conservan las mismas propiedades mecánicas.^{47,29,35,65}

El moldeado requiere plasticidad. Ha de usarse la cantidad de agua apropiada para lograr una plasticidad correcta. Una manera para ahorrar energía durante el proceso de secado es usar arcillas mejoradas que se moldean con facilidad o aditivos especiales que ayudan a conseguir una plasticidad correcta.^{47,48,21,37}

4.2 El moldeado

Es posible ahorrar energía mediante métodos de prensado tieso. No es apto para todas las composiciones, ya que a veces la energía ahorrada se consume en la prensa extrusora y en el acabado como energía eléctrica – únicamente con baldosas extruidas.^{48,1}

Intentar usar la temperatura de moldeado cuando se inicia el secado.^{36,1,5,6}

Unos diseños sofisticados pueden reducir el peso y así ahorrar energía durante el secado o la cocción.

El moldeado mediante secado en el secador ahorra energía, pero consume más energía durante el moldeado y puede afectar la calidad del producto. No obstante, existe un punto óptimo.²¹

4.3 El secado

El secado en la industria cerámica generalmente se refiere a la pérdida de agua por evaporación o volatilización. Es bien sabido que el agua se caracteriza por una capacidad termal específica elevada (4.2 kJ/kg K) y una temperatura muy elevada de evaporación (2.500 kJ/kg). Estas propiedades materiales inevitablemente comportan un elevado consumo energético. La única posibilidad es llegar al límite del consumo teórico en nuestro enfoque.

La Figura 1 muestra: En la actualidad, hasta 50% de la energía térmica de la producción de cerámica se usa en el proceso de secado⁴⁹. En el Reino Unido, donde aún se usan mucho los métodos de prensado tieso, se consume un 30% de energía térmica.⁹

Una manera común de reducir el consumo de energía durante el secado en empresas más antiguas es acoplando el secador y el horno.⁷



El acoplamiento del secador y el horno se considera tecnológicamente puntero, pero es conveniente modificar la aplicación de dicha práctica. Por ejemplo, deben controlarse cuidadosamente los descansos del moldeo y el secado en fin de semana.⁴³

Otro método para lograr la modernización es controlar el sistema de ventilación/quemador y la atmósfera de secado.⁶

El uso de pequeñas cantidades de aire a temperatura elevada disminuye la pérdida de aire debido a los gases de escape.^{36, 45, 49}

Un flujo de impacto (Fig. 8) de aire de secado es más eficiente que un flujo laminar, y así es posible modernizar los secadores.⁴

La Figura 2 muestra los costes de energía más bajos (calor y electricidad) alcanzables en un ideal de calor energético y circulación de aire seco.

Los soportes y la densidad de los mismos debería ser tal que aseguren que el aire de secado llega a gran parte de las superficies.⁵

Unos periodos más cortos de secado ahorran energía.^{5, 6, 41, 44}

Para lograr la humedad requerida para el secado, evitar añadir humedad y, en caso necesario, incrementar la densidad del soporte.⁹

La reorientación de los flujos de aire puede mejorar la consistencia y reducir el tiempo de secado. Unos patrones intermitentes de flujos de aire pueden reducir el tiempo de secado y mejorar el rendimiento.⁹

Utilizar software para simular el proceso de secado. Una buena manera de optimizar el secado es mediante enlaces a datos de control proporcionados por empresas especializadas.³⁶

En el caso de un sistema de secador y horno acoplados, la provisión energética del horno - y no la demanda del horno - es lo que determina el nivel energético del secador. De otra manera, un uso energético deficiente en el secador resulta en un consumo energético más elevado durante la cocción.^{36, 42}

El sistema que une el aire caliente del horno con el secador debe contar con un buen aislamiento.⁴⁷

Gran parte de los equipamientos y las tecnologías de secado modernos pueden ahorrar hasta un 90% en el tiempo de secado en comparación con el secado convencional.⁴⁹

Los sistemas de secado alternativos como el 'secado sin aire' usan una atmósfera basada en el vapor y afirman haber reducido los tiempos de secado hasta un 80%.⁶³

Los sistemas de quemadores alternativos de IR están disponibles utilizando mallas, y pueden ser operados con una variedad de gases diferentes, son fáciles de controlar y

muy eficientes en términos energéticos. Estos pueden integrarse en cabinas de secado existentes.⁶⁴



Figura 6: MobilSystem de Rotho- soporte para el secado de tejas⁴⁹



Figura 7: MobilSystem de Rotho- sistema de soportes para el secado de tejas⁴⁹

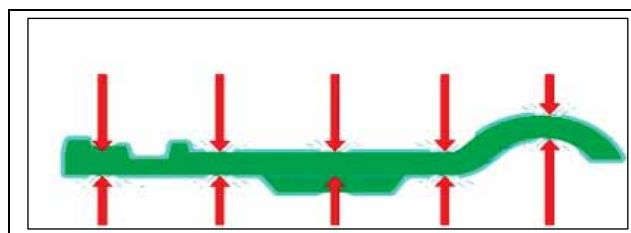


Figura 8: El flujo de impacto, un tipo de secado óptimo para tejas

4.4 La cocción

El consumo energético específico para sinterizar productos cerámicos depende de la temperatura de cocción requerida. La temperatura se determina según la composición



de la masa, los procesos de la formación del material y las propiedades que se pretende obtener. La Figura 3 muestra la relación entre el incremento exponencial del consumo energético y el aumento en la temperatura.

La Figura 4 muestra el equilibrio de un horno túnel para ladrillos de mampostería. Estas pérdidas serán similares en el caso de las tejas para techos. Los valores de mayor pérdida energética corresponden a las corrientes diferentes de aire de escape parcialmente usadas durante el secado. Debido a la temperatura de cocción más elevada y el mobiliario usado en el horno, el CES de un horno para tejas es, como media, 2,5 veces más elevada que la usada respecto de ladrillos de mampostería.⁴⁷

4.4.1 El diseño del horno y la vagoneta de horno túnel

Existen dos opciones principales por las cuales el diseño del horno y la vagoneta del horno túnel influyen sobre la pérdida de energía:

a) Fugas del aire de alrededor hacia el horno

”No obstante, una de las mejores opciones para ahorrar energía es la eliminación de las fugas,” Don Denison, Denison Inc.²¹

b) El peso de los materiales dentro del horno y de la vagoneta que requieren calentarse

“Las pestañas de las ruedas de la vagoneta del horno deberían situarse en su exterior”.²

“Los pisos del horno deben estar hechos de materiales aislantes ligeros y de alta calidad con un contenido mínimo de chamota pesada. Es recomendable que las capas desde el piso inferior hasta el superior estén adaptadas para aguantar las tensiones de las respectivas diferentes temperaturas”.^{2, 3, 20}

Puede verse una foto para el cálculo del espesor ideal de los pisos de la vagoneta en².

Las juntas de arena deben estar diseñadas para evitar fugas a lo largo del tiempo. Se ofrecen recomendaciones en^{2, 33}.

Intentar evitar paredes laterales de horno auto-portantes. Estas paredes tienden a doblarse hacia el canal de cocción debido a las diferencias de temperatura en la sección transversal. Es de suma importancia considerar el diseño cuidadosamente y que la pared sea sostenida por el techo del horno.²

Los techos de hornos que han sido especialmente diseñados para ello evitan las fugas debidas a la expansión del calor y hacen que el enfriamiento del techo sea redundante.



La referencia bibliográfica ¹⁴ describe un tipo de horno de rodillo específicamente diseñado para tejas, con soportes extra ligeros, un tiempo de cocción reducido a 120 minutos y un CES muy bajo.

4.4.2 La tecnología en la combustión y la cocción

En la zona principal de cocción se recomienda una presión de 10-15 Pa.

El uso de las energías renovables, como el biogás generado por las empresas con sus propios reactores, pueden facilitar un ahorro en los costes y en las emisiones de CO₂¹¹; no obstante, el biogás no puede suplir la necesidad de energía total de un fabricante de ladrillos.⁴⁷

Es recomendable aumentar el control durante la cocción con los sistemas de quemadores nuevos y su control por zonas múltiples.^{33,51,34}

Los quemadores de impulso son más eficientes que los convencionales.

Los quemadores de alta velocidad (la velocidad de los gases calentados > 100 m/s) son recomendables para la zona de precalentamiento hasta los 700°C. Es más probable que ocurra el calentamiento por convección a esta temperatura baja. Los hornos pueden renovarse con estos quemadores más modernos para ahorrar energía.

Algunas de las técnicas ya descritas para el secado también son importantes en la cocción: permiten la mejor transición posible de calor de los gases calientes a la carga.^{33,34}

El aire de combustión debe precalentarse; a temperaturas más elevadas de cocción, el precalentamiento ahorra energía. El precalentamiento debe hacerse usando el aire de escape del horno.⁴⁰

Usar cargas de trabajo precalentadas desde el secador, por ejemplo, ordenando las paletas para el secado y la cocción, o directamente colocando la carga sobre las vagonetas del horno para su secado.^{1,23}

Un desarrollo de última generación que algunos en la industria de la fabricación de ladrillos han usado es los recubrimientos de emisividad en algunas secciones del horno para reflejar el calor a la zona requerida, así reduciendo el lapso de temperatura entre las piezas y el aire de alrededor. En teoría, esto ha supuesto una reducción en los costes de hasta 10%.⁵¹

Reducir las pérdidas del aire residual recirculándolo para calentar la longitud total del horno.³³
fine envoye toi banne

La cocción por perfusión.⁴⁷

Recuperar el calor de los gases de escape y los humos resultantes de la combustión.^{18,47}



Un horno túnel deberá usarse únicamente para un producto, y ser optimizado para dicho producto. No puede haber, realmente, una optimización alguna si se mezclan productos distintos en un mismo horno. Considerar el uso intermitente de hornos de menor tamaño para productos especiales, de establecer una cooperación con otras plantas, o de reducir el número de tipos de productos diferentes.⁹

El mobiliario usado en el horno es uno de los grandes consumidores de energía durante la cocción de las tejas. Muchos de los modernos soportes en H tienen una densidad de aproximadamente 1,6 g/cm y un diseño que ahorra peso.^{15,24}

Los mejores soportes para tejas son los sin soporte, por ejemplo^{22,39}

El uso intermitente de los hornos, por ejemplo, para accesorios, puede hacerse de manera mucho más eficiente en términos energéticos si se usan sistemas para la recuperación del calor juntamente con el precalentamiento del aire de combustión o con secadores acoplados.

5 Las vajillas

5.1 Las materias primas y la mezcla

La composición de la masa usada en la vajilla tiene un efecto importante sobre el CES de los productos. Existe una amplia variedad de vajilla, desde el gres cerámico, la losa, la porcelana China de hueso, los productos vítreos, la porcelana de gran dureza, y muchas más. Todas tienen requisitos parecidos (su diferencia más pronunciada: la resistencia al lavado en lavavajilla, una cuestión importante respecto de su uso, bien sea en el ámbito doméstico o en el de la hostelería).³² La porcelana dura es el tipo de vajilla con mayor CES (Fig. 3).

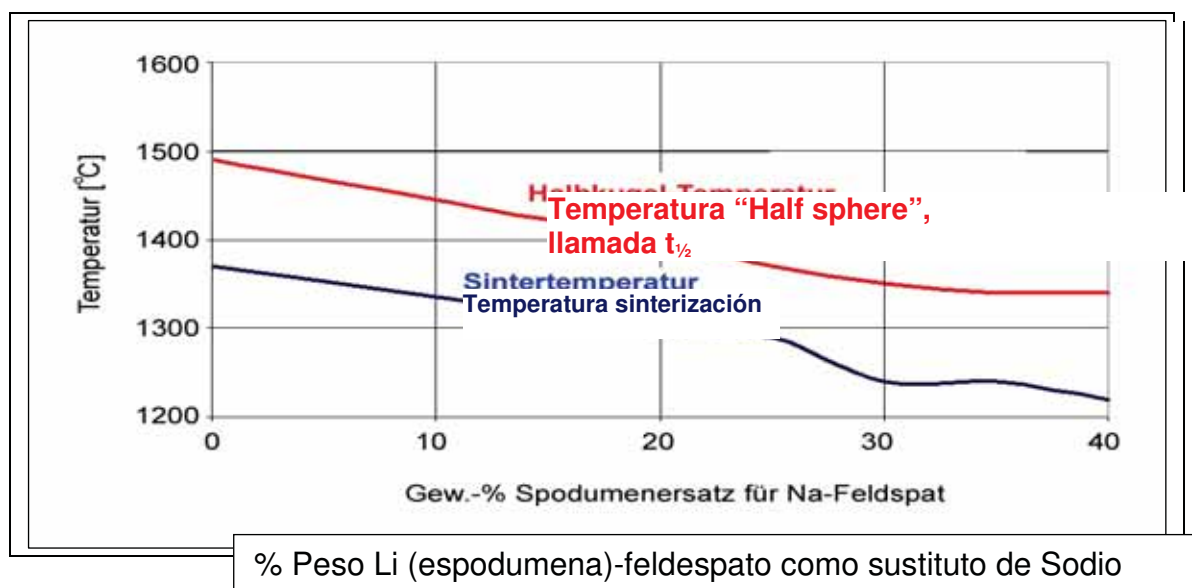


Figura 9: Efecto de Li-Feldspato como aditivo en la sinterización. Thierry SiliCer 2003

Las materias primas nuevas, como feldespatos que contienen Litio (Fig. 9)⁵³ o Colemanita²⁸, una mezcla de feldespatos de Potasio (K) y Sodio (Na) o recetas de baja sinterización (porcelana blanda) pueden ayudar a reducir la temperatura de la sinterización hasta 200 °C y ahorrar bastante energía (Fig. 10).⁴⁸

La mono cocción (y no la cocción del bizcocho previamente a la aplicación del barniz o el esmalte) ahorra energía, pero requiere unas masas y esmaltes específicamente diseñados para ello.

El moldeado requiere plasticidad: Ha de usarse la cantidad de agua apropiada para lograr una plasticidad correcta. Una manera para ahorrar energía durante el proceso de secado es usar arcillas mejoradas que se moldean con facilidad o aditivos especiales que ayudan a conseguir una plasticidad correcta.³⁷

5.2 El Moldeado / La Decoración



Mientras menos agua se utilice durante el moldeado, menos se tendrá que evaporar durante el secado.

- La prensa isostática es una técnica para la “prensa en seco”, por tanto ahorra agua y elimina la necesidad del secado. Es preferible usar esta técnica cuando está disponible para todos los productos posibles; hoy en día, hasta los cuencos se pueden moldear usándola.
- Gran parte de los métodos para el prensado isostático requieren de menos del 2% de humedad absorbida en base al peso.
- No hace falta ningún secado de los moldes de escayola cuando se emplean los métodos de prensado isostático.
- El prensado isostático requiere de la pulverización de gránulos secos, por lo que cuanto menos agua se use en la defloculación, menor energía se gasta en dicho proceso (ver el párrafo sobre el secado en la sección sobre “Tejas”).
- Utilizar pesos elevados de litros en las barbotinas de colaje, ya que esto conllevará menos gasto energético durante el secado de los moldes de escayola.

El diseño sofisticado puede evitar que partes de la vajilla requieran de mayor tiempo de secado o de cocción.

Cuantos más colores puedan permitirse en un mismo proceso de cocción, menos energía requerirá la cocción decorativa.

Desarrollar una disponibilidad de productos o decorados que permitan un secado y una cocción de cargas de productos de mayor tamaño para así ahorrar energía.

Establecer procesos de control bien pensados para el moldeado y la decoración permite optimizar los procesos productivos, requiriendo así un menor consumo energético.

El uso de unas técnicas de moldeado innovadoras (flexi flat) que requieren de un menor número de moldes que no necesitan secado ahorran energía.⁶⁶

Deberán usarse en la línea de esmaltado unos quemadores más eficientes que pueden apagarse cuando no se necesitan.⁶⁴

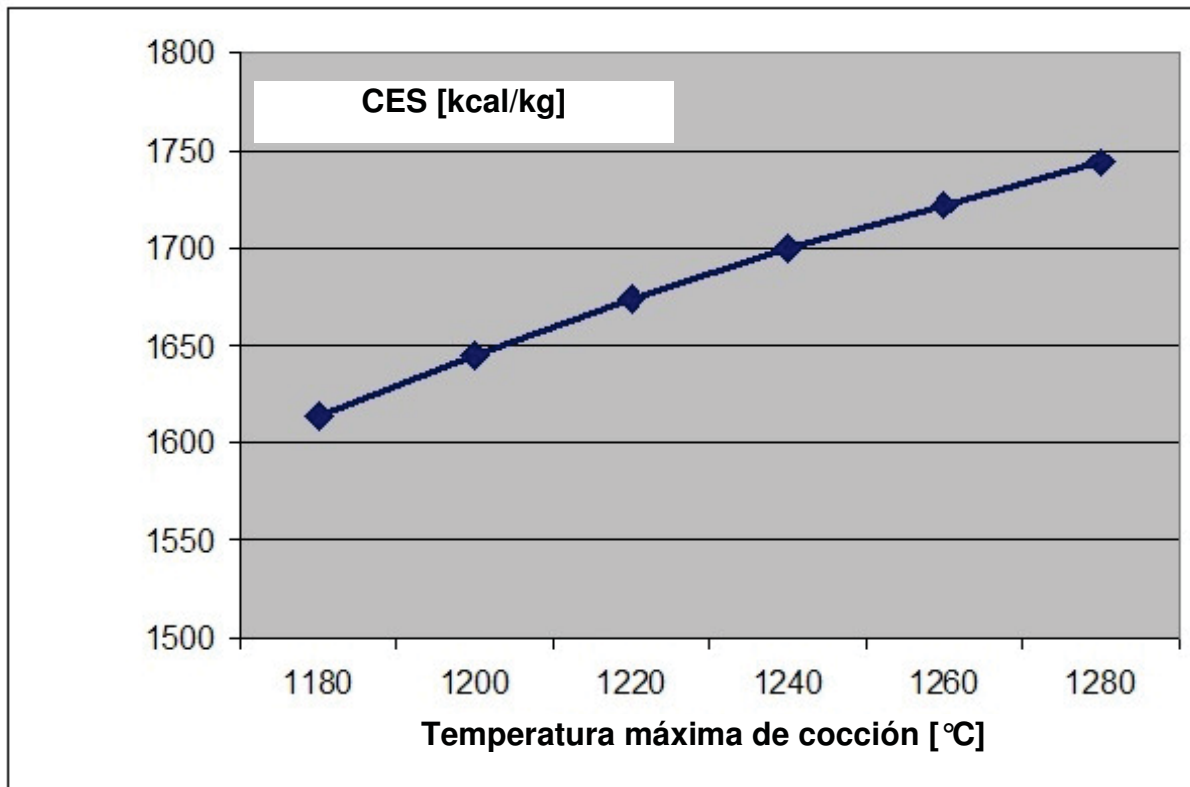


Figura 10: CES vs. Temperatura de cocción para cerámicas sanitarias. [Friedherz Becker, Riedhammer GmbH 2007]

5.3 El secado

El secado en la industria cerámica generalmente se refiere a la pérdida de agua por evaporación o volatilización. Es bien sabido que el agua se caracteriza por una capacidad termal específica elevada (4.2 kJ/kg K) y una temperatura muy elevada de evaporación (2.500 kJ/kg). Estas propiedades materiales inevitablemente comportan un elevado consumo energético.

Muchas plantas de producción de vajilla en Europa cuentan con el suficiente espacio y clima que permite el secado sin secador, por ejemplo, usando el aire ambiental. No obstante, no siempre es así en el Reino Unido, con la excepción de los productos de prensado isostático. Este es el proceso de secado con el mayor ahorro energético.

Con el fin de ahorrar energía, aumentar el uso de secadores de microondas para productos resultantes de procesos de colaje.

Después de la primera cocción se pueden detectar los caso de secado insuficiente , aumentando así el material de desecho y el CES,⁵⁸ por lo que deberán emplearse medidas de control de calidad para identificar dichos problemas.

El uso de secado sin aire puede reducir el consumo energético hasta un 80%, y también mejorar la calidad.⁶⁸

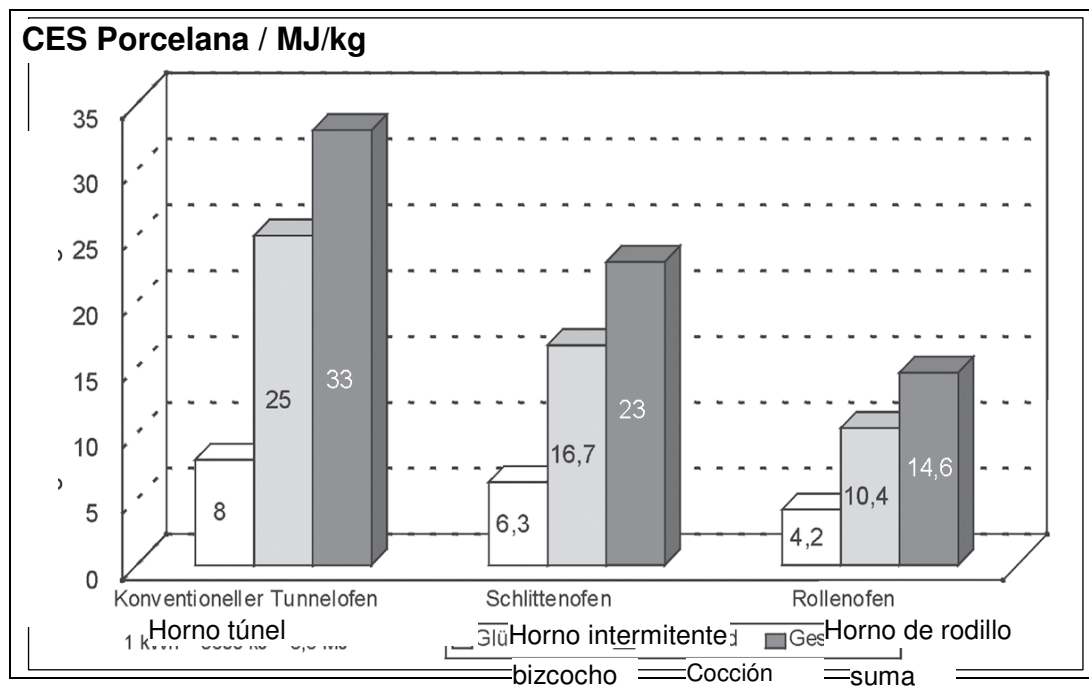


Figura 11: Comparación de hornos diferentes para los distintos pasos de la cocción en la producción de vajilla

5.4 La cocción

El consumo energético específico para sinterizar productos cerámicos depende de la temperatura de cocción requerida. La temperatura se determina según la composición de la masa, los procesos de la formación del material y las propiedades que se pretende obtener. La Figura 3 muestra la relación entre el incremento exponencial del consumo energético y el aumento en la temperatura.

5.4.1 El diseño del horno y la vagoneta de horno túnel

La Figura 11 muestra un CES para 3 tipos de hornos diferentes usados para la cocción de vajillas de porcelana dura. Obviamente, un horno de rodillo con un mínimo mobiliario de horno y proceso de cocción rápido usa la menor cantidad de energía, la mitad de la que consume un horno túnel.

Existen dos opciones principales en las cuales el diseño del horno y la vagoneta del horno túnel influyen sobre la pérdida de energía:

a) Fugas del aire de alrededor hacia el horno

"No obstante, una de las mejores opciones para ahorrar energía es la eliminación de las fugas," Don Denison, Denison Inc.²¹

b) El peso de los materiales dentro del horno y de la vagoneta que requieren calentarse



“Las pestañas de las ruedas de la vagoneta del horno deberían situarse en su exterior”.²

“Los pisos del horno deben estar hechos de materiales aislantes ligeros y de alta calidad con un contenido mínimo de chamota pesada. Es recomendable que las capas desde el piso inferior hasta el superior estén adaptadas para aguantar las tensiones de las respectivas diferentes temperaturas”.^{2, 3, 20}

Las juntas de arena deben estar diseñadas para evitar fugas a lo largo del tiempo. Se ofrecen recomendaciones en .^{2, 33}

Intentar evitar paredes laterales de horno auto-portantes. Estas paredes tienden a doblarse hacia el canal de cocción debido a las diferencias de temperatura en la sección transversal. Es de suma importancia considerar el diseño cuidadosamente y que la pared sea sostenida por el techo del horno.²

Los techos de hornos que han sido especialmente diseñados para ello evitan las fugas debidas a la expansión del calor y hacen que el enfriamiento del techo sea redundante.²

5.4.2 La tecnología en la combustión y la cocción

En la zona principal de cocción se recomienda una presión de 10-15 Pa.

En la monococción, la cocción del bizcocho previo a la aplicación de barniz o esmalte es innecesario, no obstante, requiere de unas masas y unos esmaltes específicamente diseñados para ello. La Figura 11 muestra el ahorro de energía.

El aumento del control durante la cocción con los sistemas de quemadores nuevos y su control por zonas múltiples.^{33,51,34}

Los quemadores de impulso son más eficientes que los convencionales.

Los quemadores de alta velocidad (la velocidad de los gases calentados > 100 m/s) son recomendables para la zona de precalentamiento hasta los 700°C. Es más probable que ocurra el calentamiento por convección a esta temperatura baja. Los hornos pueden renovarse con estos quemadores más modernos para ahorrar energía.

Algunas técnicas ya descritas para el secado también son importantes en la cocción: permiten la mejor transición posible de calor de los gases calientes a la carga.^{33,34}

El aire de combustión debe precalentarse; a temperaturas más elevadas de cocción, el precalentamiento ahorra energía. El precalentamiento debe hacerse usando el aire de escape del horno.⁴⁰

Reducir las pérdidas del aire residual recirculándolo para calentar la longitud total del horno.³³



Organizar la producción para fabricar un único producto durante un periodo de tiempo más largo. Intentar optimizar la curva de temperatura para ese producto. Cuando se colocan productos distintos en un mismo horno, es más difícil conseguir una optimización real. Considerar el uso intermitente de hornos de menor tamaño. Para cargas pequeños de trabajo, se puede establecer una cooperación con otras plantas o reducir el número de tipos de productos diferentes.⁹

Conseguir la recuperación del calor de los gases residuales.⁴⁷

El mobiliario usado en el horno es uno de los grandes consumidores de energía. Muchos de los modernos tipos de mobiliario de horno se hacen de SiC, con un diseño que ahorra peso.⁴⁸

Los mejores soportes para vajillas son los sin soportes, por ejemplo, en hornos de rodillo.

Cuanto menos material de desecho se genere, menor será el CES.

El uso intermitente de los hornos puede hacerse de manera mucho más eficiente si se usan sistemas para la recuperación del calor juntamente con el precalentamiento del aire de combustión o con secadores acoplados.^{8,27}

6 La cerámica sanitaria

6.1 Las materias primas y la mezcla

Las materias primas nuevas, como feldespatos que contienen Litio (Fig. 9)⁵³ o Colemanita²⁸, una mezcla de feldespatos de Potasio (K) y Sodio (Na) o vidrios residuales^{60,69} pueden ayudar a reducir la temperatura de la sinterización hasta 200 °C y ahorrar bastante energía (Fig. 10).

Unas masas optimizadas de arcillas tradicionales y chinas pueden disminuir la temperatura de cocción hasta 50 °C.⁵⁵

La optimización en la distribución del tamaño de los granos, especialmente en cuanto a feldespato y otros aditivos de la sinterización, puede disminuir la temperatura de sinterización al mejorar su reactividad.⁶² Existe un punto óptimo puesto que moler el feldespato, por ejemplo, también requiere de energía.

Optimizar las masas para hornos de cocción rápido con, por ejemplo, materias primas calcinadas.

El moldeado requiere plasticidad. Ha de usarse la cantidad de agua apropiada para lograr una plasticidad correcta. Una manera para ahorrar energía durante el proceso de secado es usar arcillas mejoradas que se moldean con facilidad o aditivos especiales que ayudan a conseguir una plasticidad correcta.³⁷

6.2 El moldeado

Cuanta menos agua se utilice durante el moldeado, menos se tendrá que evaporar durante el secado.

Las técnicas de colaje mediante presión evitan el secado de los moldes de escayola y disminuyen la cantidad de agua en hasta 2% de humedad absorbida en base al peso, pero requieren de barbotinas templadas y energía eléctrica.

Utilizar pesos elevados de litros en las barbotinas de colaje, ya que esto conllevará menor gasto energético durante el secado de los moldes de escayola.

El diseño sofisticado puede evitar que partes del producto requieran de mayor tiempo de secado o de cocción.

Una planificación mejorada de la producción permite el secado y la cocción de cargas de trabajo de mayor tamaño, facilitado así el ahorro de energía. En caso de haber pocas cantidades de productos diferentes dicho ahorro se puede conseguir mediante la optimización del proceso productivo

6.3 El secado



El secado en la industria cerámica generalmente se refiere a la pérdida de agua por evaporación o volatilización. Es bien sabido que el agua se caracteriza por una capacidad termal específica elevada (4.2 kJ/kg K) y una temperatura muy elevada de evaporación (2.500 kJ/kg). Estas propiedades materiales inevitablemente resultan en un elevado consumo energético.

Una manera común de reducir el consumo de energía durante el secado en empresas más antiguas es acoplando el secador y el horno.⁷

El acoplamiento del secador y el horno se considera tecnológicamente puntero, no obstante es importante modificar la práctica. Por ejemplo, deben controlarse cuidadosamente los descansos del moldeo y el secado en fin de semana.⁴³

Otro método para lograr la modernización es controlar el sistema de ventilación/quemador y la atmósfera de secado.⁶

El uso de pequeñas cantidades de aire a temperatura elevada disminuye la pérdida de aire debido a los gases de escape.^{36, 45, 49}

La Figura 2 muestra los costes de energía más bajos (calor y electricidad) alcanzables en un ideal de calor energético y circulación de aire seco.

Para productos resultantes de procesos de colaje, y con el fin de ahorrar energía, se puede aumentar el uso de secadores de microondas

Unas condiciones de secado pobres a veces son visibles después de la cocción inicial, por tanto aumentan el material de desecho y el CES,⁵⁸ por lo que deberán emplearse medidas de control de calidad para identificar dichos problemas.

El uso de secado sin aire puede reducir el consumo energético hasta un 80%, y también mejorar la calidad.⁶³

Periodos más cortos de secado ahorran energía.^{5, 6, 41, 44}

Para lograr la humedad requerida para el secado, evitar añadir humedad y, en caso necesario, incrementar la densidad del soporte.⁹

La reorientación de los flujos de aire puede mejorar la consistencia y reducir el tiempo de secado. Unos patrones intermitentes de flujos de aire pueden reducir el tiempo de secado y mejorar el rendimiento.⁹

Utilizar software para simular el proceso de secado. Una buena manera de optimizar el secado consiste en enlazarse a datos de control proporcionados por empresas especializadas.³⁶

En el caso de un sistema de secador y horno acoplados, la provisión energética del horno - y no la demanda del horno - es lo que determina el nivel energético del secador. De otra manera, un uso energético deficiente en el secador genera un consumo energético más elevado durante la cocción.^{36, 42}

El sistema que une el aire caliente del horno con el secador debe contar con un buen aislamiento.⁴⁷

6.4 La cocción

El consumo energético específico para sinterizar productos cerámicos depende de la temperatura de cocción requerida. La temperatura se determina según la composición de la masa, los procesos de la formación del material y las propiedades que se pretende obtener. La Figura 3 muestra un incremento exponencial de la energía específica demandada con el aumento en la temperatura.

	Temperatura [°C]	CES [kJ/kg]	Capacidad [t/h]
Horno túnel viejo	1200-1280	6700-9200	10-50
Horno túnel moderno con fibras y refractarios ligeros	1230-1260	4200-6700	10-50
Horno de rodillo	1230-1260	3100-4200	10-30

Tabla 3: CES para diferentes tipos de hornos, rama de cerámica sanitaria según ⁵⁴

6.4.1 El diseño del horno y la vagoneta de horno túnel

La Tabla 3 muestra un CES para 3 tipos de hornos diferentes usados en la cocción de cerámica sanitaria. Obviamente, un horno de rodillo con mínimo mobiliario de horno y proceso de cocción rápido usa la menor cantidad de energía, la tercera parte de la que consume un horno túnel.

Existen dos opciones principales en las cuales el diseño del horno y la vagoneta del horno túnel influyen sobre la pérdida de energía:

☞ Fugas del aire de alrededor hacia el horno

”No obstante, una de las mejores opciones para ahorrar energía es la eliminación de las fugas,” Don Denison, Denison Inc.²¹

☞ El peso de los materiales dentro del horno y de la vagoneta que requieren calentarse

“Las pestañas de las ruedas de la vagoneta del horno deberían situarse en su exterior”.²

“Los pisos del horno deben estar hechos de materiales aislantes ligeros y de alta calidad con un contenido mínimo de chamota pesada. Es recomendable que las capas desde el piso inferior hasta el superior estén adaptadas para aguantar las tensiones de las respectivas diferentes temperaturas”.^{2, 3, 20}



Las juntas de arena deben estar diseñadas para evitar fugas a lo largo del tiempo. (Se ofrecen recomendaciones en ^{2, 33}).

Intentar evitar paredes laterales de horno auto-portantes. Estas paredes tienden a doblarse hacia el canal de cocción debido a las diferencias de temperatura en la sección transversal. Es de suma importancia considerar el diseño cuidadosamente y que la pared sea sostenida por el techo del horno.²

Los techos de hornos diseñados especialmente para ello evitan las fugas debidas a la expansión del calor. El enfriamiento del techo es redundante.

6.4.2 La tecnología en la combustión y la cocción

En la zona principal de cocción es recomendable una presión de 10-15 Pa.

Cuanto menos material de desecho se genere, menor será el CES. La cocción repetida aumenta el CES.

Es importante aumentar el control durante la cocción con los nuevos sistemas de quemadores y su control por zonas múltiples.^{33,51,34}

Los quemadores de impulso son más eficientes que los convencionales.

Los quemadores de alta velocidad (la velocidad de los gases calentados > 100 m/s) son recomendables para la zona de precalentamiento hasta los 700°C. Es más probable que ocurra el calentamiento por convección a esta temperatura baja. Los hornos pueden renovarse con estos quemadores más modernos para ahorrar energía.

Algunas de las técnicas ya descritas para el secado también son importantes en la cocción.

Permitir la mejor transición posible de calor de los gases calientes a la carga.^{33,34}

El aire de combustión debe precalentarse; a temperaturas más elevadas de cocción, el precalentamiento ahorra energía. El precalentamiento debe hacerse usando el aire de escape del horno.⁴⁰

Organizar la producción para fabricar un único producto durante un periodo de tiempo más largo. Intentar optimizar la curva de temperatura para ese producto. Cuando se mezclan productos distintos en un mismo horno, es más difícil conseguir una optimización real. Considerar el uso intermitente de hornos de menor tamaño. Para cargas pequeños de trabajo, se puede establecer una cooperación con otras plantas o reducir el número de tipos de productos diferentes.⁹

Conseguir la recuperación del calor de los gases residuales.⁴⁷

El mobiliario usado en el horno es uno de los grandes consumidores de energía. Muchos de los modernos tipos de mobiliario de horno se hacen de SiC, con un diseño que ahorra peso.⁴⁸



Los mejores soportes para la cerámica sanitaria son los sin soportes, por ejemplo, en hornos de rodillo.

Cuanto menos material de desecho se genere, menor será el CES.

El uso intermitente de los hornos puede hacerse de manera mucho más eficiente si se usan sistemas para la recuperación del calor juntamente con el precalentamiento del aire de combustión o con secadores acoplados.^{8,27}

6.5 La decoración

La aplicación de logos e insignias se realiza mediante marcado/fusión con laser de pigmentos cerámicos y no implica un proceso de cocción. Esto conlleva unas cuantas ventajas, como por ejemplo, la reducción de la necesidad de tener existencias de reserva y de pérdidas por deformación de la insignia durante la repetición de la cocción.

7 Las tejas

7.1 Las materias primas y la mezcla

Las materias primas nuevas, como feldespatos que contienen Litio (Fig. 9)⁵³ o Colemanita²⁸, una mezcla de feldespatos de Potasio (K) y Sodio (Na) o recetas de baja sinterización pueden ayudar a reducir la temperatura de la sinterización hasta 200 °C y ahorrar bastante energía (Fig. 10).⁴⁸

Unas masas optimizadas de arcillas tradicionales y chinas pueden disminuir la temperatura de cocción hasta 50 °C.⁵⁵

Es recomendable optimizar las masas para hornos de cocción rápido con, por ejemplo, materias primas calcinadas.

El secado mediante atomizador requiere de un peso óptimo de litros. El ahorro de agua mediante el uso de materias primas mejoradas o aditivos especiales que reducen el contenido de agua en las barbotinas es una manera de ahorrar energía durante el secado.

7.2 El secadero atomizador

El secado en la industria cerámica generalmente se refiere a la pérdida de agua por evaporación o volatilización. Es bien sabido que el agua se caracteriza por una capacidad termal específica elevada (4.2 kJ/kg K) y una temperatura muy elevada de evaporación (2.500 kJ/kg). Estas propiedades materiales inevitablemente resultan en un elevado consumo energético, particularmente para el secadero atomizador de barbotinas donde el contenido de agua llegar comúnmente hasta un 50%.

Uno de los tipos de secadero atomizador más eficiente cogenera calor y electricidad. La Figura 12 muestra un grado excelente de efectividad (aproximadamente 90%) para esa solución.

Cuanto mayor sea el peso en litros, menor consumo energético requerirá el secadero atomizador (humedad restante fijada para el prensado).⁵⁹

Si los requerimientos de calidad son bajos, el consumo energético de secadero atomizador disminuye para gránulos de menor tamaño.

Cuanto mejor sea el aislamiento de cada secadero atomizador, menor será el consumo energético.

Precalear el aire para la combustión en los quemadores con calor residual del horno o del secadero atomizador.

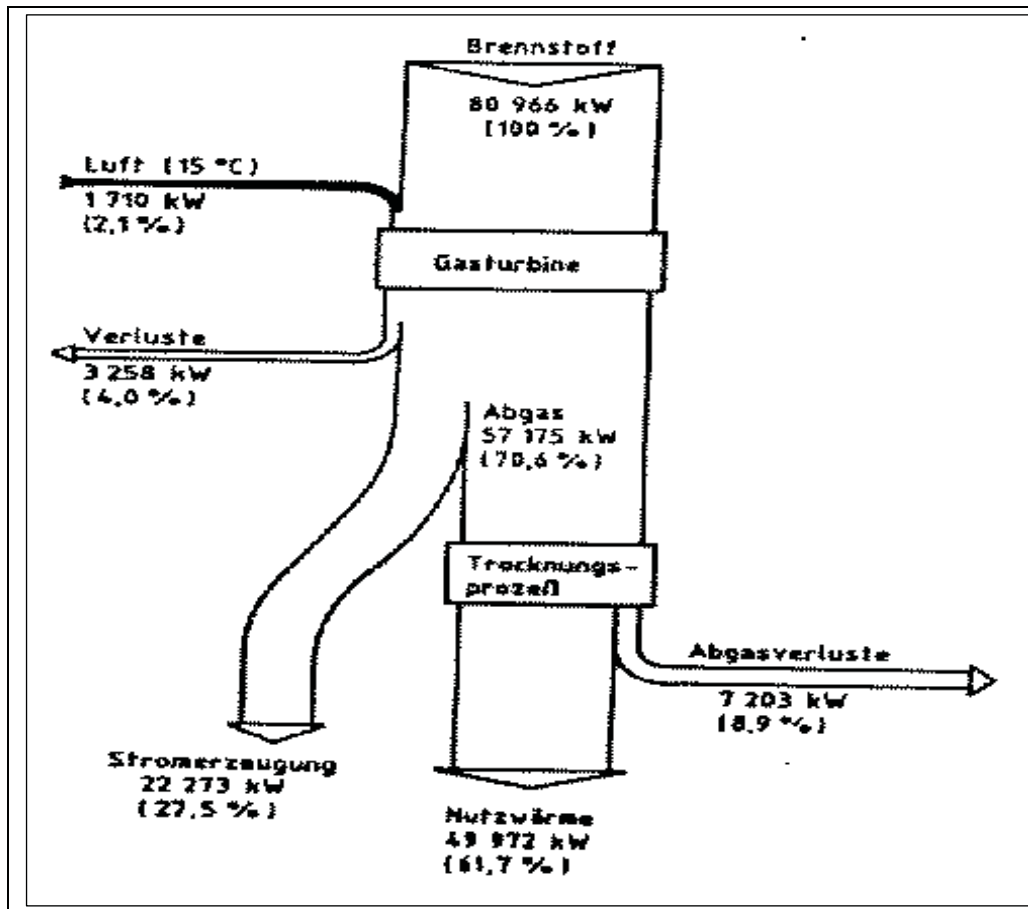


Figura 12: Equilibrio en la cogeneración de calor y electricidad cuando se usa un secadero atomizador⁵⁶

7.3 El Moldeado / La Decoración

Con una planificación mejorada de la producción se permite el secado y la cocción de cargas de trabajo de mayor tamaño, facilitando un ahorro de energía.

Cuando hay pocas cantidades de productos y estos son diferentes, la mejora del proceso productivo optimiza el consumo energético

7.4 La cocción

El consumo energético específico para sinterizar productos cerámicos depende de la temperatura de cocción requerida. La temperatura se determina según la composición de la masa, los procesos de la formación del material y las propiedades que se pretende obtener.

La Figura 3 muestra un incremento exponencial de la energía específica demandada según el aumento en la temperatura.

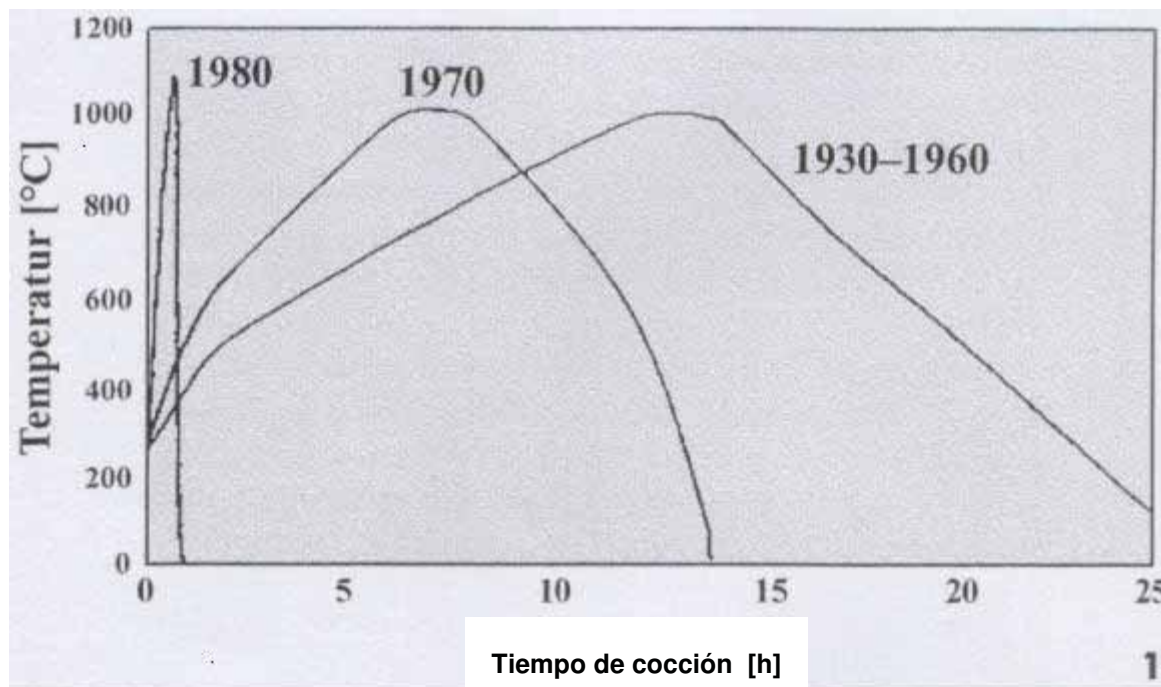


Figura 13: Tiempo de cocción decreciente durante el siglo 20⁵⁵

7.4.1 El diseño del horno y la vagoneta de horno túnel

La Tabla 3 y la Figura 11 muestran el CES para 3 tipos de hornos diferentes usados para la cocción de cerámica sanitaria y de vajillas, respectivamente. Obviamente, un horno de rodillo con su mínimo mobiliario de horno y proceso de cocción rápido usa la menor cantidad de energía, la tercera parte de la que consume un horno túnel. La Figura 13 muestra el tiempo de cocción decreciente para tejas durante el último siglo. Esto se debe al desarrollo del horno de rodillo. Debido a su bajo consumo energético y la forma fácil de las tejas, este tipo de horno se considera tecnológicamente puntero para la cocción de tejas.

Existen dos formas principales en las cuales el diseño del horno y la vagoneta del horno túnel influyen sobre la pérdida de energía:

☞ Fugas del aire de alrededor hacia el horno

"No obstante, una de las mejores opciones para ahorrar energía es eliminar las fugas," Don Denison, Denison Inc.²¹

☞ El peso de los materiales dentro del horno y de la vagoneta que requieren calentarse

Los rodillos deben estar bien sellados.

"Los pisos del horno deben estar hechos de materiales aislantes ligeros y de alta calidad con un contenido mínimo de chamota pesada. Es recomendable que las capas



desde el piso inferior hasta el superior estén adaptadas para aguantar las tensiones de las respectivas diferentes temperaturas”.^{2, 3, 20}

Los techos de hornos diseñados especialmente para ello evitan las fugas debidas a la expansión del calor y facilitan que el enfriamiento del techo sea redundante.²

7.4.2 La tecnología en la combustión y la cocción

En la zona principal de cocción es recomendable una presión de 10-15 Pa.

Cuanto menos material de desecho se genere, menor será el CES.

Es importante aumentar el control durante la cocción con los nuevos sistemas de quemadores y su control por zonas múltiples.^{33,51,34}

Los quemadores de impulso son más eficientes que los convencionales.

Los quemadores de alta velocidad (la velocidad de los gases calentados > 100 m/s) son recomendables para la zona de precalentamiento hasta los 700°C. Es más probable que ocurra el calentamiento por convección a esta temperatura baja. Los hornos pueden renovarse con estos quemadores más modernos pudiendo así ahorrar energía.

El aire de combustión debe precalentarse; a temperaturas más elevadas de cocción, el precalentamiento ahorra energía. El precalentamiento debe hacerse usando el aire de escape del horno.⁴⁰

Organizar la producción para fabricar un único producto durante un periodo de tiempo más largo. Intentar optimizar la curva de temperatura para ese producto. Cuando se mezclan productos distintos en un mismo horno, es más difícil conseguir una optimización real. Considerar el uso intermitente de hornos de menor tamaño. Para cargas pequeñas de trabajo, considerar establecer una cooperación con otras plantas o de reducir el número de tipos de productos diferentes.⁹

Conseguir la recuperación del calor de los gases residuales.⁴⁷



8 Referencias

1. Gres Acueducto, S.A.: The works and the products an unqualified success. ZI Ziegelindustrie International, 2000, 5, 23-30
2. Riedel, R.: The real snag lies in the detail part 1 und 2. ZI Ziegelindustrie International, 2000, 6 und 9, 29-37, 23-32
3. Hesse, V.: The problems of energy consumption of tunnel kiln cars in fast firing tunnel kilns. ZI Ziegelindustrie International, 2001, 3, 13-20
4. Schlosser, M.; New concepts for tile setters and rapid drying in the clay roofing tile industry. ZI Ziegelindustrie International, 2001, 1/2, 25-29
5. Ceramicas Casao: High quality, large capacity and low energy consumption. ZI Ziegelindustrie International, 2001, 7, 24-28
6. Bauhütte Leitl-Werke GmbH: "Eco Brickworks 2000" operating at full capacity. ZI Ziegelindustrie International, 2001, 5, 16-24
7. Vissing, L.: Energy consumption in the Danish brick industry. ZI Ziegelindustrie International, 2003, 3, 21-27
8. Strohmenger, P.: Energy saving intermittent kiln with heat exchanger system. ZI Ziegelindustrie International, 2003, 3, 36-39
9. www.tangram.co.uk: Energy efficiency in ceramics processing. www.tangram.co.uk
10. Jüchter, M.: Modernization of an existing plant an economical alternative. ZI Ziegelindustrie International, 2004, 3, 20-23
11. Mödinger, F.: The utilization of biogas at brickworks. ZI Ziegelindustrie International, 2004, 5, 20-31
12. Bayrische Dachziegelwerke Bogen GmbH: Innovative tunnel kiln for accessories at Bogen roofing tile works. ZI Ziegelindustrie International, 2004, 9, 36-39
13. Brick and Tile of Lawrenceville: A new manufacturing plant for for brick an tile Corporation of Lawrenceville. ZI Ziegelindustrie International, 2004, 10, 22-26
14. Ronchetti, R.: A new type of kiln for rapid firing of clay roof tiles. ZI Ziegelindustrie International, 2004, 11, 38-42
15. Hohlfeld, K.: Reduced kiln furniture weight for H-setters for firing roof tiles. ZI Ziegelindustrie International, 2005, 3, 19-28
16. Mödinger, F.: Options for the use renewable fuels in tunnel kilns. ZI Ziegelindustrie International, 2006, 8, 44-53
17. Aubertot, C.: Petroleum coke - a fuel of the future. ZI Ziegelindustrie International, 2006, 9, 36-40
18. Rieger, W.: Flue gas post-combustion in tunnel kilns with utilization of the released heat of combustion for brick drying and firing. ZI Ziegelindustrie International, 2007, 9, 32-42
19. Dörr, J.: Pore-forming with carboniferous clay blends - without strength loss but with a simultaneous energy saving. ZI Ziegelindustrie International, 2006, 5, 122-129
20. Kettler, H.: Kiln car engineering and energy conservation. ZI Ziegelindustrie International, 2006, 5, 130-133
21. anonymous: "International Brick Plant Operator's Forum" in Clemson (USA) with focus on energy saving. ZI Ziegelindustrie International, 2006, 12, 8-13
22. Mori, G.: Rößen clay roofing tile plant in Sroda Slaska - designed for 40 million tiles and 4 million accessories per year . ZI Ziegelindustrie International, 2006, 9, 18-27



23. Rieger, W.: New design of a tunnel kiln structure made of prefabricated lightweight chamotte elements and replacement of the kiln cars by firing pallet circuit. ZI Ziegelindustrie International, 2007, 6/7, 45-55
24. Kettler, H.: BurcoLight - Results from practical operations. ZI Ziegelindustrie International, 2008, 5, 21-28
25. Industrie Pica S.p.A.: A new innovative clay roofing tile works at Portacomara. ZI Ziegelindustrie International, 2008, 8, 46-52
26. Unieco Fornace di Fosdondo: Newly developed dryer for the brick factory Fornace di Fosdondo. ZI Ziegelindustrie International, 2008, 1/2, 51-54
27. Strohmenger, P.: Energy saving Bogie-hearth furnace with heat Exchanger-System, Keramische Zeitschrift, 2003, 5, 350-352
28. Kartal, A.: Untersuchungen zur Erstellung von Hartporzellan bei verringerten Brenntemperaturen. cfi/Ber. DKG, 2004, 5, D20-D22
29. Rambaldi, E.: Glass recycling in porcelain stoneware tiles: Firing behaviour. cfi/Ber. DKG, 2004, 3, E32 - E 36
30. Coudamy, G.: Energy Saving and optimised firing thanks to new technology: "Entropy+". cfi/Ber. DKG, 2003, 9, E53-E60
31. Hansen, H.: Intelligente HAT-Herdwagenöfen. cfi/Ber. DKG, 2006, 11/12, D15-D16
32. Müller-Zell, A.: Niedrig sinternde Fertigmassen für Geschirr. cfi/Ber. DKG , 2008, 11, D15-D16
33. Fischer, M.: Möglichkeiten und Grenzen der Energieeinsparung. cfi/Ber. DKG , 2009, 2, D14-D18
34. Slater, A.: Fire more or less. cfi/Ber. DKG , 2009, 2, E35-E39
35. Junge, K.: Sintering aids for reducing the final firing temperature and energy saving. ZI Ziegelindustrie International, 1998, 10, 686-687
36. Leisenberg, W.: Ways to efficient use of energy. ZI Ziegelindustrie International, 1998, 7, 434-440
37. Bohlmann, C.: Reduction of mixing water with additives - a contribution to energy cost saving. ZI Ziegelindustrie International, 1998, 1/2, 35-43
38. König, R.: The "Laminaris" at the Staudacher Brickworks - a further advance in drying technology. ZI Ziegelindustrie International, 1999, 9, 67-71
39. Masatishi Nakashima, J.: Clay roofing tile production in Japan. ZI Ziegelindustrie International, 1999, 3, 11-17
40. Riedel, R.: Combustion air preheating. ZI Ziegelindustrie International, 1999, 11, 30-39
41. Rapis-Ziegel Schmidt GmbH: New drying technology in the Rapis brickworks. ZI Ziegelindustrie International, 1999, 9, 73-78
42. Vogt, S.: Way to efficient use of energy. ZI Ziegelindustrie International, 1998, 8, 496-501
43. Junge, K.: Effects of the ban on Sunday working on the energy consumption of heavy clay works. ZI Ziegelindustrie International, 1998, 6, 327-335
44. König, R.: The Laminaris rapid dryer at the Tonwerk Venus in Schwarzach. ZI Ziegelindustrie International, 1998, 8, 502-508
45. Denissen, J.A.M.: Energy efficient drying, Part 1: Energy efficiency of various techniques in convective drying. ZI Ziegelindustrie International, 1998, 8, 509-517
46. Häßler, A.: A new continuous system for drying, firing and transport. ZI Ziegelindustrie International, 1998, 8, 519-521



47. Hobohm, F.: Maßnahmen zur Energieeinsparung. www.keramikinstitut.de, 2008
48. Bartusch, R.: Potential for saving energy in the Ceramic Industry. *Keramische Zeitschrift*, 2002, 1, 6-10
49. Vogt, S.: Fortschrittliche Trocknungstechnik. www.keramikinstitut.de, 2008
50. Jeagermann, Z.: Information about PL-2, personally, 2009, 3.
51. [Cartlidge D](#):: New techniques in the brick industry of the UK, personally, 2009, 3.
52. Petersminde Teglvaerk A/S, Stenstrup, Fünen, DK: A modern tunnel kiln for the manufacture of a wide assortment of facing bricks. *ZI Ziegelindustrie International*, 2005, 7, 14-17
53. Telle, R: Senkung der Brenntemperaturen bei Sanitärporzellan durch Lithium-Zugaben, www.keramikinstitut.de, 2007
54. Sladek, R.: Gegenwärtiger Stand der Technik im Brennverfahren für sanitärkeramische Produkte, *Keramische Zeitschrift* 47 (1995) 5
55. Schulle, W.: Entwicklungen und Probleme beim Schnellbrand keramischer Produkte. *Keramische Zeitschrift* 52 (2000) 12
56. Köhler, R.: Personal talks with German tile producers
57. Vouillemet, M.: Le séchage mixte air chaud / micro-ondes des moules en plâtre neufs pour l'industrie du sanitaire. *L'Industrie Céramique & Verrière* 899 , 12/94, 780-784
58. Vouillemet, M: Le séchage en céramique. *Les Techniques de l'Industrie Minérale* 8, 12/2000, 93-98.
59. Blanc J.J.: The real costs of the dispersion of spray dried bodies. *Ceramic World Review* 70, 01-01/2007, 148-155
60. Blanc J.J.: Valorisation des déchets de verre dans les céramiques vitrifiées. *L'Industrie Céramique & Verrière* 953, 01/2000, 671-676
61. Vouillemet, M.: L'apport des micro-ondes comme source d'énergie en céramique. Réduction des cycles de traitement thermique et optimisation de la qualité des produits. Séchage mixte micro-ondes / air chaud des sanitaires : résultats pilotes et applications possibles.
62. Blanc J.J.: La granularité des poudres en céramique. Finesse et réactivité des feldspaths pour vitreous sanitaire. *Mines & Carrières* 81, 07-08/99, 28-31.
63. J.Fifer: Commercial case for airless drying. *Br Ceram Trans* 97, No 2, 1998, p80 - 82
64. [Cartlidge D](#): Personal: Infrared burner system that can be controlled in red and blue mode with the heating surface being a Sintered Nit. 2009
65. WRAP: Glass in Bricks and Tiles. (UK website)
66. [Cartlidge D](#): Personal: flexi flat roller making. 2009
67. [Cartlidge D](#): Personal: laser decoration for sanitaryware. 2009
68. Airless drying shapes up to Tableware challenge. *Global Ceramic Review*, No 2/99, summer 1999
69. [Cartlidge D](#): Use of waste glasses in sanitaryware production. 2009