

Análisis de consumos energéticos y emisiones de dióxido de carbono en la fabricación de baldosas cerámicas

E. MONFORT⁽¹⁾, A. MEZQUITA⁽¹⁾, R. GRANEL⁽¹⁾, E. VAQUER⁽¹⁾, A. ESCRIG⁽¹⁾, A. MIRALLES⁽²⁾, V. ZAERA⁽²⁾

⁽¹⁾ Instituto de Tecnología Cerámica (ITC). Asociación de Investigación de las Industrias Cerámicas (AICE), Universitat Jaume I. Castellón. España.

⁽²⁾ Asociación Española de Fabricantes de Azulejos y Pavimentos Cerámicos (ASCER)

Este trabajo ha sido presentado como comunicación oral en el XI World Congress on Ceramic Tile Qualicer. (Castellón, España, 2010)

El proceso de fabricación de baldosas cerámicas es intensivo en energía, pues comprende varias etapas en las que el producto se somete a un tratamiento térmico. Habitualmente, la energía térmica requerida por el proceso se obtiene por la combustión del gas natural, combustible de origen fósil, cuya oxidación conduce a la emisión de dióxido de carbono, uno de los gases causante del efecto invernadero. Los costes energéticos suponen alrededor de un 15 % del coste de fabricación del producto, y están fuertemente influenciados por el precio del gas natural, que en los últimos años ha sufrido un importante incremento. Las emisiones de dióxido de carbono son objeto de seguimiento y control a nivel internacional, en el marco del Protocolo de Kioto. En España, la legislación en vigor se basa en la directiva europea sobre el comercio de emisiones, y la asignación de los derechos de emisión se realiza en base a valores históricos en los sectores afectados. A partir de 2013 se producirán cambios en la legislación que afectan de manera importante al sector de fabricación de baldosas español, pues muchas de las instalaciones entrarán a formar parte del sistema de comercio de emisiones. El objetivo del trabajo presentado es conocer cuál es el consumo actual de energía térmica y las emisiones de CO₂ en el proceso de obtención de baldosas cerámicas. Para alcanzarlo, se ha realizado un estudio sectorial a diferentes niveles: un primer nivel sectorial, que analiza los consumos y emisiones de todo el sector, un segundo nivel que abarca valores de consumos de gas y emisiones en las empresas durante un periodo de tiempo prolongado (varios meses), y un tercer nivel, que desglosa más estos valores y se distinguen tanto el consumo energético como las emisiones por producto fabricado y por etapa del proceso.

Palabras clave: baldosas cerámicas, gránulo atomizado, consumo energético, emisiones de CO₂.

Analysis of energy consumption and carbon dioxide emissions in ceramic tile manufacture

The ceramic tile manufacturing process is energy intensive since it contains several stages in which the product is subject to thermal treatment. The thermal energy used in the process is usually obtained by combustion of natural gas, which is a fossil fuel whose oxidation produces emissions of carbon dioxide, a greenhouse gas.

Energy costs account for 15% of the average direct manufacturing costs, and are strongly influenced by the price of natural gas, which has increased significantly in the last few years.

Carbon dioxide emissions are internationally monitored and controlled in the frame of the Kyoto Protocol. Applicable Spanish law is based on the European Directive on emissions trading, and the assignment of emissions rights is based on historical values in the sectors involved. Legislation is scheduled to change in 2013, and the resulting changes will directly affect the Spanish ceramic tile manufacturing industry, since many facilities will become part of the emissions trading system. The purpose of this study is to determine current thermal energy consumption and carbon dioxide emissions in the ceramic tile manufacturing process.

A comprehensive sectoral study has been carried out for this purpose on several levels: the first analyses energy consumption and carbon dioxide emissions in the entire industry; the second determines energy consumption and carbon dioxide emissions in industrial facilities over a long period of time (several months); while the third level breaks down these values, determining energy consumption and emissions in terms of the product made and the manufacturing stage.

Keywords: ceramic tiles, spray-dried granule, energy consumption, CO₂ emissions

1. INTRODUCCIÓN

El proceso de fabricación de baldosas cerámicas requiere un elevado consumo de energía, principalmente de energía térmica, y en menor medida de energía eléctrica.

Todas las fases del proceso de fabricación consumen energía eléctrica. El consumo de energía térmica se produce principalmente en tres etapas: secado de las suspensiones cerámicas por atomización, secado de los soportes, y cocción de las baldosas. La energía térmica empleada en el proceso se obtiene, principalmente, por la combustión de gas natural.

Los costes energéticos totales (eléctrico y térmico) se suponen entre el 17 y el 20% de los costes directos medios de fabricación. Este porcentaje varía en función de la tipología de producto de cada empresa, pudiendo en algunos casos superar el 25%. Estos costes están directamente relacionados con el coste del gas natural, que en los últimos años ha sufrido un importante incremento.

La combustión de un combustible fósil como el gas natural tiene como consecuencia la emisión de dióxido de carbono (CO₂), que es uno de los gases de efecto invernadero responsables del cambio climático y del calentamiento global del planeta.

Las emisiones de dióxido de carbono en la fabricación de baldosas cerámicas se dividen en dos grupos ⁽¹⁾:

- Emisiones de combustión: son las emisiones producidas durante la reacción exotérmica de combustión entre el combustible y el comburente.
- Emisiones de proceso: son las emisiones que se producen debido a la descomposición de los carbonatos presentes en las materias primas, durante la etapa de cocción.

Las emisiones de gases de efecto invernadero son objeto de seguimiento y control a nivel internacional. La legislación en vigor en nuestro país se basa en la Directiva europea sobre el comercio de emisiones ⁽²⁾, y la asignación de los derechos de emisión en los sectores afectados, entre los que se encuentra el sector de fabricación de baldosas cerámicas, se ha llevado a cabo hasta el momento en base a valores históricos.

En la actualidad la mayoría de las empresas cerámicas españolas no superan los umbrales para estar afectadas por el sistema de comercio de emisiones. De un total de más de 200 instalaciones, únicamente 36 forman parte del sistema, 8 de ellas por superar los umbrales exigidos al proceso de horneado de productos cerámicos, y las restantes por tener instalaciones de combustión de potencia superior a 20 MW.

La reciente revisión de la legislación vigente por parte de la Comisión Europea ha tenido como consecuencia la publicación de una nueva Directiva, que estará en vigor en el periodo 2013-2020. La nueva Directiva (2009/29/CE) introduce cambios importantes respecto a la situación actual que afectan de manera directa al sector de fabricación de baldosas cerámicas ⁽³⁾.

2. OBJETIVO

El objetivo de este estudio es analizar el consumo de energía y las emisiones de dióxido de carbono en el proceso de fabricación de baldosas cerámicas y gránulo atomizado, tanto

de manera global como desglosados por etapas del proceso y por productos fabricados.

3. METODOLOGÍA UTILIZADA

La recopilación de la información necesaria para llevar a cabo el estudio propuesto se ha realizado mediante la elaboración de un estudio sectorial que engloba a empresas fabricantes de baldosas cerámicas y gránulo atomizado en España.

El análisis realizado se ha llevado a cabo con varios niveles de detalle. A continuación se describen cada uno de estos niveles, de menor a mayor nivel de detalle:

- NIVEL 1: Corresponde al nivel sectorial. Se determina el consumo energético global y de las emisiones totales de dióxido de carbono en el sector de fabricación de baldosas cerámicas y gránulo atomizado durante el año 2008.
- NIVEL 2: Es el nivel de empresa. Se estudia el consumo de energía térmica y eléctrica en las empresas fabricantes de gránulo atomizado y de baldosas cerámicas durante largos periodos de funcionamiento.
- NIVEL 3: Corresponde al nivel de etapa del proceso. Se determinan el consumo de energía térmica y las emisiones de CO₂ en las principales etapas del proceso de fabricación que consumen energía térmica, durante cortos periodos de tiempo en los que el régimen de funcionamiento es estacionario. En los casos en que ha sido posible, se han determinado estos valores para las principales composiciones cerámicas fabricadas en el sector.

El procedimiento seguido para la realización de este estudio comprende las siguientes actividades:

- Búsqueda bibliográfica y recopilación de información de estudios, análisis estadísticos, bases de datos y publicaciones, sobre consumos energéticos en la fabricación de baldosas cerámicas y gránulo atomizado en España y en otros países productores ⁽⁴⁾.
- Distribución de un cuestionario a 183 empresas, abarcando el 82% de las empresas del sector.
- Visitas personales a más de 50 empresas, para recopilar información acerca de los consumos energéticos anuales, y determinar experimentalmente el consumo en atomizadores, secaderos y hornos. En total se han llevado a cabo más de 240 medidas en las instalaciones industriales.

En la tabla 1 se muestra el número total de empresas participantes en el estudio y la cuota de producción de estas empresas sobre la producción total nacional, en el año 2008.

TABLA 1. MUESTRA DE EMPRESAS ESTUDIADAS.

Número de empresas participantes		55
Número de plantas productivas participantes		65
Cuota de producción	Atomizado	48 %
	Baldosas	34 %

El porcentaje de producción alcanzado se considera adecuado para la obtención de datos representativos de la situación del sector cerámico de Castellón en materia de consumo energético y emisiones de dióxido de carbono.

4. RESULTADOS OBTENIDOS

4.1. NIVEL 1: Consumos de energía y emisiones de CO₂ sectoriales

El combustible utilizado mayoritariamente en el sector español de fabricación de baldosas cerámicas y de gránulo atomizado es el gas natural. Se utiliza en los sistemas de cogeneración para la producción simultánea de energía eléctrica y térmica, y en los quemadores para la generación de energía térmica en las etapas de atomización, secado y cocción, principalmente.

En el año 2008, el consumo de gas natural como demanda de energía final en el sector alcanzó los 14131 GWh (referido al PCS del combustible).

La energía eléctrica consumida por el sector proviene tanto de la red eléctrica como de los sistemas de cogeneración. El consumo total de electricidad ascendió, en el año 2008, a 1187 Gwh.

Por tanto, el consumo de gas natural supone el 92% de la demanda energética total del sector, correspondiendo al consumo de energía eléctrica el restante 8%. Estos resultados se muestran gráficamente en la figura 1.

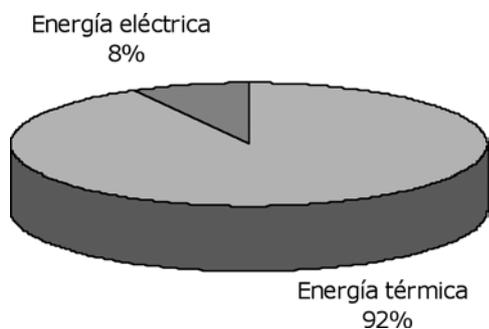


Figura 1. Distribución de consumos energéticos en el sector de fabricación de baldosas cerámicas y gránulo atomizado, durante el año 2008.

A partir del consumo de energía en el sector en el año 2008, se han calculado las emisiones sectoriales de dióxido de carbono. En los cálculos se han considerado tanto las emisiones de combustión como las de proceso. Los resultados obtenidos se muestran en la tabla 2.

El 91% de las emisiones de dióxido de carbono generadas en el sector cerámico se deben a la combustión del gas natural. El 9% restante corresponde a las emisiones producidas por la descomposición de los carbonatos durante la etapa de cocción, siendo las composiciones de azulejos las que más emisiones generan.

4.2. NIVEL 2: Análisis del consumo energético medio en empresas fabricantes de gránulo atomizado y de baldosas cerámicas

El objetivo de este nivel del estudio es determinar el consumo de energía térmica y eléctrica del proceso de fabricación de baldosas cerámicas, por unidad de masa y de superficie de producto obtenido.

Para ello se ha recopilado información de 55 empresas del sector, analizando su consumo de energía y producción durante varios meses. Se distingue entre dos tipos de empresas, según el tipo de producto fabricado:

- Empresas que fabrican gránulo atomizado
- Empresas que fabrican baldosas cerámicas por prensado

4.2.1. FABRICACIÓN DE GRÁNULO ATOMIZADO

La mayoría de empresas fabricantes de gránulo atomizado disponen de sistemas de cogeneración cuyos gases calientes de escape se utilizan en el proceso de secado por atomización de las suspensiones cerámicas. El consumo de energía térmica de esta etapa es, pues, la suma de la energía térmica aportada por los gases de escape del sistema de cogeneración, y la energía generada por la combustión de gas natural en los quemadores de post combustión instalados en los atomizadores.

La energía eléctrica utilizada en el proceso de molienda y atomización tiene dos orígenes: la red de distribución eléctrica, y el sistema de cogeneración. La energía eléctrica producida por los sistemas de cogeneración se destina al autoconsumo en

TABLA 2. EMISIONES DE CO₂ EN EL SECTOR DE FABRICACIÓN DE BALDOSAS CERÁMICAS Y DE GRÁNULO ATOMIZADO EN EL AÑO 2008

		Emisiones de CO ₂ (miles de t CO ₂)	Emisiones de CO ₂ (%)
Emisiones de combustión	Etapas del proceso	2020	63,8
	Cogeneración	866	27,4
	Total	2886	91,2
Emisiones de proceso	Azulejos	225	7,11
	Pavimento esmaltado	52	1,6
	Gres porcelánico	despreciable	--
	Baldosas extrudidas	0,9	0,03
	Total	278	8,8
Emisiones de CO₂ sectoriales		3164	100

la propia empresa, y el excedente se exporta a la red general de distribución de energía eléctrica.

En la tabla 3 se muestran, en intervalos, los porcentajes de distribución del origen de la energía térmica, de la energía eléctrica y del destino de la energía eléctrica generada en las empresas fabricantes de gránulo atomizado.

TABLA 3. DISTRIBUCIÓN DE LA ENERGÍA EN EMPRESAS FABRICANTES DE GRÁNULO ATOMIZADO

Origen de la energía térmica	Cogeneración	47 – 100%
	Post-combustión	0 – 53%
Origen de la energía eléctrica	Comprada	0,4 – 19%
	Autoconsumo	81 – 99,6%
Destino de la energía eléctrica producida por la cogeneración	Venta	28 – 91%
	Autoconsumo	9 – 72%

Los resultados obtenidos muestran una gran variabilidad de situaciones entre empresas, pues esta distribución depende de diversas variables, tales como la potencia de los sistemas de cogeneración, la gestión de los mismos, el consumo eléctrico de cada empresa y su distribución temporal, el régimen económico aplicable a la venta de energía eléctrica, etc.

A partir de los datos de consumo de energía y de producción facilitados por las empresas, se calculó el consumo energético térmico y eléctrico por unidad de masa de producto fabricado. Los resultados obtenidos se resumen en la tabla 4.

TABLA 4. CONSUMOS ESPECÍFICOS DE ENERGÍA EN EL PROCESO DE FABRICACIÓN DE GRÁNULO ATOMIZADO.

Fabricación de gránulo atomizado		
Número de empresas		11
Consumos energéticos (kWh/tonelada sólido seco)	Térmico (referido a PCS)	452 ± 94
	Eléctrico	52 ± 15

(*) PCS: Poder calorífico Superior del combustible

4.2.2. FABRICACIÓN DE BALDOSAS CERÁMICAS POR PRENSADO

El consumo energético medio en empresas fabricantes de baldosas cerámicas prensadas (sin preparación de materias primas) se muestra en la tabla 5. Se ha calculado el consumo específico de energía térmica, referido a la masa de producto cocido y a la superficie de baldosas.

TABLA 5. CONSUMOS ESPECÍFICOS DE ENERGÍA EN EL PROCESO DE FABRICACIÓN DE BALDOSAS CERÁMICAS PRENSADAS (ETAPAS DE SECADO Y COCCIÓN).

Fabricación de baldosas prensadas (secado y cocción)		
Número de empresas		46
Consumo de energía térmica (referido al PCS)	kWh/t cocido	960 ± 62
	kWh/m ² cocido	19 ± 2
Consumo de energía eléctrica	kWh/t cocido	109 ± 11
	kWh/m ² cocido	2,1 ± 0,2

4.3 NIVEL 3: Análisis por etapas del consumo de energía térmica y emisiones de CO₂

Se realiza un análisis del consumo de energía en los principales equipos consumidores de gas natural en el proceso de fabricación de baldosas cerámicas, que cuentan con la preparación de materias primas vía húmeda y el conformado por prensado: atomizadores, secaderos de soportes y hornos.

Este análisis se ha llevado a cabo mediante la realización de medidas experimentales en las instalaciones industriales, mientras el régimen de funcionamiento era estacionario, es decir, durante la duración de las medidas no se produjeron modificaciones a lo largo del tiempo de las variables de funcionamiento.

El consumo específico de energía térmica en una instalación durante un largo periodo de tiempo, que abarca situaciones de funcionamiento estacionario y no estacionario, e incluso alguna parada, es superior al consumo determinado durante cortos periodos de tiempo de funcionamiento estacionario. Por esta razón, los consumos mostrados en este apartado difieren de los mostrados en el apartado 4.2.

En efecto, se ha estimado que el grado de aprovechamiento de la energía en las empresas de fabricación de baldosas prensadas se sitúa en el intervalo entre el 83% y el 91%, dependiendo de la gestión de la producción en cada empresa. Este valor viene muy influenciado por las paradas de producción de fin de semana, en las que el horno queda en régimen de mantenimiento o stand-by.

La cantidad de medidas experimentales realizadas en hornos de cocción es muy superior a la cantidad de medidas realizadas en atomizadores y secaderos, debido a que habitualmente los hornos disponen de un caudalímetro de gas natural individual para la determinación del consumo energético, no siendo ésta la situación habitual en el resto de equipos analizados.

Por tanto, el análisis de consumos energéticos y emisiones en atomizadores y secaderos no es tan completo como el realizado en los hornos de rodillos, en los que ha sido posible desglosar los consumos por tipo de producto fabricado.

4.3.1 CONSUMOS ENERGÉTICOS

4.3.1.1. Etapa de atomización

En el proceso de preparación de las materias primas vía húmeda, se prepara una suspensión en agua de las materias primas que debe secarse. Este proceso se lleva a cabo en secaderos por atomización.

El consumo específico medio de energía en la etapa de atomización se muestra en la tabla 6. El valor obtenido

asciende a 476 kWh/t sólido seco. Este valor puede calcularse también referido a la masa de producto cocido conociendo la pérdida de masa de las composiciones durante la cocción.

Los resultados se presentan junto al error obtenido en el cálculo del valor medio.

TABLA 6. CONSUMO DE ENERGÍA TÉRMICA EN LA ETAPA DE ATOMIZACIÓN (REFERIDO AL PCS).

Número de atomizadores		12
Número de medidas experimentales		24
Consumo específico	kWh/t sólido seco	476 ± 19
	kWh/t cocido	510 ± 23

Los valores medios obtenidos en las principales variables de funcionamiento de los atomizadores analizados se exponen en la tabla 7.

TABLA 7. CONDICIONES DE OPERACIÓN MEDIAS EN LA ETAPA DE ATOMIZACIÓN.

Producción de gránulo atomizado (t ss/h)	23 ± 4
Contenido en sólidos de la barbotina (%)	65,0 ± 0,7
Humedad del gránulo atomizado (%)	6,2 ± 0,3

4.3.1.2. Etapa de secado

El secado de los soportes recién conformados se realiza en secaderos continuos de rodillos, que pueden ser horizontales o verticales. En la tabla 8 se muestra el consumo específico medio en la etapa de secado, para los dos tipos de secaderos estudiados.

TABLA 8. CONSUMO DE ENERGÍA TÉRMICA EN LA ETAPA DE SECADO (REFERIDO AL PCS).

Tipo de secadero		Verticales	Horizontales
Número de equipos en el estudio		4	1
Número de medidas experimentales		8	5
Consumo específico	kWh/t sólido seco	115 ± 19	117 ± 18
	kWh/t cocido	125 ± 20	124 ± 21

En la tabla 9 se muestran los valores medios de las principales variables de funcionamiento en la etapa de secado, en los equipos analizados.

TABLA 10. CONSUMO DE ENERGÍA TÉRMICA EN LA ETAPA DE COCCIÓN (REFERIDO AL PCS).

Producto		Azulejo rojo	Azulejo blanco	Gres rojo	Gres porcelánico y gres blanco	Total; Valor medio
Número de medidas experimentales		42	28	60	77	207
Consumo específico	kWh/t cocido	816 ± 27	885 ± 51	724 ± 18	802 ± 20	793 ± 14
	kWh/m ² cocido	13,4 ± 0,5	16,0 ± 1,4	14,3 ± 0,4	17,4 ± 0,6	15,5 ± 0,4

TABLA 9. CONDICIONES DE OPERACIÓN MEDIAS EN LA ETAPA DE SECADO.

Producción (t ss/h)	2,1 ± 0,2
Humedad de los soportes en la entrada (%)	6,0 ± 0,2
Humedad de los soportes en la salida (%)	0,5 ± 0,3

4.3.1.3. Etapa de cocción

Los hornos utilizados en la cocción de baldosas cerámicas son hornos monoestrato continuos de rodillos. El número de hornos en el estudio es de 52.

El consumo específico medio de los hornos de cocción, desglosados por producto fabricado, se muestra en la tabla 10. Los resultados obtenidos para los productos gres porcelánico y gres esmaltado con soporte de color blanco se han agrupado, pues, en los casos analizados, apenas difieren en su composición.

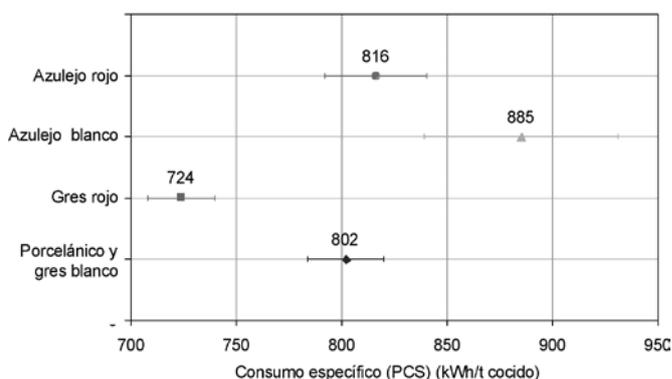


Figura 2. Consumo específico en la etapa de cocción (kWh/t cocido), en régimen estacionario de funcionamiento

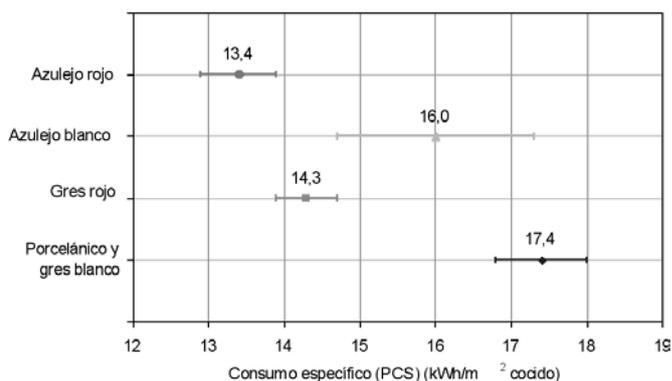


Figura 3. Consumo específico en la etapa de cocción (kWh/m² cocido), en régimen estacionario de funcionamiento.

En la figura 2 y en la figura 3 se ha representado gráficamente el consumo energético en la etapa de cocción, expresado por unidad de masa cocida y por unidad de superficie cocida, respectivamente, para las composiciones estudiadas en este trabajo.

En la figura 2 se aprecia que el consumo medio por unidad de masa es mayor en las composiciones de azulejo que en las de gres, y que es el gres esmaltado con soporte de color rojo el producto con menor consumo energético. Sin embargo, al expresar los resultados por unidad de superficie, son el gres porcelánico y el gres blanco los productos con mayor consumo específico. Esto es debido a que el peso específico de las baldosas de azulejo es menor al de las baldosas de gres porcelánico.

En la tabla 11 se resumen los valores medios de los principales parámetros de funcionamiento de hornos monoestrato de rodillos para la cocción de baldosas cerámicas.

4.3.1.4. Distribución de consumos energéticos

En la tabla 12 se resumen los resultados obtenidos en el estudio de consumo de energía térmica por etapas, para baldosas prensadas fabricadas por monococción. Se muestra tanto el intervalo de variación como el valor medio de consumo en cada una de las etapas estudiadas. Todos los valores se han referido a toneladas de producto cocido, de forma que es posible realizar la adición directa de los consumos en las distintas etapas para calcular el consumo total. Asimismo, en la misma tabla se indican los intervalos de consumo de energía térmica presentados en el BREF de fabricación de productos cerámicos para cada una de las etapas del proceso y el punto central de dicho intervalo ⁽⁵⁾.

TABLA 12. CONSUMOS DE ENERGÍA TÉRMICA OBTENIDOS Y COMPARACIÓN CON EL BREF (TODOS LOS VALORES ESTÁN EXPRESADO EN kWh/T COCIDO Y REFERIDOS AL PCS)

	Estudio del sector español		BREF ⁽⁵⁾	
	Intervalo	Valor medio	Intervalo	Punto central ^(*)
Atomización	387-621	510 ± 23	339-679	509
Secado	97-160	125 ± 20	92-247	170
Cocción	578-1182	793 ± 14	586-1480	1033
TOTAL	1062-1963	1428 ± 57	1017-2406	1712

(*) El punto central se ha calculado como la media aritmética de los extremos del intervalo.

En la etapa de atomización, el intervalo de variación del consumo obtenido en el estudio es menor que el indicado por el BREF, si bien el valor medio de consumo es igual en ambos casos.

En las etapas de secado y cocción la amplitud del intervalo de consumos obtenidos en el estudio experimental es menor que el intervalo recogido en el BREF, y el valor medio del consumo en ambos casos es inferior al valor del punto central calculado a partir del intervalo indicado en el BREF.

En general, el estudio experimental muestra unos valores máximos de consumo en cada etapa inferiores a los valores máximos indicados en el BREF, de modo que el valor medio de consumo energético es menor que el punto central del intervalo mostrado en el BREF.

Estos datos indican que el sector español de fabricación de baldosas cerámicas utiliza las Mejores Tecnologías Disponibles, y que realiza una gestión eficaz de estas tecnologías ⁽⁶⁾, por lo que la capacidad de reducción del consumo y de las emisiones por unidad de producto a corto plazo está limitada y debe basarse en aplicar medidas de optimización de proceso y de ahorro energético ⁽⁷⁾. Una reducción significativa de consumos

TABLA 11. PARÁMETROS DE FUNCIONAMIENTO MEDIOS EN LA ETAPA DE COCCIÓN DE BALDOSAS CERÁMICAS PENSADAS EN HORNOS DE RODILLOS.

		Composición	Azulejo rojo	Azulejo blanco	Gres rojo	Gres blanco y porcelánico
MATERIAL	Espesor cocido (mm)		9,4 ± 0,3	10,5 ± 0,6	9,3 ± 0,2	9,7 ± 0,3
	Peso específico (kg/m ²)		16,4 ± 0,5	18,0 ± 1,0	19,7 ± 0,4	21,7 ± 0,6
	Humedad de entrada (%)		1,3 ± 0,1	0,9 ± 0,2	1,0 ± 0,1	0,6 ± 0,1
	Contenido en carbonatos (%)		13,1 ± 0,2	12,5 ± 0,6	3,3 ± 0,1	<0,5
	Pérdidas por calcinación (%)		9,9 ± 0,1	10,1 ± 0,3	5,5 ± 0,1	4,0 ± 0,1
FUNCIONAMIENTO	Producción	kg cocido/s	1,05 ± 0,09	0,93 ± 0,12	1,29 ± 0,10	1,10 ± 0,07
		m ² /día	5550 ± 420	4590 ± 700	5620 ± 420	4390 ± 280
	Duración del ciclo (minutos)		47 ± 2	59 ± 5	46 ± 1	57 ± 2
	Temperatura máxima (°C)		1126 ± 6	1144 ± 6	1147 ± 2	1192 ± 2
	Aprovechamiento del tapete (%)		82 ± 2	82 ± 3	83 ± 2	84 ± 1

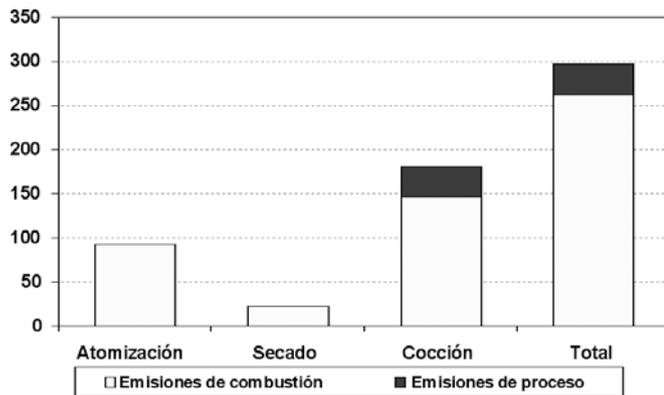


Figura 4. Emisiones medias de CO₂ (régimen estacionario)

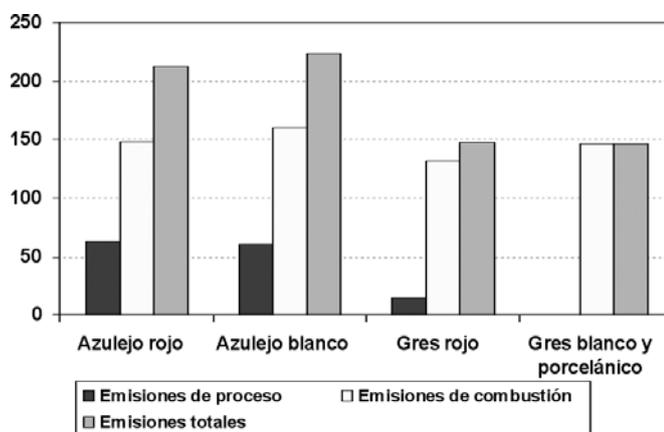


Figura 5. Emisiones de CO₂ en la etapa de cocción (régimen estacionario).

energéticos y emisiones de CO₂ sólo sería posible con un cambio tecnológico importante en los equipos consumidores de energía térmica y/o con la sustitución de las actuales fuentes de energía ⁽⁸⁾.

4.3.2. EMISIONES DE DIÓXIDO DE CARBONO

Las emisiones medias de CO₂ producidas en la fabricación de baldosas cerámicas se muestran en la tabla 13. Los datos mostrados corresponden a las emisiones originadas por la combustión de gas natural en cada una de las etapas del proceso, cuando el régimen de funcionamiento es estacionario. Las emisiones de proceso generadas en la etapa de cocción se presentan desglosadas por tipo de composición.

Los resultados mostrados en la tabla 13 se han representado gráficamente en la figura 4 y en la figura 5.

5. CONCLUSIONES

Las principales conclusiones del trabajo realizado son las siguientes:

- El 91,3% de la demanda final de energía del sector de fabricación de baldosas cerámicas y gránulo atomizado, corresponde al consumo de energía térmica, mientras que el consumo de energía eléctrica supone el 8,7% del consumo energético total.
- En el año 2008, el sector de fabricación de baldosas cerámicas emitió a la atmósfera 2,9 millones de toneladas de dióxido de carbono. El 91% de las emisiones fueron generadas por la combustión de gas natural en los sistemas de cogeneración y en los equipos de proceso y el restante 9% por la descomposición de los carbonatos presentes en las materias primas durante la etapa de cocción.
- En los dos tipos de empresas estudiadas (fabricantes de gránulo atomizado y fabricantes de baldosas cerámicas prensadas), el consumo específico de energía térmica y eléctrica corresponde, respectivamente, al 90% y 10% del consumo total de cada uno de los procesos.

TABLA 13. EMISIONES ESPECÍFICAS DE CO₂ EN EL PROCESO DE FABRICACIÓN DE BALDOSAS CERÁMICAS (KG CO₂/T COCIDO), EN RÉGIMEN ESTACIONARIO.

Etapa del proceso		Emisiones de combustión	Emisiones de proceso	TOTAL
Atomización		93 ± 4	-	93 ± 4
Secado		23 ± 2	-	23 ± 2
Cocción	Azulejo rojo	149 ± 5	64 ± 1	213 ± 5
	Azulejo blanco	161 ± 9	61 ± 3	222 ± 10
	Gres rojo	132 ± 3	15 ± 1	147 ± 3
	Porcelánico y gres blanco	147 ± 4	<1	147 ± 4
TOTAL	Azulejo rojo	265 ± 11	64 ± 1	329 ± 11
	Azulejo blanco	277 ± 15	61 ± 3	338 ± 18
	Gres rojo	248 ± 9	15 ± 1	263 ± 9
	Porcelánico y gres blanco	263 ± 10	<1	263 ± 10

- Las etapas con consumo de energía térmica en el proceso son el secado por atomización de las suspensiones cerámicas, el secado de soportes y la cocción de las baldosas. La etapa de cocción es la de mayor consumo (55% del consumo total), seguida de la atomización (36%) y el secado de soportes (9%).
- Se han determinado diferencias de consumo energético entre hornos que fabrican distintos productos de, aproximadamente, el 20%. Dado el elevado número de variables en esta etapa (espesores, contenido en carbonatos, ciclo, etc.) y que algunas no son independientes entre sí, del estudio realizado es difícil establecer con claridad los factores principales que motivan estas diferencias. Esta etapa debe estudiarse con mayor detalle para establecer la influencia de los diferentes variables sobre el consumo energético.
- Las emisiones de proceso (debidas a la descomposición de carbonatos) suponen alrededor del 19% de las emisiones totales de CO₂ durante la etapa de cocción, para composiciones de azulejo. En composiciones de gres rojo, la contribución de las emisiones de proceso sobre las totales es aproximadamente el 6%. Las emisiones de proceso de gres blanco y de gres porcelánico son despreciables frente a las de combustión, puesto que la cantidad de carbonatos en estas composiciones es muy baja.
- Los valores de consumos energéticos medios por etapas obtenidos en el estudio se sitúan en el intervalo indicado en el documento BREF de la Comisión Europea. Por lo que se concluye que la industria cerámica española está utilizando de forma generalizada las Mejores Técnicas Disponibles. Por otra parte, las variaciones de consumos y emisiones entre empresas son relativamente pequeñas, lo que parece indicar que aunque se pueden realizar una reducción de consumos significativa a nivel individual aplicando medidas de optimización de proceso y de ahorro energético, el margen de reducción a nivel sectorial parece relativamente estrecho. Una reducción

significativa de las emisiones sectoriales sólo parece posible con cambios tecnológicos importantes en los equipos consumidores de energía térmica y/o con la sustitución de las actuales fuentes de energía.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Decisión de la Comisión 2007/589/CE, de 18 de julio de 2007, por la que se establecen directrices para el seguimiento y la notificación de las emisiones de gases de efecto invernadero de conformidad con la Directiva 2003/87/CE del Parlamento Europeo y del Consejo.
2. Directiva 2003/87/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 13 de octubre de 2003, por la que se establece un régimen para el comercio de derechos de emisión de gases de efecto invernadero en la Comunidad y por la que se modifica la Directiva 96/61/CE del Consejo.
3. Directiva 2009/29/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 23 de Abril de 2009, por la que se modifica la Directiva 2003/87/CE, para perfeccionar y ampliar el régimen comunitario de comercio de derechos de emisión de gases de efecto invernadero.
4. Nassetti, G. et al. *Piastrelle ceramiche & energia: banca dati dei consumi energetici nell'industria della piastrelle di ceramica*. Bologna: Assopiastrelle, 1998.
5. *Reference Document on Best Available Techniques in the ceramic manufacturing industry*. Sevilla: European commission. European IPPC Bureau, 2007 http://ftp.jrc.es/eippcb/doc/cer_bref_0807.pdf [Consulta: 2009-06-25].
6. Escardino, A. El esfuerzo en innovación de la industria cerámica de la Comunidad Valenciana para reducir las emisiones de dióxido de carbono. EN: *Simposio internacional sobre el cambio climático, desde la ciencia a la sociedad*. Valencia: Generalitat Valenciana, 2005. pp. 121-133.
7. Criado, E. Reflexiones sobre el futuro de la Industria Europea de Cerámica. *Bol. Soc. Esp. Ceram. Vidr.*, 46(1), 39-43, 2007.
8. Cañadas, I. et al. Characterization results of a new volumetric receiver for high-temperature industrial process heat in a solar furnace. 1st International Congress on Heating, Cooling and Buildings. Lisboa (Portugal), 7-10 Octubre 2008.

AGRADECIMIENTOS

El estudio presentado ha sido financiado por la Agencia Valenciana de la Energía (AVEN) dentro del Convenio de Colaboración entre ASCER y AVEN, para promover la colaboración en materia de asesoramiento energético.

Asimismo, los autores del trabajo desean agradecer a las 55 empresas participantes en el proyecto su inestimable colaboración en la realización del presente estudio.

Recibido: 6-5-10
Aceptado: 13-7-10