

EL SECTOR CERÁMICO BRASILEÑO: CONSUMO DE ENERGÍA TÉRMICA Y EMISIONES DE CO₂

H. J. Alves, F. G. Melchiades y A. O. Boschi*

Laboratório de Revestimentos Cerâmicos (LaRC)
Departamento de Engenharia de Materiais (DEMa)
Universidade Federal de São Carlos (UFSCar)
Rod. Washington Luiz, Km. 235, 13574-970
São Carlos, SP, Brasil
daob@ufscar.br

RESUMEN

El coste de la energía térmica representa una de las mayores partidas del coste de producción de baldosas cerámicas y las emisiones de CO₂ resultantes de la actividad industrial son muy significativas. Cualquier mejora en la eficiencia de los procesos térmicos dará como resultado una reducción sustancial de los costes de fabricación y de las emisiones de CO₂. Dada la creciente importancia de estos temas, el medio ambiente y la competitividad, durante los últimos años se ha producido una cantidad significativa de información sobre el consumo de energía térmica en el sector de las baldosas cerámicas. Brasil es en la actualidad el segundo mayor productor y consumidor de baldosas cerámicas y las industrias cuentan con una diversidad considerable de instalaciones, procesos de fabricación (vía húmeda y vía seca), condiciones de operación y materias primas. En este escenario se ha llevado a cabo una encuesta en el sector cerámico brasileño con el objetivo de

obtener información que permita establecer correlaciones entre las características de la industria (proceso de fabricación, características de las instalaciones, condiciones de operación, principales materias primas, etc.) y el consumo térmico en cada etapa del proceso y la emisión total de CO₂. En este trabajo se presentan los resultados de esta encuesta, que podrán servir de guía en las medidas a tomar para aumentar la eficiencia térmica de las industrias y en la elección de nuevas instalaciones.

1. INTRODUCCIÓN

Brasil es el segundo mayor productor y el segundo mayor consumidor de baldosas cerámicas del mundo. El mercado interior brasileño es responsable del consumo de aproximadamente el 93% de su producción total¹ y la producción brasileña prevista para 2011 es de 802.5 millones de m². Como resultado del crecimiento de este sector, la demanda de combustible para generar la energía térmica consumida en las diferentes etapas de producción (secado, atomizado y cocción) ha aumentado significativamente. Estos datos se podrían utilizar como indicadores directos del aumento de la producción. Se estima que el consumo de energía térmica del sector es de 7.9×10^{11} kcal/mes y el principal combustible utilizado es el gas natural. A pesar de estas cantidades tan significativas, se dispone de escasa información acerca del consumo de energía del sector, excepto en países como España e Italia, que han ido recogiendo estos datos durante más de una década³⁻⁵. Es de destacar también que en Brasil se utilizan todavía dos procesos radicalmente diferentes para la fabricación de baldosas cerámicas (vía seca y vía húmeda) y que su parque tecnológico incluye máquinas y equipamientos de diferentes generaciones.

En general, los productos obtenidos por los procesos vía seca son baldosas cerámicas semiporosas de cocción roja que presentan una absorción de agua entre 6 y 10%. El proceso vía seca se caracteriza por la molienda vía seca (~5% de humedad – lo que suprime los atomizadores) y la monococción rápida (20-30 min).

La pasta obtenida mediante vía seca se distingue por su composición típica y el proceso de molienda/granulado. La composición se compone, en general, de una única arcilla o de una composición de arcillas similares, en las que hay una combinación natural de minerales capaz de generar el producto deseado. Las arcillas se extraen de la minas y se transportan en camiones para su secado natural en las eras. Su contenido en humedad se reduce hasta el 5% y se homogeneizan y trituran. Después, el material se lleva al molino. En la molienda vía seca, las materias primas se someten a una molienda primaria (molino de martillos) y la fracción gruesa se pasa por una molienda secundaria (molinos pendulares). El polvo resultante se humecta (~9% de agua) y se granula. Los pasos siguientes son similares a los del proceso vía húmeda.

Un estudio preliminar llevado a cabo durante 2007⁶ y 2008⁷ en varias compañías del sector en Brasil reveló la existencia de grandes diferencias de consumo de energía térmica entre ellas y también entre máquinas que operaban en la misma planta, posiblemente debido a sus características constructivas y condiciones de operación.

Como el coste de energía representa una gran parte de los costes de producción de baldosas cerámicas y las emisiones de CO₂ durante la fabricación son bastante relevantes, es esencial conocer el consumo térmico en estas empresas. Este conocimiento es importante para poder introducir las acciones correctoras correspondientes relacionadas con las condiciones de operación del equipamiento, evitar el derroche de energía y definir las inversiones efectivas en el nuevo equipo. Sin embargo, hay pocos datos sobre el consumo térmico en la fabricación de baldosas cerámicas que tengan en cuenta las particularidades del proceso, la diversidad de los equipos, las condiciones de operación y las características de las materias primas que se deben considerar para estimar las emisiones de CO₂ con precisión.

Este artículo presenta los resultados de un trabajo sistemático llevado a cabo en Brasil para determinar el consumo de gas natural en hornos, secaderos y atomizadores en industrias de baldosas cerámicas. Los datos obtenidos se procesaron y organizaron de acuerdo con el tipo de producto, etapas de producción y tecnologías de fabricación. Los resultados constituyen una base de datos sobre consumo térmico y emisiones de CO₂ relacionados con la fabricación de baldosas cerámicas en Brasil, revelando las peculiaridades encontradas en este campo.

2. METODOLOGÍA

La selección de las empresas que participarían en la encuesta se basó en su volumen de producción en m²/mes, proceso de producción (vía seca o vía húmeda), tipo de producto, etc. De acuerdo con esta selección, el total de la producción de estas empresas suponía aproximadamente el 20% de la producción nacional de baldosas cerámicas (en m²) y el 35% de la producción de polvo atomizado (en toneladas). Estas empresas están localizadas en los estados de São Paulo y Santa Catarina.

En primer lugar se hicieron visitas iniciales a las empresas que mostraron interés en participar en la encuesta. El propósito de estas visitas era comprobar las plantas y sus instalaciones; verificar las condiciones de operación de los equipos que funcionaban con gas; comprobar la localización de las instalaciones del gaseoducto y ver cómo funcionaban los indicadores de consumo (manómetros y caudalímetros de gas natural); proponer acciones correctoras para asegurar la precisión de los manómetros, en caso necesario; establecer junto con los operarios de las máquinas los puntos en que se deberán tomar las medidas y su frecuencia; y recoger datos generales sobre los equipos y los productos fabricados.

La mayor parte de las plantas registró los valores de presión, volumen y temperatura del gas natural consumido tres veces al día durante un mes. Los datos así generados se trataron y ajustaron (normalizados)³, proporcionando información sobre el consumo real de energía térmica de cada equipo monitorizado. En base a la información acerca del producto, volumen de producción y condiciones de operación de hornos, secaderos y atomizadores, se estableció una base de datos que contenía datos sobre el consumo de energía térmica en la fabricación de baldosas cerámicas, permitiendo comparar entre varios tipos de productos, distintos tipos de proceso, etc.

Además se calcularon las emisiones de CO₂ procedentes de la combustión de gas natural a partir del poder calorífico y del factor de emisión del combustible. La emisión durante la cocción del CO₂ procedente de los minerales carbonatados se calculó a partir del contenido en carbonatos de las piezas y de su volumen de producción. Las emisiones producidas por la materia orgánica no se consideraron en este trabajo.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se monitorizó un total de 28 hornos, 21 secaderos y 11 atomizadores distribuidos en nueve plantas. A partir de los datos se estimó el consumo medio de cada planta (tabla I) a partir de la suma del consumo medio de gas natural de los secaderos, hornos y atomizadores. Estos valores se expresaron en kcal/kg, para poder determinar la cantidad de energía consumida en el procesado de una cierta cantidad de masa de material y establecer comparaciones directas entre productos con diferentes espesores. En la mayoría de las plantas de producción por vía seca, el control del consumo de energía térmica se centró en las instalaciones que producían baldosas del tipo BIIb con unas dimensiones nominales de 43x43 cm y un espesor de 7.0 mm. En las plantas que producen vía húmeda, debido a la mayor variedad de tipos de baldosas producidas, fue imposible monitorizar máquinas que produjeran exactamente el mismo tipo de producto.

3.1. Consumo de energía térmica

Los datos de la tabla I revelan diferencias significativas en el consumo térmico específico de las empresas que participaron en esta encuesta. Estas diferencias se encontraron no sólo entre fabricantes con procesos distintos (vías húmeda y seca) sino también entre los que utilizan el mismo proceso. Un análisis del consumo en procesos vía seca indica que la diferencia entre los procesos que presentan los valores más altos y más bajos, D y C respectivamente, fue mayor que 100 kcal/kg; en otras palabras, el consumo de la empresa D fue un 17,4% más alto que el de la C. El mismo análisis aplicado a los resultados obtenidos en las plantas de vía húmeda indicó aún mayores diferencias en el consumo, que excedían el 30,0% (el consumo de la empresa I fue un 32% mayor que el de la empresa F). Es de desta-

car además que la principal razón de la discrepancia en el consumo medio de energía térmica de los procesos vía húmeda y vía seca era la presencia del atomizador en el proceso vía húmeda.

Tipo de proceso	Empresa	Consumo específico (kcal/kg)
Vía seca	A	644.9
	B	613.8
	C	578.4
	D	677.6
	E	608.6
Vía húmeda	F	901.5
	G	1047.0
	H	1140.0
	I	1190.0

Tabla I – Consumo térmico medio de las plantas que participaron en la encuesta

Para facilitar la interpretación del gran número de datos obtenidos, éstos se agruparon como sigue:

- Consumo total por tipo de producto (fig. 1);
- Consumo de la maquinaria por tipo de producto (figs. 2, 3 y 4);
- Consumo de la maquinaria por tipo de proceso (figs. 5 y 6).

Se ha asignado los siguientes acrónimos a los tipos de producto evaluados:

- SP = Semi-porcelánico
- TP = Porcelánico técnico
- EP = Porcelánico esmaltado
- RSF = Monococción roja
- WSF = Monococción blanca
- MP = Monoporosa

En la mayor parte de las figuras que representan el consumo por tipos de productos y por máquinas se ve una línea en lugar de una barra. En estos casos, la línea indica que la representatividad del resultado es más baja, en vista del bajo número de máquinas monitorizadas.

En base a los resultados presentados en las figuras 1 a 4, se puede afirmar que hay diferencias sustanciales en el consumo térmico específico en función del tipo de baldosa cerámica que se fabrica. Nótese también que hay máquinas que producen el mismo tipo de producto pero con consumos específicos muy diferentes, indicando la posibilidad de mejoras en términos de reducción del consumo de energía térmica del proceso.

En la figura 1, el consumo de gas natural (NG) implicado en la producción de baldosas RSF es bajo, aunque el proceso de secado de este tipo de producto consume la mayor cantidad de energía. En este caso, el menor consumo de los hornos (fig. 2) y la ausencia de atomizadores aseguran el bajo consumo total. El tipo de producto que requiere el mayor consumo de energía térmica es WSF, principalmente debido al elevado consumo de los hornos (fig. 3) y de los atomizadores (fig. 4).

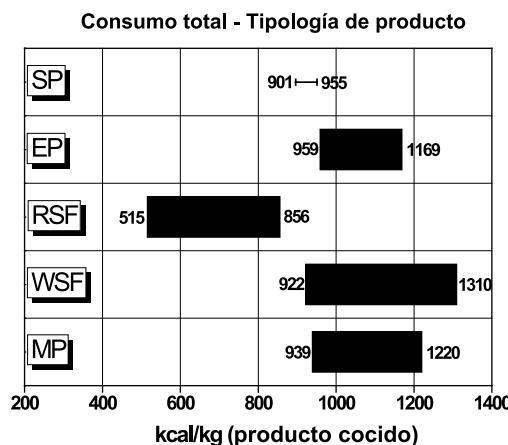


Fig. 1 – Consumo térmico específico por tipología de producto.

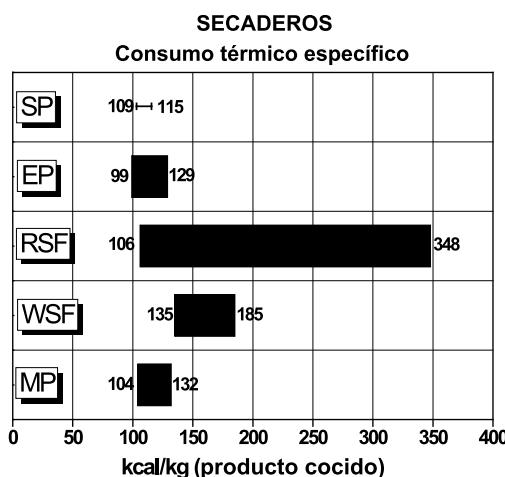


Fig. 2 – Consumo térmico específico de los secaderos por tipología de producto.

Es de destacar que los hornos utilizados para cocer el producto del tipo MP presentaban el consumo térmico específico más alto (fig. 3), incluso superando el consumo de los hornos que producen productos WSF. Una posible explicación del hecho de que los hornos utilizados para la producción de EP consumen menos energía térmica que los que producen WSF y MP pueden ser las diferentes generaciones de máquinas utilizadas, porque las líneas de producción usadas para la fabricación de porcelánico en Brasil son generalmente más modernas que las utilizadas para otros tipos de productos.

En cuanto a los atomizadores evaluados en esta encuesta, se encontró una variabilidad significativa en el consumo según el tipo de producto, siendo el consumo térmico de algunos un 50% más alto que el de los atomizadores más económicos (fig. 4).

Las figuras 5 y 6 muestran el consumo de secaderos y hornos respectivamente, según la tecnología de fabricación de las baldosas cerámicas. El mayor consumo de secaderos en el proceso vía seca (fig. 5) se puede atribuir al mayor contenido en la humedad de prensado de estos tipos de productos en el Brasil y a las altas temperaturas empleadas para la rápida eliminación de agua en ciclos cortos, lo que asegura una alta productividad. Las mayores discrepancias se encontraron en el consumo específico de los secaderos utilizados en el proceso vía seca, en el que algunos de ellos consumen tres veces más que los más eficientes energéticamente.

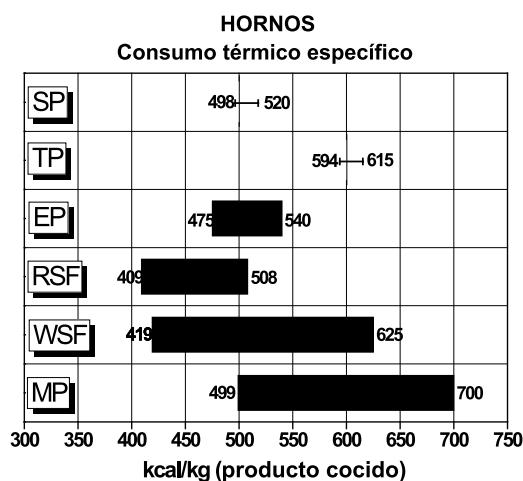


Fig. 3 – Consumo térmico específico de los hornos por tipología de producto.

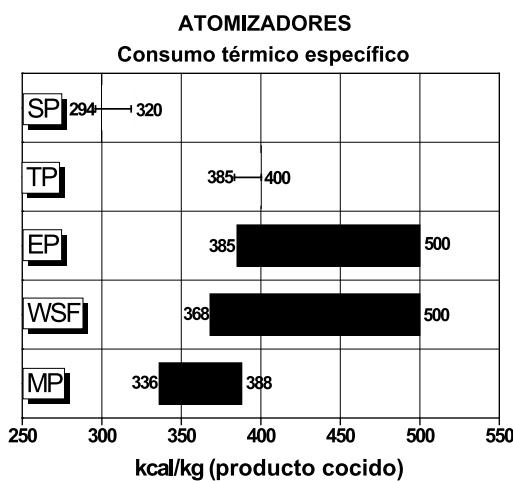


Fig. 4 – Consumo térmico específico de los atomizadores por tipología de producto.

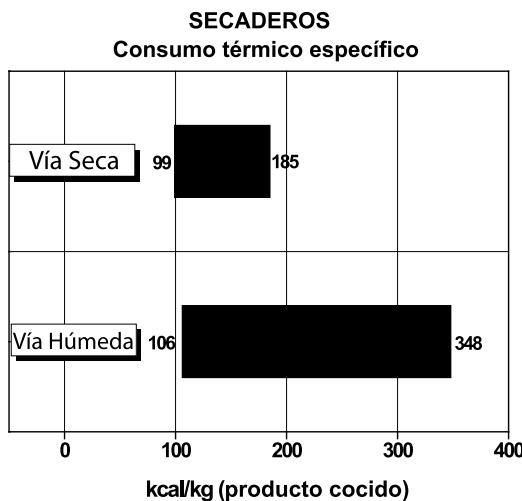


Fig. 5 – Consumo térmico específico de los secaderos por tipo de proceso.

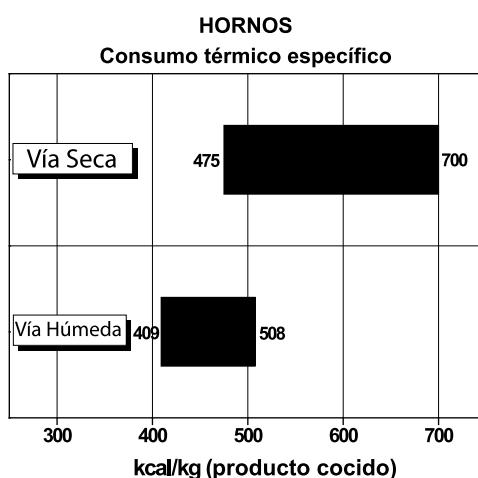


Fig. 6 – Consumo térmico específico de los hornos por tipo de proceso

En la fig. 6 se aprecia que los hornos del proceso vía húmeda presentaban generalmente un consumo específico más alto que el del proceso vía seca. Como la mayoría de los que se utilizan en el proceso vía húmeda en Brasil, estos equipos son de épocas anteriores a los que se usan para la vía seca, lo que puede explicar su mayor consumo. Además, los productos que se fabrican vía húmeda tienen ciclos térmicos más largos y temperaturas más altas que los de vía seca. En general, el soporte que se usa en el proceso vía seca en Brasil consiste exclusivamente en arcillas rojas muy fundentes, lo que permite el uso de bajas temperaturas de cocción y ciclos muy rápidos.

La tabla II muestra los datos relacionados con las condiciones de operación de los hornos estudiados, las emisiones de CO₂ durante la cocción y las características finales de los productos en función de su tipología.

	MATERIAL		OPERACIÓN		PRODUCTO FINAL		
	Contenido en carbonatos (%)	Perdida por calcinación (%)	Duración del ciclo (min)	Temperatura máxima (°C)	Absorción de agua (%) **	Espeso (mm)	Peso específico (kg/m²)
Tipología	Monoporosa	14.0 ± 1.0	12.0 ± 0.6	36 ± 2	1152 ± 7	> 10.0	8.5 ± 0.2
	Semi-porcelánico	1.8 ± 0.8	4.6 ± 0.2	33 ± 3	1170 ± 10	0.5 – 6.0	9.0 ± 0.3
	Porcelánico	1.0 ± 0.7	4.0 ± 0.4	45 ± 7	1205 ± 15	≤ 0.5 *	9.5 ± 0.4
	Monococción blanca	1.5 ± 0.5	4.4 ± 0.4	30 ± 2	1175 ± 12	6.0 – 10.0	8.0 ± 0.2
	Monococción roja	1.0 ± 0.5	4.0 ± 0.5	23 ± 3	1140 ± 10	6.0 – 10.0	7.0 ± 0.5

(*)Según la NBR 15463/2007, el porcelánico técnico debería tener una absorción de agua ≤ 0.1.

(**) Intervalos de absorción de agua para la clasificación de productos según ISO 13006.

Tabla II – Parámetros medios de operación de la etapa de cocción en estado estacionario – baldosas cerámicas prensadas.

La tabla III muestra los valores medios de consumo de energía térmica en las etapas de secado, cocción y atomización obtenidos en este estudio. Los resultados de la tabla III indican que el consumo de energía térmica en el proceso vía húmeda es, en promedio, mucho mayor que en el de vía seca (aproximadamente el 70%). Esto es debido principalmente al mayor consumo implicado en la etapa de atomización de la vía húmeda. Además, el mayor consumo de los hornos en el proceso vía húmeda también contribuye a esta diferencia significativa entre los dos procesos.

Como el consumo específico está directamente relacionado con el consumo de NG, se puede establecer que, dadas las particularidades de los fabricantes brasileños implicados en este estudio, los consumos de energía térmica en el proceso vía seca son mucho más bajos que en el proceso vía húmeda.

	Estudio del sector brasileño			
	Vía seca (kcal/kg de producto cocido*)		Vía húmeda (kcal/kg de producto cocido *)	
	Intervalo	Valor medio	Intervalo	Valor medio
Atomizado	-	-	294 – 500	424 ± 78
Secado	106 – 348	182 ± 70	98 – 185	126 ± 24
Cocción	409 – 508	451 ± 38	475 – 700	536 ± 57
Total	515 – 856	634 ± 109	868 – 1385	1085 ± 160

* Los valores se determinaron en base al poder calorífico inferior (PCI) del gas natural.

Tabla III –Consumo de energía térmica en los procesos vía seca y vía húmeda.

De acuerdo con los resultados, el consumo de energía térmica en el proceso de secado se divide en un 71% en la etapa de cocción y un 29% en la etapa de secado, indicando que el consumo térmico en los hornos es aproximadamente 2.4 veces mayor que en los secaderos. En el proceso vía húmeda, la etapa de atomizado es la responsable del 39% del consumo total de energía térmica y el consumo de los hornos es 4.1 veces mayor que el de los secaderos.

3.2. Las emisiones de CO₂

La tabla IV muestra las emisiones medias de CO₂ de la producción de baldosas cerámicas en Brasil. Estos datos están relacionados con las emisiones de combustión de gas natural en las diferentes etapas durante el proceso de fabricación en estado estacionario. Las emisiones de CO₂ durante la cocción (emisiones de combustión y proceso) se clasifican por tipo de producto, como muestra la fig. 9.

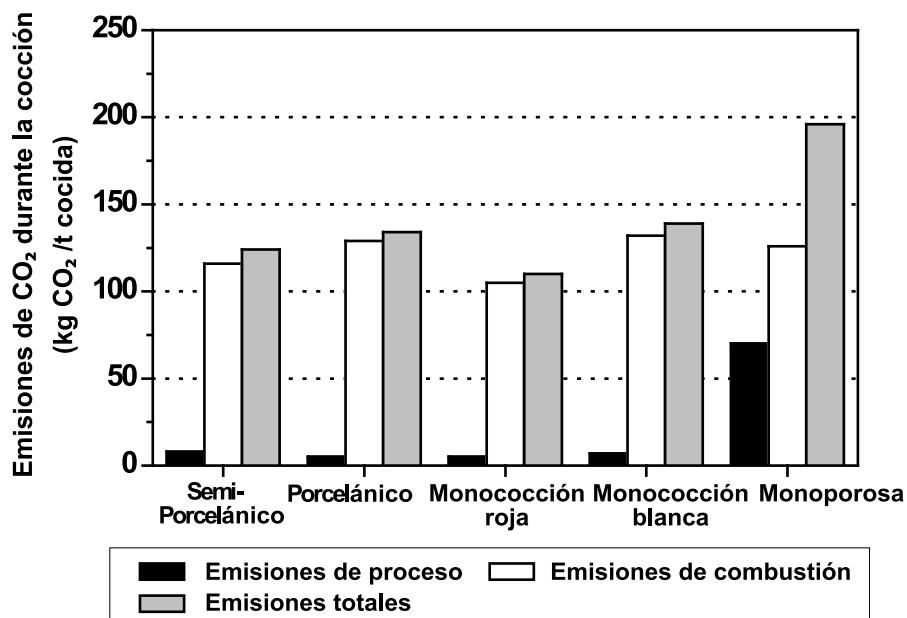
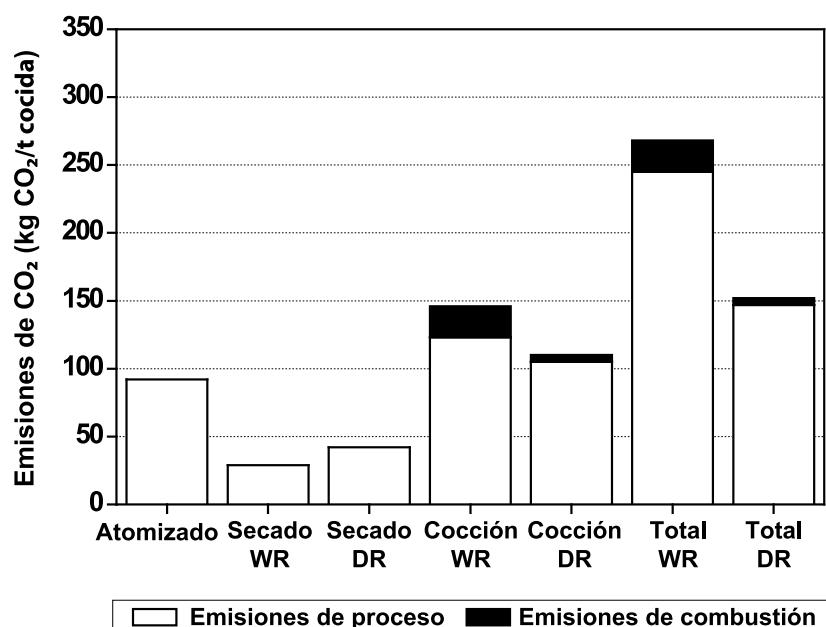
Las emisiones de la producción de baldosas por vía seca son mucho menores que las producidas por el proceso vía húmeda. La cocción a temperaturas más bajas y los menores contenidos en carbonatos de las materias primas pueden explicar los resultados. En consecuencia, el proceso vía húmeda tiene niveles más bajos de emisiones de CO₂: combustión y proceso (tabla IV y fig. 10).

De acuerdo con los datos que se presentan en la tabla V, el proceso vía seca emite casi el 50% menos de CO₂ por tonelada de baldosas cerámicas producidas comparado con el proceso vía húmeda. Los factores responsables de estos resultados son: ausencia de atomizado, temperaturas de cocción más bajas, ciclos de cocción más cortos y menor contenido en carbonatos de las materias primas.

Etapa del proceso		Emisiones de combustión *		Emisiones de proceso *		TOTAL	
		Vía húmeda	Vía seca	Vía húmeda	Vía seca	Vía húmeda	Vía seca
Atomizado		99 ± 5	-	-	-	99 ± 5	-
Secado		29 ± 2	42 ± 4	-	-	29 ± 2	42 ± 4
Cocción	Monoporosa	126 ± 11	-	70 ± 3	-	196 ± 12	-
	Semi-porcelánico	116 ± 2	-	8 ± 2	-	124 ± 2	-
	Porcelánico	129 ± 5	-	5 ± 1	-	134 ± 5	-
	Monococción roja(esmaltada)	-	105 ± 6	-	5 ± 1	-	110 ± 6
	Monococción blanca(esmaltada)	132 ± 8	-	7 ± 1	-	139 ± 8	-
TOTAL	Monoporosa	254 ± 18	-	70 ± 3	-	324 ± 20	-
	Semi-porcelánico	244 ± 9	-	8 ± 2	-	252 ± 9	-
	Porcelánico	257 ± 12	-	5 ± 1	-	262 ± 12	-
	Monococción roja(esmaltada)	-	147 ± 10	-	5 ± 1	-	152 ± 10
	Monococción blanca(esmaltada)	260 ± 15	-	7 ± 1	-	267 ± 15	-

* En Brasil, el factor de emisión para gas natural es de 183 g CO₂/kWh.

Tabla IV – Emisiones específicas de CO₂ en el proceso de fabricación de baldosas cerámicas para vía seca y húmeda (kg CO₂/t cocida), en estado estacionario.

Fig. 9 - Emisiones de CO₂ en la etapa de cocción (estado estacionario).Fig. 10 -Emisiones medias de CO₂ (estado estacionario).

	Emisiones de CO ₂ (%)			Emisiones específicas (kg CO ₂ /t cocida)	Emisiones específicas (kg CO ₂ /m ² cocido)
	Emisiones de combustión	Emisiones de proceso	Total		
Vía húmeda	90	10	100	285	4.81
Vía seca	97	3	100	152	2.13

Tabla V - Emisiones específicas totales de CO₂ en los procesos de fabricación de baldosas cerámicas vía húmeda y seca (kg CO₂/t cocida).

4. CONCLUSIONES

En base a los resultados de esta encuesta, se pueden extraer las siguientes conclusiones:

- Hay numerosas discrepancias en el consumo de energía térmica entre plantas que usan el mismo tipo de proceso y que producen el mismo tipo de producto. Estas discrepancias se pueden atribuir a los diferentes tipos de equipamiento (tecnología, dimensiones y fabricante) y sus diferentes condiciones de operación. En este contexto, hay un margen significativo para la reducción del consumo de energía térmica en la fabricación de baldosas cerámicas.
- El consumo de energía térmica en procesos vía húmeda es aproximadamente un 70% más alto que en vía seca debido al incremento de la etapa de atomizado y al elevado consumo de energía de los hornos. Aunque los secaderos en vía seca consumen más energía, los hornos utilizados en este tipo de proceso muestran un consumo medio más bajo que los utilizados en vía húmeda. Estos resultados se deberían analizar teniendo en cuenta las peculiaridades de la vía seca en Brasil, que comúnmente utiliza equipos más antiguos y arcillas muy específicas en términos de comportamiento en la cocción.
- En los procesos vía húmeda, el consumo total de energía se distribuye como sigue: 49% en cocción, 39% en atomizado y 12% en secado. Por otra parte, en vía seca la distribución es del 71% en cocción y 29% en secado. La relación entre el consumo del horno y del secadero es diferente en función del tipo de proceso. El consumo térmico de los hornos en la vía húmeda es 4.1 veces más alto que el de los secaderos, mientras en la vía seca este consumo es 2.4 veces más alto.
- Entre los tipos de baldosas cerámicas evaluadas, las baldosas WSF (monococción blanca) presentaban el mayor consumo de energía térmica y las RSF (monococción roja) el más bajo. Entre los tipos fabricados por vía húmeda, las baldosas SP (semi-porcelánico) presentaban el menor consumo. Es de destacar que en esta encuesta se monitorizaron máquinas de diferentes generaciones y que aunque estos resultados reflejan la realidad del parque industrial brasileño, pueden diferir significativamente en función de las características del soporte (barbotina de pasta) y de las máquinas usadas en la fabricación de un mismo producto.
- El proceso vía seca presenta las emisiones más bajas debido a la ausencia de atomizadores y al bajo contenido en carbonatos de las materias primas. Como consecuencia de este hecho, se produjo un progresivo incremento de la producción de baldosas cerámicas en Brasil con una reducción de emisiones específicas de CO₂, debido al predominio del proceso vía seca en la producción brasileña de baldosas cerámicas.

En general, los resultados de esta encuesta indican que el uso de gas natural por los fabricantes de baldosas cerámicas brasileños podría ser más eficiente. La información obtenida a partir de la gestión del consumo de energía puede contribuir significativamente a las decisiones estratégicas de los fabricantes, que se traducen en una mayor eficiencia energética y, por ende, en una reducción de los costes de energía.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] ANFACER – Associação Nacional de Fabricantes de Cerâmica de Revestimento. Disponível em www.anfacer.org.br. Data da consulta: 27/08/2011.
- [2] Enrique, J. E., et al. Evolución de los consumos de energía térmica y eléctrica en el sector de baldosas cerámicas. **Técnica Cerámica**, n. 246, España, 2006.
- [3] Nassetti, G., et al. **Piastrelle Ceramiche & Energia**. p. 20, 109-113, Centro Ceramico, Bologna, Itália, 1998.
- [4] Crasta, G. P. Costi e ricavi dell'industria ceramica italiana. **Ceramic World**, v. 16, n. 65, p. 46-50, 2006.
- [5] Monfort, E., et al. Análisis de consumos energéticos y emisiones de dióxido carbono en la fabricación de baldosas cerámicas. In: **Congreso Mundial de la Calidad del Azulejo y del Pavimento Cerámico – Qualicer**, 10, 2010, Castellón, España.
- [6] Alves, H. J.; Melchiades, F. G.; Boschi, A. O. Levantamento inicial do consumo de energias térmica e elétrica na indústria brasileira de revestimentos cerâmicos. **Cerâmica Industrial**, v. 12, n. 1/2, p. 17-21, 2007.
- [7] Alves, H. J.; Melchiades, F. G.; Boschi, A. O. Consumo de gás natural na indústria de revestimentos cerâmicos brasileira. **Cerâmica**, v. 54, p. 326-331, 2008.