

## Estudo em Escala Piloto da Influência das Variáveis de Queima sobre a Curvatura de Placas Cerâmicas por Monoqueima

**S. Giménez\*, G. Beltrán\*, S. Horrillo\*\*,  
G. Mallo\*\*\*, V. Cantavella\*\*\* e M.J. Daroca\*\*\***

\* *Wendel Email Ibérica, S.A.;*

\*\* *Proying XXI, S.A.;*

\*\*\* *Instituto de Tecnología Cerámica (ITC) – España*

**Resumo:** A falta de planaridade das placas cerâmicas é originada fundamentalmente durante a queima. Isto se deve às particularidades dos ciclos térmicos empregados, ao fato de serem constituídas por camadas de diferentes materiais e ao próprio sistema de transporte das peças.

Na bibliografia se encontram numerosas referências dedicadas a este tema, mas a falta de equipamentos adequados fez com que os estudos realizados ficassem restritos a ensaios de laboratório, modelamentos matemáticos mais ou menos complexos e limitadas observações em escala industrial.

No presente trabalho realizou-se um estudo sistemático, em escala semi-industrial, das influências das variáveis de queima sobre a curvatura de placas cerâmicas. Isto foi possível graças ao uso de um forno piloto descontínuo especialmente desenvolvido.

**Palavras-chaves:** *placas cerâmicas, planaridade, queima*

### Antecedentes

Uma das qualidades mais apreciadas nas placas cerâmicas é a sua planaridade. Esta característica é um requisito indispensável para estes produtos, cuja finalidade é revestir paredes (revestimentos) e solos (pavimentos) para melhorar sua qualidade higiênica e estética. Não obstante, durante o processo de fabricação de placas cerâmicas existem vários fatores que podem alterar sua forma plana. Especialmente quando se trata de peças conformadas por prensagem seguindo um processo produtivo típico de monoqueima.

Na fabricação de placas cerâmicas por monoqueima as placas conformadas são submetidas, nas sucessivas etapas produtivas, a diversas operações<sup>1</sup> que comprometem sua forma plana. Isto se deve tanto à natureza dos suportes como às operações a que são submetidos. Em particular, existe uma ampla bibliografia<sup>4-12</sup> relativa a diversos fatores que, durante a queima dos revestimentos, influenciam sua forma plana. Na realidade, a experiência industrial<sup>7</sup> mostra que esta última etapa do processo de fabricação exerce uma influência mais significativa sobre esta característica.

Não obstante, os estudos até agora publicados sobre este tema correspondem a trabalhos efetuados em condições de laboratório e nos quais, em resumo, se realizam limitadas observações em condições industriais. Estas limitações não eram casuais, mas sim uma verdadeira imposição das necessidades produtivas no âmbito industrial; que determina a margem de atuação sobre as variáveis empregadas e, conseqüentemente, a possibilidade de efetuar estudos com a amplitude e o rigor necessários para obter um conhecimento detalhado e preciso, que permita quantificar a influência das variáveis de queima sobre a curvatura final dos revestimentos.

Torna-se evidente, então, a necessidade de dispor de fornos que, operando em escala piloto, permitam um estudo detalhado das diferentes questões relacionadas ao processo de queima. Recentemente, constatou-se que mediante o uso de um forno piloto descontínuo<sup>5</sup> é possível reproduzir, com alta fidelidade, as condições de queima empregadas na indústria.

No presente trabalho utilizou-se um forno piloto com estas características para estudar a influência que as variáveis mais significativas da etapa de queima exercem

sobre a curvatura de revestimentos obtidos por monoqueima.

## Objetivo e Alcance Deste Estudo

O objetivo do presente estudo é duplo: por uma parte, constatar que o forno piloto descontínuo empregado é uma ferramenta suficientemente precisa para estudar a evolução da curvatura dos revestimentos durante sua queima.

Por outra parte, e uma vez comprovado o primeiro objetivo, se deseja avaliar a influência que o ciclo térmico empregado na produção das placas cerâmicas exerce sobre a curvatura. Esta parte do estudo é centrada particularmente nas etapas do ciclo térmico que habitualmente são reconhecidas como as mais efetivas para o ajuste da curvatura. São elas: pré-aquecimento, no intervalo de temperaturas compreendido entre 750 °C e 1000 °C, queima, que corresponde à zona de máxima temperatura, tipicamente compreendida entre 1110 e 1140 °C e, por último, o intervalo de temperaturas próximas à de acoplamento do esmalte, durante o resfriamento.

## Materiais, Equipamento e Procedimento Experimental

### Materiais

Para a realização deste estudo foram empregados dois tipos de suporte de monoqueima: suporte para pavimento e suporte para revestimento, ambos de cor de queima vermelha, cujas curvas de expansão térmica são mostradas nas figuras 1 e 2. Utilizou-se, adicionalmente, um engobe e dois vidrados: um transparente e um opaco.

O suporte de pavimento foi confeccionado nas dimensões de 350 X 350 mm a verde, e sua densidade aparente era de 2,10 g/cm<sup>3</sup>. O suporte de revestimento foi confeccionado nas dimensões 330 X 450 mm e densidade aparente a

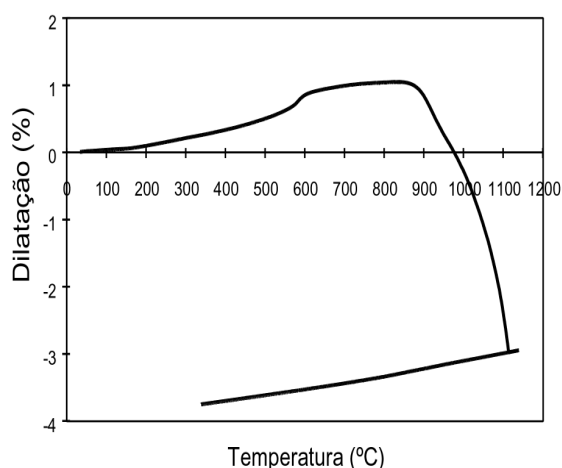


Figura 1. Curva de expansão térmica do suporte para pavimento.

verde de 1,95 g/cm<sup>3</sup>. Ambos os tipos de suporte foram elaborados industrialmente.

Com relação aos vidrados, a informação mais relevante para o estudo que aqui se apresenta são suas curvas de expansão térmica, apresentadas na Figura 3.

### Equipamentos

#### Equipamento de laboratório

As curvas de expansão térmica foram determinadas mediante o uso de um dilatômetro absoluto, calibrado com um padrão de safira. O procedimento experimental desta técnica de medida é descrito pela bibliografia<sup>12</sup>.

A medida da curvatura e dos perfis de cada um dos lados dos revestimentos realizou-se mediante um equipamento de medida tridimensional, sendo o espaçamento entre cada ponto de medida de 20 mm.

#### Equipamento em escala piloto. Planta de esmaltação

Para a moagem dos esmaltes e do engobe foi utilizado um moinho de bolas descontínuo, com uma carga nominal de 150 kg de sólido seco. A aplicação do engobe e dos esmaltes foi realizada em uma linha de esmaltação dotada

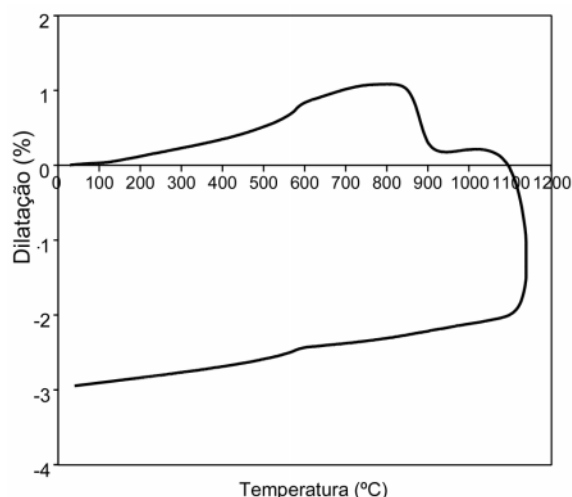


Figura 2. Curva de expansão térmica do suporte para revestimento.

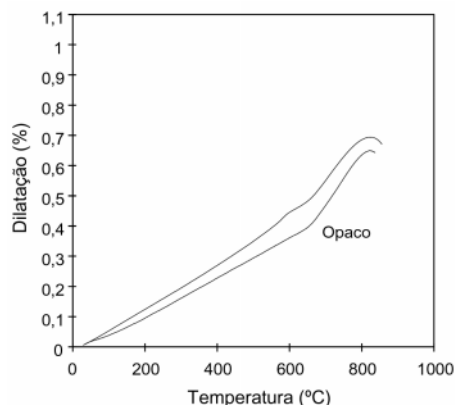
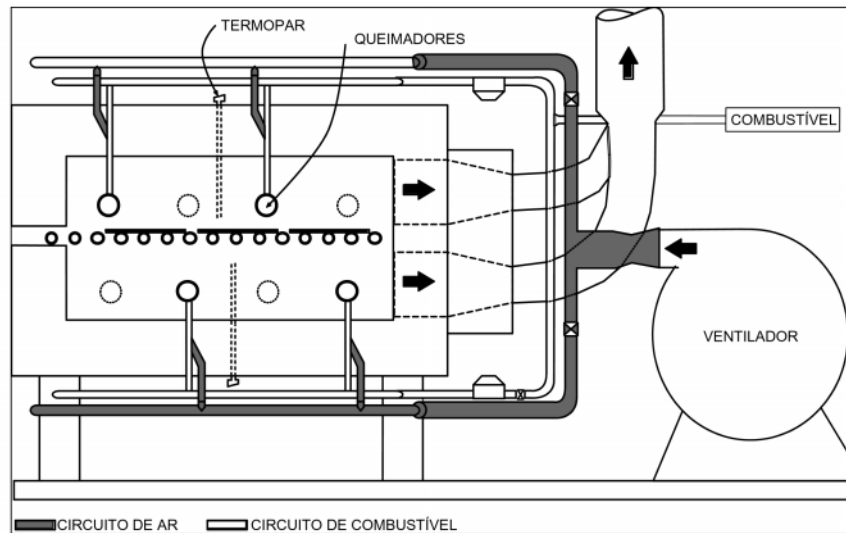


Figura 3. Curvas dilatométricas dos vidrados.



**Figura 4.** Esquema do forno piloto.

de campanas com 500 mm de diâmetro e cabina de umidificação, com controle da velocidade de esmaltação mediante motovariadores. Próximo à linha de esmaltação havia uma estufa elétrica que permitia manter os suportes cerâmicos na temperatura desejada.

A operação de esmaltação das placas foi feita em condições de densidade, viscosidade e espessura de camada tipicamente empregadas na indústria.

#### Equipamento em escala piloto. Forno

A queima das placas foi realizada em um forno piloto descontínuo. O forno está equipado com oito queimadores de alta velocidade e funcionamento intermitente. As peças, apoiadas sobre rolos cerâmicos movimentados por um sistema de engrenagens, se movem em vai-e-vem no interior da câmara de queima, simulando o movimento em um forno industrial contínuo.

Neste forno, as peças são alimentadas manualmente, através da porta situada em um dos extremos do mesmo. No extremo oposto se encontra o coletor dos gases de combustão e a chaminé de exaustão.

A superfície interna útil do forno, no plano dos rolos, é de 2 m<sup>2</sup>. O comprimento total do forno, incluindo ventilador e o quadro elétrico é de 6 m e sua altura, excluindo a chaminé, é de 2,2 m.

O material de isolamento térmico empregado na construção do forno foi o bloco de fibra refratária. Este material tem boas características para o isolamento térmico e ao mesmo tempo apresenta uma baixa inércia, o que permite realizar ciclos térmicos rápidos. Detalhes mais precisos sobre as características deste forno e seu funcionamento podem ser encontrados na bibliografia<sup>5</sup>.

#### Procedimento Experimental

Como é sabido, a forma comum de modificar a curvatura das placas durante a queima é gerar um gradiente de temperatura entre as superfícies superior e inferior. É sabido ainda, pela experiência industrial, que o efeito que um determinado gradiente de temperatura pode exercer sobre a curvatura dos revestimentos também depende da temperatura na qual se encontram as superfícies no momento em que se provoca esse gradiente.

Assim, com o objetivo de avaliar a influência que exercem ambos fatores, foram realizados os ensaios descritos nos subtítulos seguintes. As queimas para o estudo das etapas de pré-aquecimento e de queima foram realizadas com o suporte sem esmalte nem engobe. Foram utilizados suportes esmaltados apenas nos experimentos sobre a etapa de resfriamento. Este procedimento permite isolar a influência da queima e do acoplamento dos esmaltes<sup>11,12</sup>.

#### Experimentos sobre a etapa de pré-aquecimento

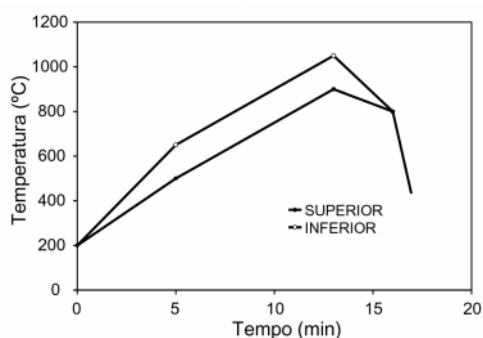
Para avaliar a influência do gradiente térmico na etapa de pré-aquecimento para ambos os suportes, foram realizados ciclos térmicos semelhantes aos mostrados na figura 5 (exclusivamente a etapa de pré-aquecimento), cujas características mais relevantes são que a diferença de temperatura entre ambas as câmaras superior e inferior se mantinha praticamente constante e igual a 150 °C enquanto durava o tratamento térmico, e que o resfriamento se iniciava rapidamente uma vez alcançada a temperatura máxima desejada em cada câmara. Na tabela 1 pode ver-se resumidamente os pares de valores de temperatura máxima alcançada na câmara inferior (Temperatura inferior) e na câmara superior (Temperatura superior), para cada um dos ciclos térmicos experimentados.

**Tabela 1.** Variações nos ciclos de pré-aquecimento. Pavimento e revestimento.

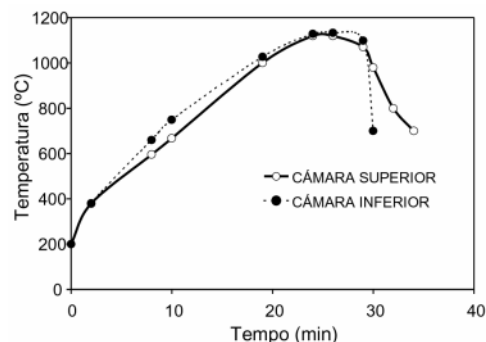
Pavimento				Revestimento			
Ciclo	Temperatura inferior (°C)	Temperatura Superior (°C)	Temperatura Média (°C)	Ciclo	Temperatura inferior (°C)	Temperatura Superior (°C)	Temperatura Média (°C)
GP3	1000	850	925	PP2	900	750	825
GP6	1050	900	975	PP3	950	800	875
GP4	1100	950	1025	PP4	1000	850	925
GP5	1150	1000	1075	PP5	1050	900	975
GP7	850	1000	975	PP6	700	850	775
GP8	900	1050	975	PP7	750	900	825
GP9	950	1100	1025	PP8	800	950	875
GP10	1000	1150	1075	PP9	850	1000	925
				PP10	900	1050	975

**Tabela 2.** Variações dos ciclos na etapa de queima. Pavimento e revestimento.

Pavimento				Revestimento			
Ciclo	Temperatura inferior (°C)	Temperatura Superior (°C)	Temperatura Média (°C)	Ciclo	Temperatura inferior (°C)	Temperatura Superior (°C)	Temperatura Média (°C)
GC1	1128	1119	9	PC2	1130	1130	—
GC2	1138	1129	9	PC3	1120	1120	—
GC3	1148	1139	9	PC4	1140	1140	—
GC11	1078	1109	-31	PC6	1080	1120	-40
GC10	1088	1099	-11	PC5	1090	1110	-20
GC9	1098	1089	9	PC7	1100	1100	—
GC12	1108	1079	29	PC8	1110	1090	20
GC13	1118	1069	49	PC9	1120	1080	40



**Figura 5.** Ciclo térmico empregado nos ensaios de pré-aquecimento. Pavimento e revestimento.



**Figura 6.** Ciclo térmico para pavimento.

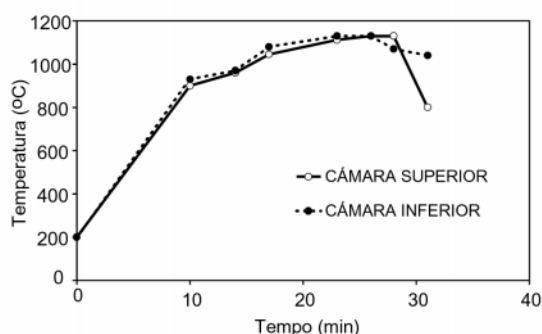
### Experimentos na etapa de queima

Realizaram-se experimentos modificando a zona de temperatura máxima dos ciclos térmicos que se mostram nas figuras 6 e 7, que correspondem a ciclos originais de pavimento e revestimento respectivamente. No caso do pavimento, a temperatura máxima alcançada na câmara inferior era de 1138 °C e na superior de 1129 °C. No ciclo do revestimento as temperaturas eram praticamente iguais a 1100 °C em ambas as câmaras.

Na tabela 2 são indicadas as diferenças de temperatura (temperatura inferior menos temperatura superior) que foram verificadas sobre os ciclos originais de pavimento e revestimento. A duração da etapa de queima se manteve constante.

### Experimentos sobre a etapa de resfriamento

Nestas experiências empregaram-se suportes com engobe e esmalte, com cada um dos esmaltes descritos (transparente e opaco) anteriormente, para avaliar a influência do



**Figura 7.** Ciclo térmico para revestimento.

**Tabela 3.** Variações dos ciclos na etapa de resfriamento. Pavimento e revestimento.

Ciclo Térmico	Vidrado	Diferença de temperatura (°C)
Pavimento e Revestimento		
EGB1	Opaco	-78
EGB2	Opaco	—
EGB3	Opaco	114
EGC1	Transparente	-78
EGC2	Transparente	—
EGC3	Transparente	114

acoplamento do vidro. Além disto, modificou-se a etapa de resfriamento dos ciclos de pavimento e resfriamento mostrados nas figuras anteriores 6 e 7, de modo a se obter uma grande diferença de temperatura entre as câmaras superior e inferior do forno, quando os revestimentos se encontram em temperaturas próximas à temperatura em que se supõe que ocorra o acoplamento dos vidrados.

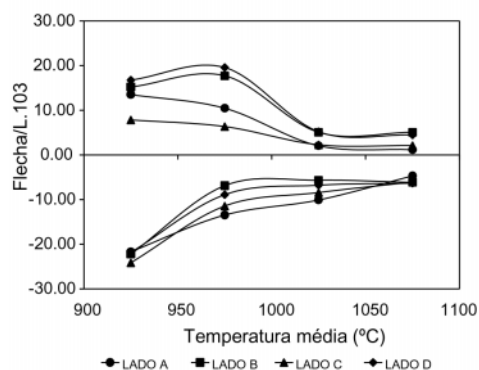
Na tabela são apresentadas as variações realizadas nos ciclos térmicos originais para cada um dos vidrados ensaiados. A diferença de temperatura (Temperatura inferior menos temperatura superior) que se indica refere-se ao intervalo 1000-650 °C, aproximadamente.

## Resultados e Discussão

### Resultados dos experimentos na zona de pré-aquecimento

As temperaturas inferiores estudadas nesta etapa são próximas àquelas em que ambos os suportes alcançam sua máxima expansão térmica e iniciam a fase de contração, tal como pode ser visto nas curvas dilatométricas.

Na zona das temperaturas mais elevadas do intervalo de estudo, o comportamento dilatométrico de ambos os suportes é bem distinto. Como esperado, os suportes de revestimento mostram uma zona, compreendida entre 930 e 1030 °C, aproximadamente, na qual o suporte experimenta uma ligeira expansão, diferente do pavimento que mostra uma contínua contração.



**Figura 8.** Curvatura dos revestimentos para pavimento. Pré-aquecimento.

Após realizar as queimas programadas, determinou-se o valor da flecha central de cada um dos lados dos revestimentos, como medida de curvatura, sendo o sinal positivo quando a curvatura é convexa e negativo quando é côncava.

Na figura 8 pode-se ver os resultados obtidos com suporte de pavimento quando a temperatura na zona inferior ( $T_i$ ) era maior que a da zona superior ( $T_s$ ) e vice-versa. Neste gráfico plotou-se o quociente entre a flecha e o comprimento inicial de cada um dos lados em função da média aritmética das temperaturas superior e inferior.

Os revestimentos de pavimento mostram uma grande curvatura, côncava ou convexa segundo o sinal do gradiente térmico, para temperaturas médias compreendidas entre 925 e 1000 °C, aproximadamente, detectando-se um valor máximo em torno de 975 °C quando a temperatura na câmara inferior é maior que a da câmara superior.

A partir de temperaturas médias superiores a 1000 °C, a curvatura (côncava ou convexa) diminui notavelmente. Isto é devido à evolução das características elastoplásticas do material com a temperatura<sup>4,10</sup>, e ao fato de que os revestimentos se sustentam sobre os rolos, suportando seu próprio peso.

Em todo o intervalo de temperaturas ensaiado, os lados paralelos ao sentido do avanço (lados B e D) mostram uma deformação mais convexa (ou menos côncava se for o caso) que os lados A e C (figura 8). Esta assimetria na deformação das placas se observa também industrialmente. Este fato, que é determinado pelo sistema de movimentação das placas, foi discutido teoricamente em trabalhos anteriormente publicados<sup>6</sup>. Com efeito, este sistema implica que a distribuição dos pontos de apoio das placas é desigual em cada uma das direções de seus lados.

Para efeito ilustrativo do anteriormente comentado, é mostrado nas figuras 9 e 10 o perfil do lado B dos revestimentos de pavimento quando experimentam os distintos ciclos térmicos ensaiados (GP3-GP10).

No caso das placas de revestimento (figura 11) o comportamento durante o pré-aquecimento mostra algumas diferenças qualitativas significativas em relação aos resul-

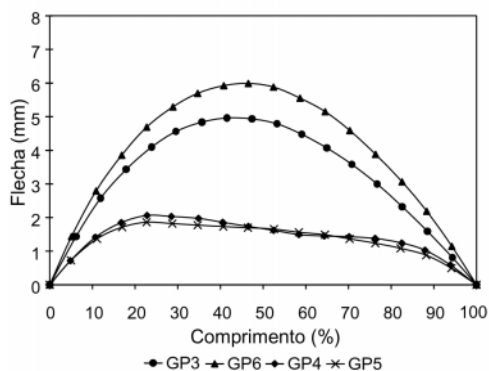


Figura 9. Perfis de revestimentos de pavimento. Pré-aquecimento.

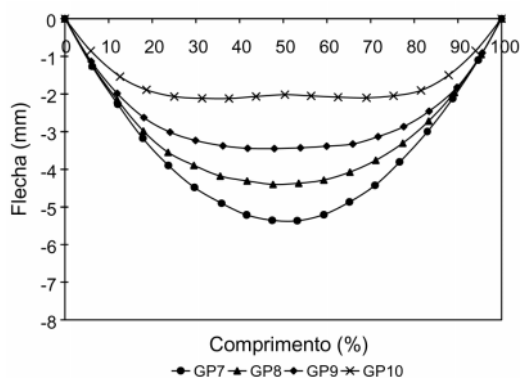


Figura 10. Perfis de revestimentos de pavimento. Pré-aquecimento.

tados do pavimento. Quando a temperatura da câmara inferior é maior que a da câmara superior ( $T_i > T_s$ ) a curvatura é convexa no intervalo de temperatura médias compreendido entre 825 e 920 °C, aproximadamente. Por outro lado, entre 925 e 950 °C a curvatura é ligeiramente côncava. Este efeito pode ser devido, fundamentalmente, à dilatação que experimenta este material neste intervalo de temperaturas, de acordo com o que mostra a correspondente curva de expansão térmica. Também se observa, nas placas de revestimento, uma grande diferença de curvatura entre os lados A e C e os lados B e D. Assim, quando a curvatura é convexa, os lados B e D apresentam uma curvatura maior que os lados A e C no intervalo 825-900 °C. Por outro lado, há um pequeno intervalo de temperatura próximo a 925 °C em que a curvatura dos lados A e C é maior que a dos lados B e D.

Por sua parte, quando a temperatura da câmara superior é maior que a da câmara inferior, a curvatura das placas de revestimento é côncava, se observando uma deformação máxima em torno de 900 °C.

Nas figuras 12 e 13 mostra-se o perfil do lado B das placas de revestimento que experimentaram os diferentes pré-aquecimentos. Nestes perfis, observa-se claramente como as placas conservam na linha curvada de seus lados a história do tratamento térmico que experimentaram. Isto é possível dado que o material cerâmico tem um compor-

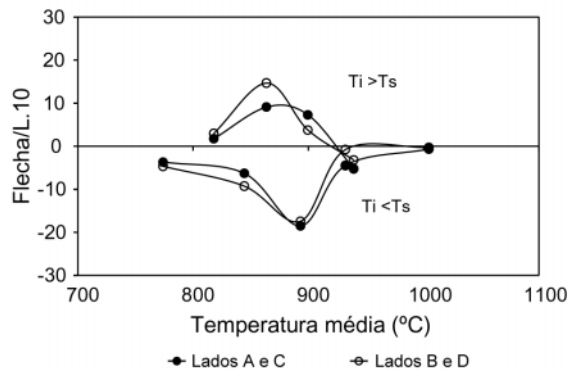


Figura 11. Curvatura das placas de revestimento. Pré-aquecimento.

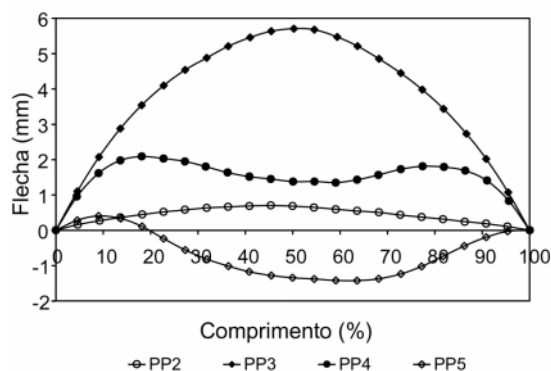


Figura 12. Perfis de placas de revestimento.

tamento elastoplástico. Assim, as laterais paralelas à direção do movimento das placas (lados B e D) apresentam uma curvatura convexa na zona dos extremos e côncava no centro, quando é apresentada uma curvatura convexa nas primeiras etapas do pré-aquecimento e, posteriormente, se inverte esta tendência ou a placa deforma-se devido ao seu próprio peso (figura 12 curvas PP4 e PP5).

Pelo contrário, os perfis laterais (figura 12 curvas PP9 e PP10) mostram uma curvatura côncava nos extremos e convexa no centro se, na primeira fase do pré-aquecimento a placa apresenta uma curvatura côncava e, depois, se inverte esta tendência. Estas variações, como se comentou, podem ser provocadas por diferenças de temperatura entre as câmaras superior e inferior, ou pela própria evolução das propriedades do material com a temperatura.

#### Resultados dos Experimentos na Zona de Queima

Nas Figuras 14 e 15 são apresentados alguns dos perfis laterais (lado B) das placas de pavimento que foram obtidas a partir dos ensaios na zona de queima. Como se pode ver, todos eles são bastante semelhantes. Com efeito, se observa apenas uma certa curvatura nos extremos das laterais B e D devida ao efeito de sustentação.

No caso das placas de revestimento, que têm uma rigidez maior que a das placas de pavimento<sup>4</sup>, se observa (Figura 16) uma apreciável influência do gradiente de

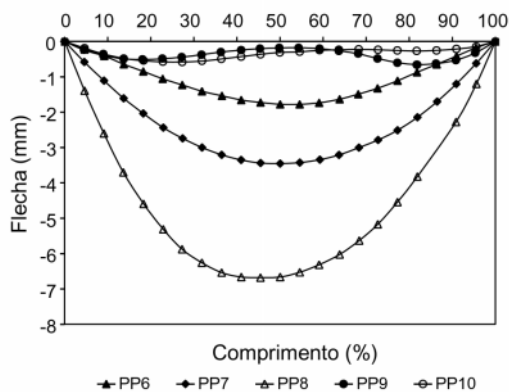


Figura 13. Perfis de placas de revestimento.

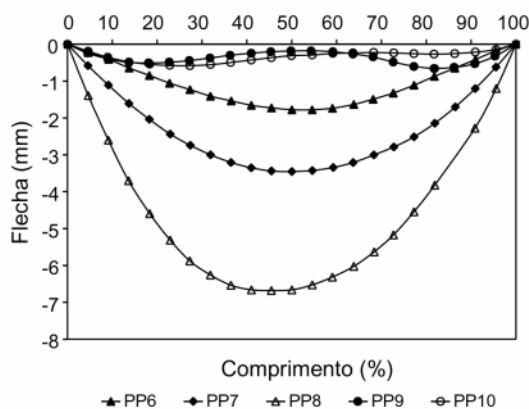


Figura 14. Perfis de placas para pavimento. Queima. Alterações na temperatura máxima.

temperatura. Entretanto, a magnitude das curvaturas é menor que aquelas observadas na etapa de pré-aquecimento, pois na faixa de temperatura em que se realiza a queima a rigidez das placas é menor.

A curvatura das placas, descrita nos perfis apresentados nas figuras 16 e 17, está de acordo com o observado na etapa de pré-aquecimento, sobretudo nos casos de temperatura mais elevada.

Com isto, para os ciclos programados nesta fase, as placas apresentam uma curvatura convexa ao final do pré-aquecimento, de modo que durante a etapa de queima esta curvatura pode ser atenuada ou reforçada dependendo do sinal do gradiente térmico. Deste modo, quando a temperatura na câmara inferior é maior que a da câmara superior (PC9 e PC8) se acentua a curvatura convexa. Entretanto, o efeito de sustentação e a deformabilidade das placas também são importantes: como se pode ver, na figura 16, a região central das placas é aproximadamente plana, enquanto que os extremos são rebaixados.

Por sua vez, se a temperatura da câmara inferior é menor que a da câmara superior (PC5 e PC6), as extremidades laterais apresentam curvatura convexa, enquanto que a zona central apresenta curvatura côncava, tanto maior quanto maior seja o gradiente térmico. A variação da tem-

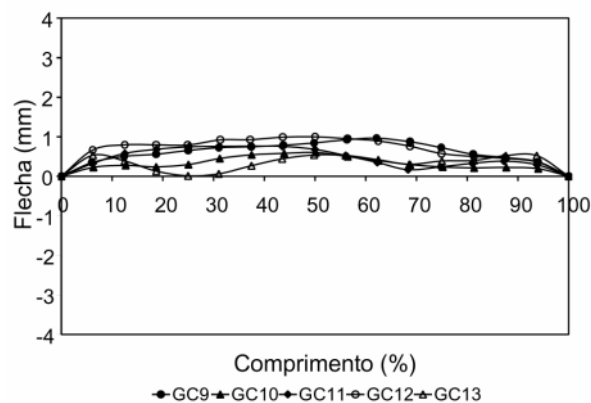


Figura 15. Perfis de placas para pavimento. Queima. Alterações no gradiente térmico.

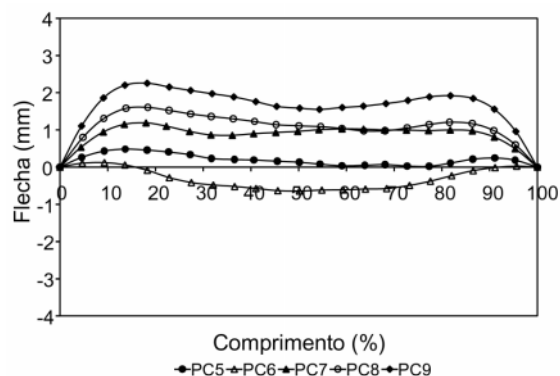


Figura 16. Perfis de placas para revestimento. Queima. Alterações no gradiente térmico.

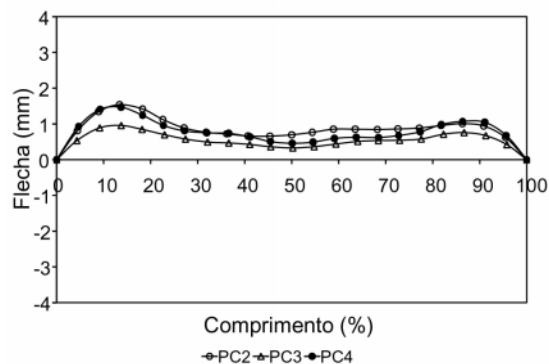


Figura 17. Perfis de placas para revestimento. Queima. Alterações na temperatura máxima.

peratura máxima, fixando o valor do gradiente térmico, não apresentou influência considerável sob a curvatura das placas de revestimento (figura 17).

### Resultados dos Experimentos na Zona de Resfriamento

As figuras 18 e 19 apresentam, respectivamente, as diferentes curvaturas obtidas para as placas de pavimento e revestimento, com a aplicação do vidro transparente

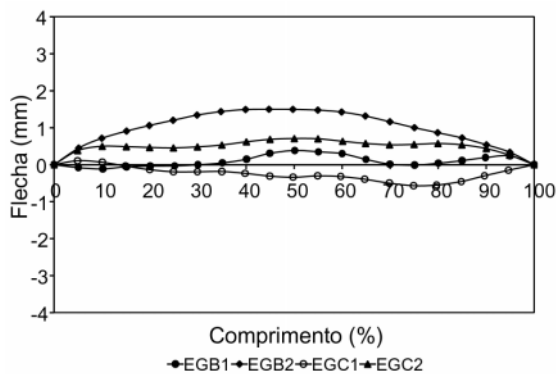


Figura 18. Modificações durante a etapa de resfriamento. Pavimento.

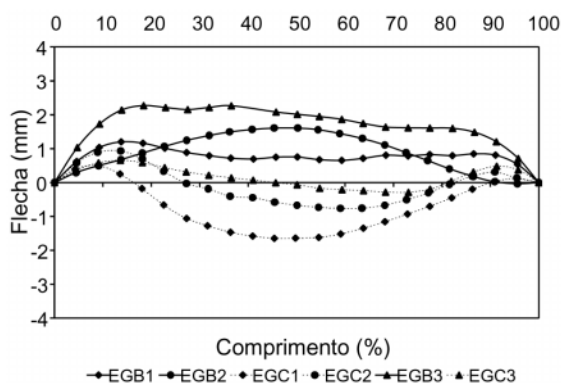


Figura 19. Modificações durante a etapa de resfriamento. Revestimento.

(de elevado coeficiente de dilatação) e do vidro opaco (de baixo coeficiente de dilatação), para os ciclos térmicos realizados.

Como se pode ver, o vidro exerce uma grande influência na magnitude da curvatura convexa, no caso do vidro opaco, e na magnitude da curvatura côncava, no caso do vidro transparente (comparar as curvas EGB2 e EGC2 da figura 19). A magnitude da variação produzida é da mesma ordem de grandeza que se produz mediante a alteração dos gradientes de temperatura. A consequência deste fato é evidente, e está de acordo com a experiência industrial. É conveniente a utilização de vidros com curvas de expansão térmica semelhantes à do suporte queimado, caso contrário, as curvaturas produzidas pelo vidro dificilmente poderão ser corrigidas mediante alterações no ciclo térmico.

O forno empregado nestes ensaios permite atuar também sobre a etapa de resfriamento. Desta forma, foram provocados os gradientes indicados na tabela 3, com a intenção de modificar a temperatura do suporte no momento de acoplamento com o vidro<sup>11,12</sup>, buscando variar a curvatura das placas.

As figuras 18 e 19 mostram a evolução da curvatura em função da diferença de temperatura entre as superfícies superior (esmaltada) e inferior das placas. Foi comprovado com suportes sem vidro e submetidos aos mesmos ciclos

térmicos que as curvaturas obtidas são idênticas às descritas nas figuras 18 e 19. Estes resultados indicam que, antes que se possa efetuar alterações na curvatura pela variação da temperatura de acoplamento entre o suporte e o vidro, estas alterações ocorrem pela própria deformação do suporte, de forma análoga à apresentada na etapa de aquecimento.

## Conclusões

Os resultados obtidos permitem constatar que é possível, mediante o emprego de um forno piloto descontínuo, reproduzir as curvaturas observadas nas placas produzidas industrialmente.

Isto viabilizou, mediante a execução da série de experimentos descritos, avaliar a influência que cada uma das etapas do ciclo de queima exercem sobre a deformação das placas, assim como verificar a importância do efeito de sustentação sobre esta mesma deformação.

Os resultados obtidos, em conjunto com a bibliografia utilizada, permitem afirmar que, fundamentalmente, as placas, durante o ciclo de queima, passam por uma sucessão de deformações que se refletem em sua geometria, de acordo com suas propriedades elastoplásticas. Desta forma, a curvatura final resultante, para um determinado produto, é função tanto da dinâmica e das características do ciclo de queima utilizado como do sistema de movimentação empregado no forno.

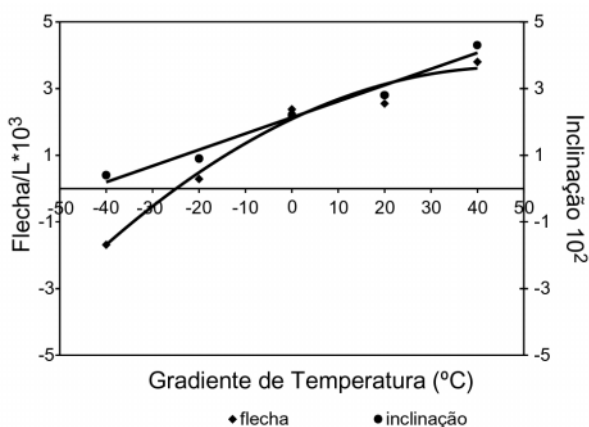
A utilização de um forno piloto, como o empregado neste trabalho, permite contornar as enormes dificuldades envolvidas na formulação de um modelo teórico capaz de descrever a forma final das placas, ou mais especificamente sua curvatura final após a queima em um determinado ciclo industrial. Sobretudo, exigir-se-ia ainda que o método fosse capaz de prever as modificações necessárias sobre o ciclo de queima para que a curvatura final fosse minimizada.

Os resultados obtidos para as placas indicam ainda uma forte simetria com relação ao eixo central e os lados paralelos ao sentido de avanço no interior do forno, que por sua vez apresentam duas deformações características: uma na região central da lateral (flecha central), e outra nas regiões próximas à extremidade, onde se observa uma inclinação (que pode ser avaliada como o declínio que as placas apresentam em seus extremos).

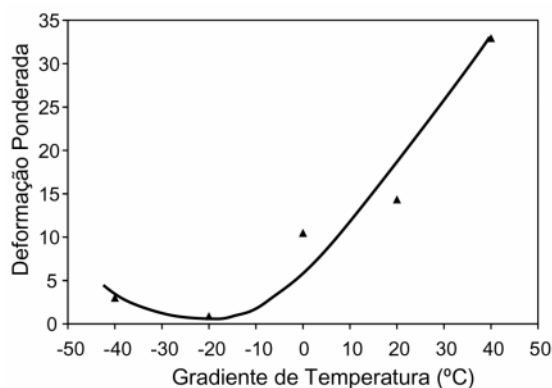
O gráfico da figura 20 mostra o comportamento (expresso em módulo adimensional) das duas regiões de curvatura em função do gradiente térmico aplicado.

Por outro lado, pode-se adotar como critério de comparação a condição de que a inclinação dos extremos e a flecha central devem ser mínimos, para que as placas sejam de fato planas. Este critério pode ser expresso de forma precisa através da soma ponderada de ambos fatores, em valores absolutos, que deve ser mínima. Quando a deformação global é calculada de acordo com este modelo, se obtém um comportamento semelhante ao apresentado no gráfico 21, a partir do qual é possível determinar o gradiente





**Figura 20.** Evolução da curvatura lateral e da inclinação dos extremos com a temperatura.



**Figura 21.** Deformação conjunta. Estimativa do gradiente de temperatura ótimo durante a queima.

a ser aplicado em um dado ciclo de queima para que a curvatura final seja mínima.

## Referências Bibliográficas

1. Clausell, A.; Galindo, R. *Apuntes de operaciones básicas en la fabricación de pavimentos y revestimientos cerámicos*. Valencia: Consellería de Cultura, Educación y Ciència. 1991.
2. Amorós, J.L.; Enrique, J.E.; Blasco, A., et al. *Hornos para la fabricación de pavimentos y revestimientos*

*cerámicos. Características y criterios de elección*. Técnica Cerâmica, 104, 750-768, 1982.

3. Jarque, J.C.; Moreno, A.; Enrique, J.E.; et al. *Optimización de las condiciones de funcionamiento en hornos monoestrato [IV]. Mecanismos de transmisión de la energía calorífica*. Técnica Cerâmica, 247, 566-572, 1996
4. Cantavella, V. *Simulación de la deformación de baldosas cerámicas durante la cocción*. Tese Doutoral. Departamento de Ingeniería Química, Universitat Jaume I de Castelló. Castellón. 1.998.
5. Mallol, G.; Llorens, D.; Beltrán, G.; et al. *Reproducción de las condiciones industriales de cocción de las baldosas cerámicas utilizando un horno piloto de rodillos*. Técnica Cerâmica, 276, 855-864, 1999.
6. Loricí, L. *El horno de rodillos y su influencia sobre la planaridad Del producto final*. Cerámica y Cristal, 114, 19-28, 1995.
7. *Tecnología de la fabricación de azulejos*. Castellón: Asociación de Técnicos Cerámicos, 1990.
8. Monzó, M. *Estudio de las causas de los defectos de fabricación en la industria de pavimentos y revestimientos cerámicos* Castelló: Universitat Jaume I, Departamento de Ingeniería Química, 1994. Tesis Doctoral.
9. Amorós, J.L.; Beltrán, V.; Blasco, A.; et al. *Defectos de fabricación de pavimentos e revestimientos cerámicos*. Castellón: Asociación de Investigación de las Industrias Cerámicas, 1991, p. 159-160.
10. Escardino, A.; Amorós, J.L.; Negre, F.; et al. *Defectos de planaridad em lâs pezas de pamemento gresificado motivados por la deformación piropiástica. Influencia de las variables de proceso*. Taulells, 3, 3-9, 1985.
11. Amorós, J.L.; Negre, F.; Belda, A.; et al. *Acuerdo esmalte-soporte [I]. Causas y factores de los que depende*. Técnica Cerâmica, 178, 582-592, 1989.
12. Amorós, J.L.; Blasco, A.; Carceller, J.V., et al. *Acuerdo esmalte-soporte [II]. Expansión térmica de soportes y esmaltes cerámicos*. Técnica Cerâmica, 179, 644-657, 1989.