

EL RECALENTAMIENTO DE BALDOSAS CERÁMICAS PARA EL ENSAYO DE RESISTENCIA AL CUARTEO

F.G. Melchiades¹, N.F. Santos¹, L.R. Santos¹, L.J.J. Nieves^{1,2}, S. Nastri¹, A.O. Boschi²

¹ Centro de Revestimentos Cerâmicos – CRC, São Carlos, SP, Brasil

² LaRC, DEMA, Universidade Federal de São Carlos – São Carlos, SP, Brasil

RESUMEN

De acuerdo con la norma ISO 10.545 Parte 11, todas las baldosas cerámicas esmaltadas, con excepción de aquellas recién cocidas, deben ser recalentadas a $500^{\circ}\text{C} \pm 15^{\circ}\text{C}$, con una velocidad de calentamiento inferior a $150^{\circ}\text{C}/\text{h}$ y permanecer a la temperatura máxima del ciclo de cocción durante por lo menos dos horas, como parte del procedimiento de determinación de la resistencia al cuarteo. Para verificar si el recalentamiento establecido en el procedimiento de la norma cumple con la finalidad para el cual fue incluido en el método de ensayo, cinco productos comerciales (Baldosas BIIb de tamaños 50x50 cm y 62x62 cm) fueron caracterizados con relación a la resistencia al cuarteo después de la fabricación (sin el procedimiento de recalentamiento) y por el método según la norma (incluyendo el tratamiento térmico a 500°C según la ISO 10.545-11). Como todos los productos fueron resistentes al cuarteo, se realizaron varios ciclos de hidratación en autoclave y se registró, para cada producto, el número de ciclos necesarios para que ocurriera el cuarteo de los esmaltes. Sorprendentemente, el procedimiento de recalentamiento establecido por la ISO 10.545-11 reduce la resistencia al cuarteo de las baldosas cerámicas. Con vistas a intentar explicar el fenómeno, se realizaron medidas de curvatura de las baldosas antes y después del recalentamiento a 500°C , utilizando un sistema de medición laser (brazo tridimensional). Los resultados mostraron que, para las baldosas ensayadas, el recalentamiento promueve alteraciones en las curvaturas de las baldosas originales, haciéndolas claramente menos convexas o más cóncavas. Para comprender las razones de las alteraciones de las curvaturas, se realizaron ensayos de contracción en probetas elaboradas con las pastas, engobes y esmaltes utilizados en los productos evaluados. Los ensayos de contracción se hicieron a 500°C (el mismo ciclo de cocción del ensayo normativo de recalentamiento) utilizando probetas previamente cocidas a la misma temperatura y ciclo de cocción de la fabricación de las baldosas cerámicas. Los resultados indican que el recalentamiento a 500°C genera movimientos diferentes entre las capas que constituyen las baldosas cerámicas, explicando, de esta forma, los cambios de curvaturas observados en las baldosas cerámicas durante el recalentamiento prescrito por la norma ISO 10.545-11. Para finalizar el trabajo, se estudió la temperatura de recalentamiento necesaria para eliminar la humedad adsorbida por las baldosas cerámicas. Esta etapa del trabajo se realizó por medio de análisis dilatométricas con baldosas previamente hidratadas en autoclave.

1. INTRODUCCIÓN

El cuarteo de una baldosa cerámica ocurre cuando la fina capa de esmalte, que recubre la pieza, se somete a una tensión de tracción lo suficientemente grande como para superar su resistencia mecánica [1, 2]. Este fenómeno está directamente relacionado con el comportamiento mecánico del esmalte que, así como los demás elementos que componen la baldosa cerámica (pasta y engobe), es un material de naturaleza frágil [3]. En este sentido, el vidriado que recubre las piezas sufre poca o casi ninguna deformación plástica, presentando una ruptura precoz. Como se ha mencionado, la fragilidad es una característica típica de los materiales cerámicos; entre estos, el vidrio suele ser el más frágil. Esta característica, unida al bajo espesor propio de las capas de esmalte, llevan esta problemática a un escenario muy delicado.

En la práctica, el cuarteo es el resultado de una suma de fuerzas que actúan en la capa del vidriado. Estas fuerzas se rigen por las diversas interacciones que se producen entre los componentes de una baldosa cerámica. En un escenario ideal, donde el producto no sufre cuarteo inmediato (al final del proceso de fabricación), se concluye que la capa de esmalte se encuentra bajo tensión de compresión. Sin embargo, este estado puede verse alterado en función de las solicitudes y estímulos que el producto recibe [2, 4].

El ensayo de resistencia al cuarteo descrito en la norma ISO 10.545 – Parte 11 busca, a través de la expansión por humedad acelerada, colocar el producto ensayado en una situación extrema, capaz de modificar las tensiones que actúan sobre la capa de esmalte y, en el peor de los casos, provocar el cuarteo [5]. Una etapa importante de este procedimiento es el proceso de recalentamiento, que simplemente tiene como objetivo eliminar la expansión natural del soporte, haciendo que regrese a su estado natural, para que participe en la prueba en condiciones justas [4, 5]. En teoría, las capas de esmalte y engobe no deberían contraerse debido al recalentamiento, que se realiza a 500°C, por lo que sólo el soporte debería moverse (contraerse) durante este tratamiento térmico. Sin embargo, especialmente cuando se trata de productos elaborados en seco con arcillas rojas, cuyos ciclos de cocción rondan los 20 minutos, con temperaturas máximas alrededor de los 1100°C, es razonable pensar que una temperatura de recalentamiento de 500°C puede ser lo suficientemente alta como para generar movimientos en estas capas [6].

Si la energía suministrada por el recalentamiento es lo suficientemente alta como para generar transformaciones estructurales en cualquiera de las capas que componen el producto, los resultados de resistencia al cuarteo que siguen a este proceso no evaluarán el producto original sino el subproducto generado después del recalentamiento. Por tanto, este trabajo pretende comprender las posibles transformaciones que sufren baldosas cerámicas BIIb fabricadas con pastas rojas durante la etapa de recalentamiento prevista en el ensayo de resistencia al cuarteo y sus consecuencias para los resultados de estos análisis.

2. METODOLOGÍA

Inicialmente, los productos analizados fueron ensayados con relación a su resistencia al cuarteo. Sin embargo, a diferencia de lo que prescribe la norma, los productos fueron sometidos a hasta cinco ciclos de hidratación en autoclave con y sin recalentamiento. Para evaluar mejor el movimiento de las piezas debido al proceso de recalentamiento, se analizaron las curvaturas de las baldosas cerámicas seleccionadas mediante medición con brazo láser antes y después del recalentamiento.

Con el objetivo de consolidar estos resultados, los insumos que constituyen las referencias fueron evaluados en cuanto a su contracción de recalentamiento. Para ello se elaboraron probetas utilizando estándares industriales de presión, temperatura y ciclo de cocción, luego de lo cual las probetas fueron sometidas a un recalentamiento, el cual se realizó de acuerdo con los mismos parámetros utilizados para determinar la resistencia al cuarteo de la norma ISO 10.545 – 11. La variación dimensional a lo largo de la longitud en función del recalentamiento, que se denominó contracción lineal de recalentamiento, se determinó en mm/m con el uso de un micrómetro con una precisión de ± 0.001 mm.

La evaluación de la salida de agua de las piezas junto con el análisis crítico de la temperatura de recalentamiento preestablecida en la norma se realizó mediante extracción de la probeta mediante corte húmedo con sierra con disco de diamante. Las probetas fueron obtenidas de tal modo que tuvieran el tamaño adecuado para su inserción en el termodilatómetro, con dimensiones aproximadas de 50x5x5 mm. A continuación, las muestras fueron hidratadas en dos condiciones severas: 2 horas en autoclave a 5 atm; y 5 horas en autoclave a 5 atm. A partir de estos resultados se determinó la temperatura ideal de recalentamiento.

Finalmente, las referencias fueron sometidas nuevamente a la prueba de resistencia al cuarteo en múltiples ciclos, esta vez con recalentamiento a la temperatura ideal de recalentamiento determinada empíricamente. Estas muestras también se probaron para determinar su movimiento antes y después de volver a cocerse mediante medición con brazo láser. Esto permitió evaluar comparativamente los resultados obtenidos con el recalentamiento normativo y el recalentamiento ideal empíricamente validado.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Para verificar los posibles daños causados por el recalentamiento, cinco referencias de productos BIIb fueron sometidas a diversas pruebas. Inicialmente, las referencias seleccionadas fueron evaluadas en cuanto a su resistencia con y sin procedimiento de recalentamiento a 500°C (ISO 10.545 – Parte 11). Las piezas fueron sometidas a hasta cinco ciclos sucesivos de hidratación en autoclave. Los resultados se presentan en las Tablas I a V.

Referencia 1	Ciclo en el cual ocurrió el cuarteo	
	Sin recalentamiento	Con recalentamiento a 500°C (ISO 10.545 – Parte 11)
Probeta 1	4º Ciclo	2º Ciclo
Probeta 2	4º Ciclo	2º Ciclo
Probeta 3	4º Ciclo	2º Ciclo
Probeta 4	4º Ciclo	2º Ciclo
Probeta 5	4º Ciclo	2º Ciclo

Tabla I. Evaluación de la resistencia al cuarteo de las piezas a 500°C.

Referencia 2	Ciclo en el cual ocurrió el cuarteo	
	Sin recalentamiento	Con recalentamiento a 500°C (ISO 10.545 – Parte 11)
Probeta 1	4º Ciclo	3º Ciclo
Probeta 2	4º Ciclo	3º Ciclo
Probeta 3	4º Ciclo	3º Ciclo
Probeta 4	4º Ciclo	3º Ciclo
Probeta 5	4º Ciclo	3º Ciclo

Tabla II. Evaluación de la resistencia al cuarteo de las piezas a 500°C

Referencia 3	Ciclo en el cual ocurrió el cuarteo	
	Sin recalentamiento	Con recalentamiento a 500°C (ISO 10.545 – Parte 11)
Probeta 1	No agrietó Hasta 5º ciclo	3º Ciclo
Probeta 2	No agrietó Hasta 5º ciclo	3º Ciclo
Probeta 3	No agrietó Hasta 5º ciclo	3º Ciclo
Probeta 4	No agrietó Hasta 5º ciclo	4º Ciclo
Probeta 5	No agrietó Hasta 5º ciclo	4º Ciclo

Tabla III. Evaluación de la resistencia al cuarteo de las piezas a 500°C.

Referencia 4	Ciclo en el cual ocurrió el cuarteo	
	Sin recalentamiento	Con recalentamiento a 500°C (ISO 10.545 – Parte 11)
Probeta 1	No agrietó Hasta 5º ciclo	3º Ciclo
Probeta 2	No agrietó Hasta 5º ciclo	3º Ciclo
Probeta 3	No agrietó Hasta 5º ciclo	4º Ciclo
Probeta 4	No agrietó Hasta 5º ciclo	4º Ciclo
Probeta 5	No agrietó Hasta 5º ciclo	4º Ciclo

Tabla IV. Evaluación de la resistencia al cuarteo de las piezas a 500°C.

Referencia 5	Ciclo en el cual ocurrió el cuarteo	
	Sin recalentamiento	Con recalentamiento a 500°C (ISO 10.545 – Parte 11)
Probeta 1	4º Ciclo	3º Ciclo
Probeta 2	4º Ciclo	3º Ciclo
Probeta 3	4º Ciclo	3º Ciclo
Probeta 4	4º Ciclo	3º Ciclo
Probeta 5	4º Ciclo	3º Ciclo

Tabla V. Evaluación de la resistencia al cuarteo de las piezas a 500°C.

Los resultados muestran que el número de ciclos de hidratación en autoclave capaz de promover el cuarteo en las piezas recalentadas a 500°C es siempre menor en comparación con las piezas no recalentadas. Por lo tanto, estos resultados prueban que las piezas recalentadas de acuerdo con la ISO 10.545-11 se vuelven menos resistentes al cuarteo.

Si la única reacción que debe producirse durante este tratamiento térmico es la eliminación de la humedad adsorbida tras su fabricación, con la consiguiente contracción de las dimensiones del soporte cerámico como consecuencia de la eliminación de las dilataciones debidas a la humedad producida, desde un punto de vista macroscópico, a simple vista lo que se podría observar sería una ligera tendencia al aumento de la convexidad de las piezas recalentadas. Dicha modificación no debería dar lugar a cambios negativos desde el punto de vista tecnológico, sino más bien beneficiar a los productos. Sin embargo, las evaluaciones visuales realizadas en procedimientos rutinarios de laboratorio han demostrado el efecto contrario.

Para materializar visualmente la transformación de las curvaturas de las baldosas comerciales evaluadas, se evaluó la topología de las piezas de referencia antes y después del recalentamiento a 500°C mediante un sistema de medición láser (brazo tridimensional), que indica la posición relativa de cada región de las baldosas cerámicas en forma de mapa topográfico.

Los resultados obtenidos se presentan en la Figura 1. Los colores cálidos (amarillo, naranja, rojo) registrados en los mapas topográficos representan los puntos más altos de las piezas cerámicas y los colores fríos (verde, azul) representan los puntos más bajos. Por tanto, lo que se puede concluir es que cuanto más cálidos sean los colores en el centro de las piezas y más fríos en los extremos cercanos a los bordes, mayor será la convexidad de las piezas. Por el contrario, las piezas con mayor concavidad son aquellas que tienen colores más fríos en el centro y colores más cálidos en los extremos.

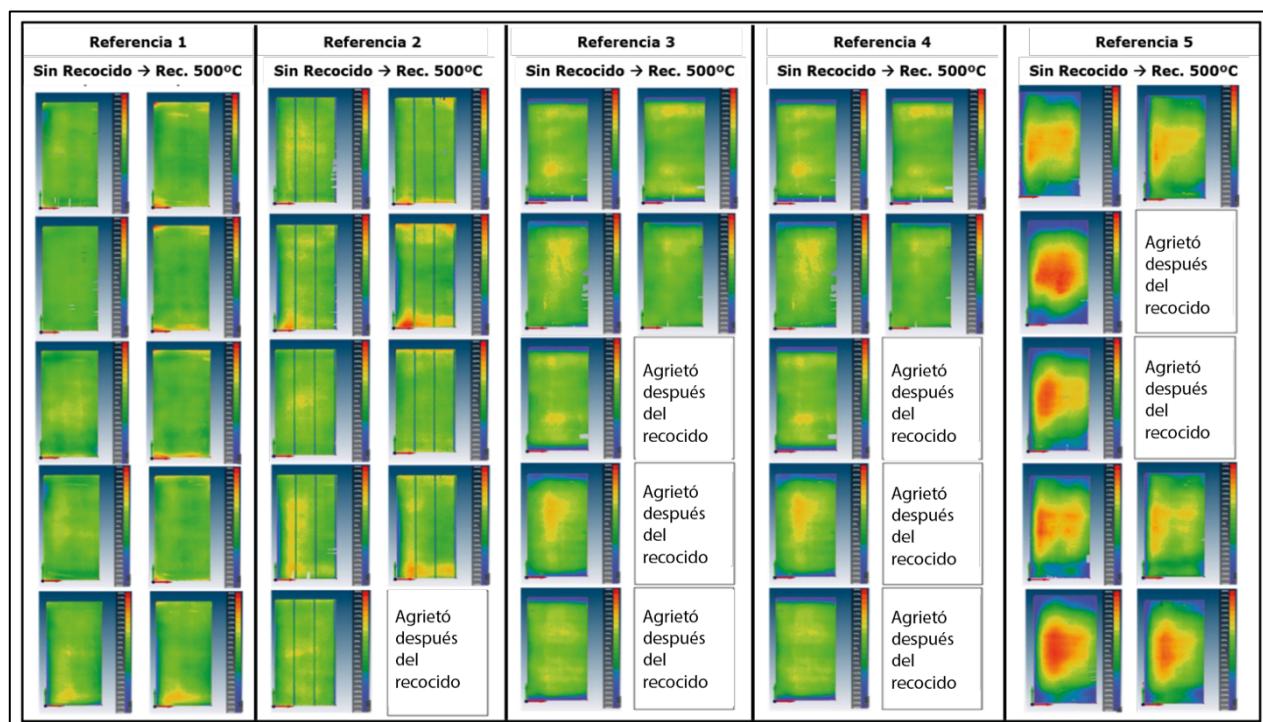


Figura 1. Efectos del recalentamiento a 500°C sobre la curvatura de las piezas.

Considerando que las baldosas cerámicas están constituidas por materiales superpuestos de diferentes naturalezas y espesores (multicapas), una posible explicación para entender el aumento de la concavidad de las piezas cerámicas durante el recalentamiento a 500°C es la posibilidad de que estas capas presenten diferentes movimientos. Por tanto, para justificar el aumento de concavidad observado en las piezas recalentadas, sería necesario que las capas de engobe y esmalte presentaran una contracción mayor que la del soporte en este tratamiento térmico. Para investigar esta hipótesis, se realizaron mediciones de contracción de recalentamiento con probetas individuales de pasta, engobe y esmaltes que constituyen las referencias evaluadas. Estos resultados se presentan en la tabla VI.

Insumo	Contracción linear de recalentamiento (mm/m)	Insumo	Contracción linear de recalentamiento (mm/m)
Engobe semi sellador	0,19 ± 0,02	Esmalte transparente 1	0,11 ± 0,01
Engobe sellador 1	0,19 ± 0,01	Esmalte PEI – V	0,08 ± 0,01
Engobe sellador 2	0,19 ± 0,01	Esmalte transparente 2	0,15 ± 0,01
Engobe refractario 1	0,11 ± 0,01	Esmalte mate 2	0,17 ± 0,01
Engobe refractario 2	0,20 ± 0,02	Esmalte Mate 3	0,17 ± 0,01
Esmalte mate 1	0,10 ± 0,01	Pasta vía seca	-0,01 ± 0,01

Tabla VI. Resultados de las contracciones de recalentamiento de los engobes, esmaltes y de la pasta.

Las razones por las cuales los esmaltes y especialmente los engobes presentan movimientos mayores que el soporte de un producto BIIb en un tratamiento térmico a 500°C están fuera de los objetivos de este trabajo. Sin embargo, se considera razonable suponer que esta temperatura de cocción puede ser lo suficientemente elevada como para favorecer el reblandecimiento de las fases vítreas que se desarrollaron en los esmaltes y engobes de estos productos y, como consecuencia de esta transformación, se producen ligeras contracciones en estas capas. Esta hipótesis se ve más evidentemente respaldada por los productos BIIb que, como sabemos, generalmente se fabrican con arcillas rojas de alta fusibilidad que favorecen el uso de ciclos de cocción rápidos y el uso de bajas temperaturas de cocción. Por lo tanto, los engobes y esmaltes utilizados en estos productos también necesitan tener una alta fusibilidad para que desarrollen sus atributos en los ciclos y temperaturas que requieren estas pastas.

Tales resultados invitan a reflexionar y considerar que la temperatura de recalentamiento prescrita en la norma ISO 10.545-11 puede ser demasiado alta para estos productos cerámicos, ya que pueden estar ocurriendo transformaciones imprevistas en sus esmaltes y engobes y, en consecuencia, promoviendo cambios en el estado de tensiones de los productos antes de la hidratación en autoclave. En este sentido, conviene cuestionar la necesidad de utilizar temperaturas tan elevadas, ya que el objetivo del recalentamiento es únicamente llevar las baldosas cerámicas a su estado de tensión original tras su fabricación. Con el fin de seguir la salida de agua del soporte y verificar críticamente la necesidad/eficacia de la temperatura de recalentamiento actual, las cinco referencias involucradas en este trabajo fueron previamente hidratadas en autoclave durante 2 y 5 horas, con el objetivo de simular un envejecimiento acelerado severo de estos productos. A continuación, las muestras extraídas de estas referencias se calentaron a 550°C en un termodilatómetro. Mediante este procedimiento es posible identificar la temperatura a la que se elimina la humedad adsorbida de las probetas, considerando las derivadas de las curvas dilatométricas obtenidas. Los resultados obtenidos se muestran en la Tabla VII y las Figuras 2 y 3.

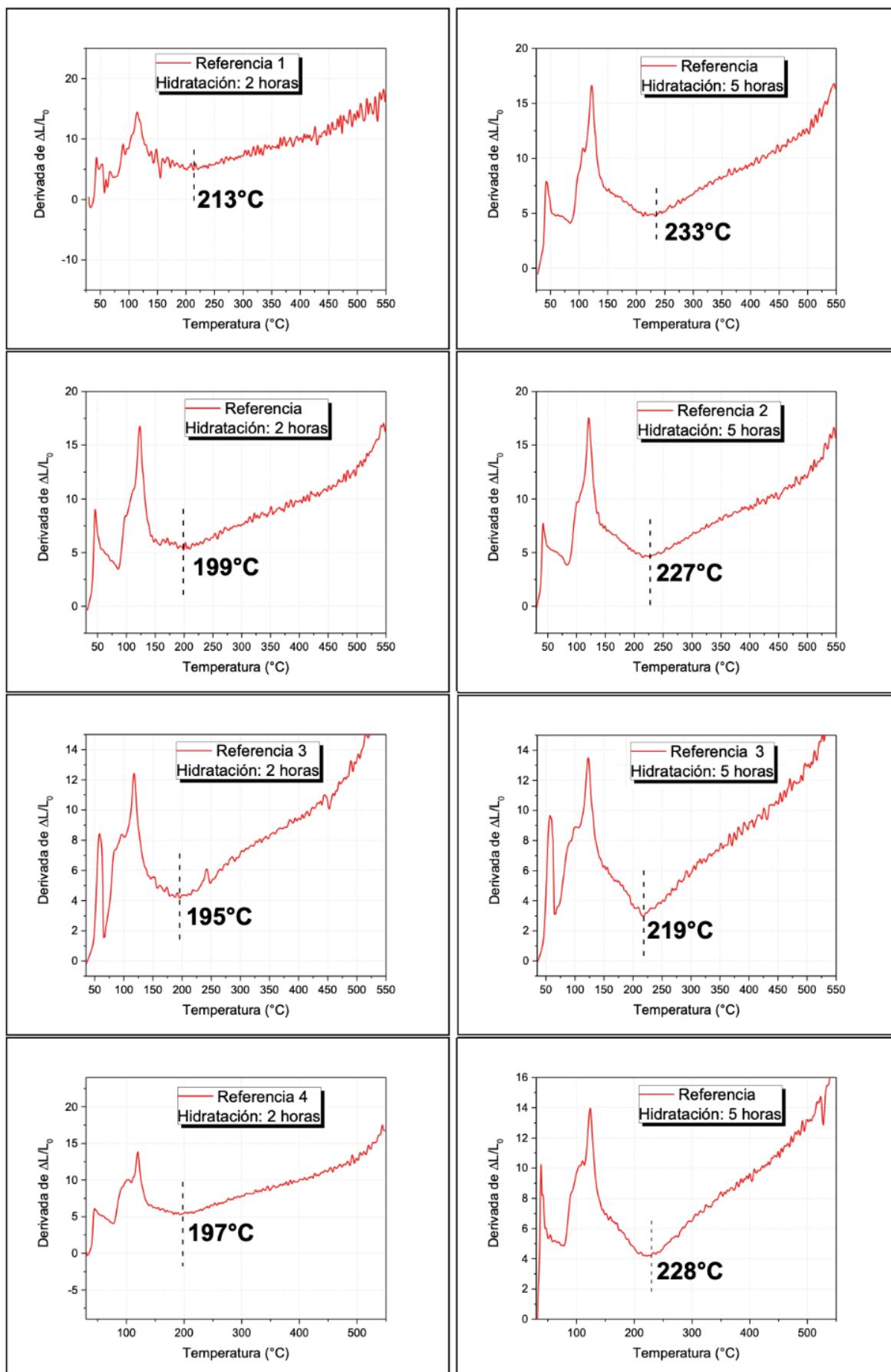


Figura 2. Temperatura de la salida de agua obtenida a partir de las derivadas dilatométricas.

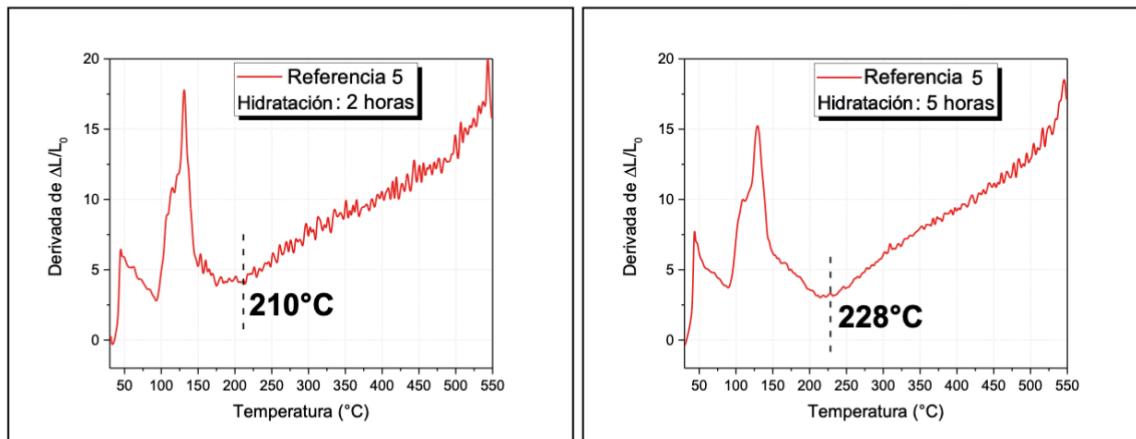


Figura 3. Temperatura de la salida de agua obtenida a partir de las derivadas dilatométricas.

Producto	Temperatura de salida del agua adsorbida (°C)	
	Hidratación 2 horas	Hidratación 5 horas
Referencia 1	213	233
Referencia 2	199	227
Referencia 3	195	219
Referencia 4	197	228
Referencia 5	210	228

Tabla VII. Resumen de las temperaturas de salida de agua en las dos condiciones utilizadas.

Las curvas obtenidas de las derivadas dilatométricas presentan las mismas características, independientemente del grado de hidratación o de la referencia analizada. Estas están formadas por dos picos ubicados entre 50 y 150°C que corresponden respectivamente a la salida de agua absorbida (no ligada químicamente) y a la salida de agua adsorbida (ligada químicamente); poco después se observa una región de valle que representa la salida total del agua. A partir de este resultado, se sugiere que la temperatura ideal para volver a cocer (con cierto margen de seguridad) sería 300°C, con las baldosas expuestas durante 2 horas a esta temperatura.

Una vez más, se evaluó la resistencia al cuarteo de las baldosas cerámicas de referencia. Esta vez, las piezas fueron sometidas a la prueba sin recalentamiento, con recalentamiento a 500°C (ISO 10.545 – Parte 11) y con recalentamiento a 300°C (temperatura ideal recomendada). Los resultados se presentan en las Tablas VIII a XII.

Referencia 1	Ciclo en que ocurrió el cuarteo		
	Sin recalentamiento	Con recalentamiento a 500°C (ISO 10.545 – Parte 11)	Con recalentamiento a 300°C
Probeta 1	4º Ciclo	2º Ciclo	4º Ciclo
Probeta 2	4º Ciclo	2º Ciclo	4º Ciclo
Probeta 3	4º Ciclo	2º Ciclo	4º Ciclo
Probeta 4	4º Ciclo	2º Ciclo	4º Ciclo
Probeta 5	4º Ciclo	2º Ciclo	4º Ciclo

Tabla VIII. Evaluación de la resistencia al cuarteo de las piezas a 500°C y 300°C.

Referencia 2	Ciclo en que ocurrió el cuarteo		
	Sin recalentamiento	Con recalentamiento a 500°C (ISO 10.545 – Parte 11)	Con recalentamiento a 300°C
Probeta 1	5º Ciclo	3º Ciclo	5º Ciclo
Probeta 2	5º Ciclo	3º Ciclo	5º Ciclo
Probeta 3	5º Ciclo	3º Ciclo	5º Ciclo
Probeta 4	5º Ciclo	3º Ciclo	5º Ciclo
Probeta 5	5º Ciclo	3º Ciclo	5º Ciclo

Tabla IX. Evaluación de la resistencia al cuarteo de las piezas a 500°C y 300°C.

Referencia 3	Ciclo en que ocurrió el cuarteo		
	Sin recalentamiento	Con recalentamiento a 500°C (ISO 10.545 – Parte 11)	Con recalentamiento a 300°C
Probeta 1	No agrietó Hasta 5º ciclo	3º Ciclo	4º Ciclo
Probeta 2	No agrietó Hasta 5º ciclo	3º Ciclo	5º Ciclo
Probeta 3	No agrietó Hasta 5º ciclo	3º Ciclo	5º Ciclo
Probeta 4	No agrietó Hasta 5º ciclo	4º Ciclo	5º Ciclo
Probeta 5	No agrietó Hasta 5º ciclo	4º Ciclo	5º Ciclo

Tabla X. Evaluación de la resistencia al cuarteo de las piezas a 500°C y 300°C.

Referencia 4	Ciclo en que ocurrió el cuarteo		
	Sin recalentamiento	Con recalentamiento a 500°C (ISO 10.545 – Parte 11)	Con recalentamiento a 300°C
Probeta 1	No agrietó Hasta 5º ciclo	3º Ciclo	5º Ciclo
Probeta 2	No agrietó Hasta 5º ciclo	3º Ciclo	5º Ciclo
Probeta 3	No agrietó Hasta 5º ciclo	4º Ciclo	No agrietó Hasta 5º ciclo
Probeta 4	No agrietó Hasta 5º ciclo	4º Ciclo	No agrietó Hasta 5º ciclo
Probeta 5	No agrietó Hasta 5º ciclo	4º Ciclo	No agrietó Hasta 5º ciclo

Tabla XI. Evaluación de la resistencia al cuarteo de las piezas a 500°C y 300°C.

Referencia 5	Ciclo en que ocurrió el cuarteo		
	Sin recalentamiento	Con recalentamiento a 500°C (ISO 10.545 – Parte 11)	Con recalentamiento a 300°C
Probeta 1	4º Ciclo	3º Ciclo	4º Ciclo
Probeta 2	4º Ciclo	3º Ciclo	4º Ciclo
Probeta 3	4º Ciclo	3º Ciclo	5º Ciclo
Probeta 4	4º Ciclo	3º Ciclo	5º Ciclo
Probeta 5	4º Ciclo	3º Ciclo	5º Ciclo

Tabla XII. Evaluación de la resistencia al cuarteo de las piezas a 500°C y 300°C.

Las Tablas 8 a 12 muestran que el número de ciclos de hidratación en autoclave capaces de promover el cuarteo en piezas recalentadas a 500°C es siempre menor en comparación con las piezas no recalentadas y con las piezas recalentadas a una temperatura más baja (300°C). Por lo tanto, tales resultados prueban que las piezas recalentadas de acuerdo con la norma ISO 10.545-11 se vuelven menos resistentes al cuarteo.

Esta variación en los resultados se justifica al evaluar el movimiento de estas piezas antes y después del recalentamiento a la temperatura ideal. A diferencia de lo visto en la Figura 2, las piezas recalentadas a 300°C se mueven mucho menos. Este resultado, mostrado en la Figura 4, indica que reducir la temperatura en 200°C genera un menor movimiento en las capas constituyentes de la pieza, y no conduce a la formación o aumento de tensiones de tracción en la capa de esmalte.

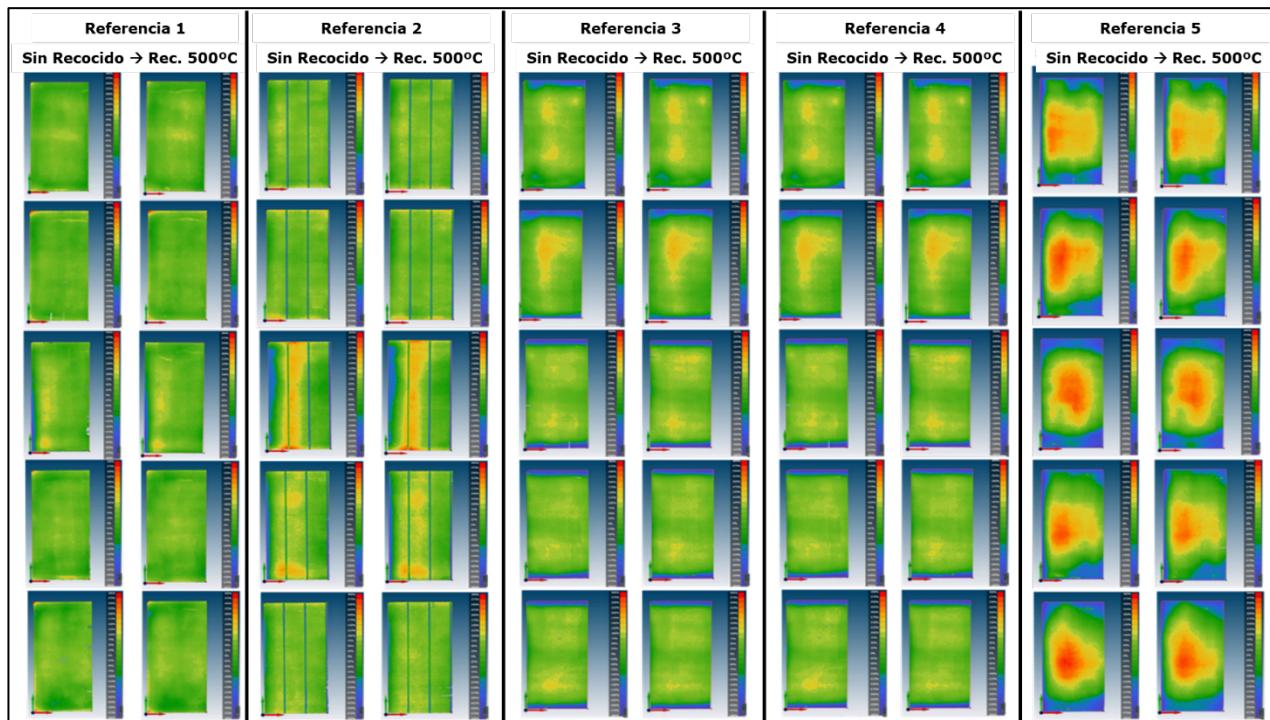


Figura 4. Efectos del recalentamiento a 300°C sobre la curvatura de las piezas.

4. CONCLUSIÓN

Los resultados obtenidos en este trabajo indican claramente que el recalentamiento a 500°C prescrito por la norma ISO 10.545-11 en las etapas preliminares del ensayo de resistencia al cuarteo no cumple su función de recuperar el estado tensional original de las baldosas cerámicas después de su fabricación. Contrariamente a lo esperado, el procedimiento realizado como tal promueve movimientos inesperados en las capas de engobes y esmaltes de los productos comerciales BIIb evaluados en este trabajo, generando curvaturas cóncavas y esfuerzos de tracción en la superficie de estos productos, generando directamente una reducción en la resistencia al cuarteo de las baldosas cerámicas.

Cabe destacar que la eliminación del agua absorbida y adsorbida tras la fabricación de las baldosas cerámicas se puede completar completamente mediante un tratamiento térmico a 300°C. El recalentamiento a esta temperatura (inferior a los 500°C prescritos en el ensayo normativo) es más eficaz para recuperar el estado original de las baldosas cerámicas, ya que no favorece los mismos cambios en el estado de tensiones de los esmaltes que se produce con el recalentamiento a 500°C. A la vista de estos resultados, se considera muy recomendable que, en futuras revisiones de las normas existentes para el ensayo de resistencia al cuarteo de productos cerámicos esmaltados, se considere la temperatura de cocción de 300°C, sustituyendo la actual de 500°C.

5. REFERENCIAS

- [1] AMORÓS, J.L. et al. Acordo esmalte-suporte (I): A falta de acordo como causa do empenamento. Cerâmica Industrial, v. 1, n. 4/5, p. 06-13, 1996.
- [2] ENRIQUE, J.; BELTRÁN, V.; NEGRE, P.; FELIÚ, C. Acuerdo esmalte - soporte (VI). Determinación de la resistencia al cuarteo de piezas cerámicas. Técnica Cerámica, n.183, 1990
- [3] CALLISTER, W. D., RETHWISCH, D. G. Ciência e Engenharia de Materiais - Uma Introdução, Editora LTC, 2000, p. 242.
- [4] NASTRI, S. et al. A expansão por umidade (EPU) revisitada 20 anos depois: convivendo com a inevitabilidade da EPU. Cerâmica Industrial, v. 20, n. 1, p. 24-29, 2015.
- [5] Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR ISO 10545-11 Placas cerâmica. Parte 11: Determinação da resistência ao gretamento de placas esmaltadas. Rio de Janeiro, p.3, 2017.
- [6] NASTRI, S. et al. Influência da Temperatura de Requeima e Tempo de Hidratação sobre a Expansão por Umidade de Revestimentos Cerâmicos. Cerâmica industrial, v. 21, n. 1, 2016.