

Cuarteo

Descripción

Se denomina “*cuarteo*” a la formación tras la cocción de un reticulado, o conjunto de fisuras (figuras 1 y 2) limitadas a la capa del esmalte.

Una aclaración necesaria: Como ya se ha indicado en la ficha de “*comentarios generales*” a los esmaltes cerámicos, en algunas ocasiones, algunos defectos, o al menos algunos de los así considerados en gran parte de la bibliografía consultada, no pueden ser tenidos como tales o incluso, a veces, se trata de verdaderos “efectos estéticos”. El caso más paradigmático quizás sea el del cuarteo. Es evidente que si el cuarteo aparece en baldosas colocadas en un baño, donde tiene una doble finalidad, tanto decorativa, como higiénica, debe ser considerado como un defecto, puesto que su aparición merma una de las finalidades de las baldosas, concretamente la higiénica. Lo mismo podríamos decir del cuarteo en una vajilla de uso corriente; en un recipiente destinado a contener alimentos o en un aparato de uso sanitario. En cambio, el cuarteo es un efecto buscado en muchas ocasiones en la formulación de esmaltes para cerámica artística y no puede ser considerado, en este caso, como un defecto.



Figura 1 Esmalte opaco cuarteado. Fotografía: Ana Monferrer.



Figura 2 Esmalte transparente cuarteado. Fotografía: Rafa Galindo.

Causas del defecto

El cuarteo se produce cuando el esmalte se ve sometido a fuerzas de tracción superiores a su resistencia mecánica. ¿Cuándo se producen estas fuerzas? Según el momento y la causa de su aparición, se tienen **dos tipos de cuarteo** ^{(1) (2)}:

- **Cuarteo inmediato:** Se produce durante la fase de enfriamiento del ciclo de cocción y es debido a una mayor contracción del esmalte respecto al soporte ^{(1) (2) (3) (4)}. Este cuarteo ocurre de la siguiente manera: durante la fase de calentamiento del ciclo de cocción de un producto cerámico (bicocción) se produce una expansión del soporte a causa del progresivo aumento de su temperatura y un reblandecimiento del esmalte, que pasa progresivamente al estado líquido. Durante esta fase del ciclo de cocción no existen tensiones entre el esmalte (líquido) y el soporte (sólido con una fase líquida). Al alcanzar la temperatura de cocción, el esmalte es un líquido que se adapta al tamaño y forma del soporte. Durante el enfriamiento, sin embargo, se produce una contracción del soporte y una solidificación y contracción del esmalte, hasta llegar a la temperatura ambiente. Ambos, soporte y esmalte, son sólidos con diferente composición y propiedades y están íntimamente unidos por la interfase en la que ambos han reaccionado así que, **si durante el enfriamiento el esmalte contrae más que el soporte**, se ve sometido a fuerzas de tracción por parte del soporte que pueden llegar a agrietarlo, provocando el defecto conocido como “cuarteo” (*).
- **Cuarteo diferido:** Se produce mucho tiempo después de cocido y se debe a la ligera expansión que puede sufrir el soporte al reaccionar químicamente con el agua adsorbida a través de sus poros (**). Si el soporte reacciona con el agua sufre una ligera expansión conocida como “expansión por humedad” y el esmalte es entonces sometido a fuerzas de tensión para acompañar este aumento de dimensiones del soporte ⁽³⁾. Estas fuerzas de tensión pueden fisurar el esmalte provocando su cuarteo. Este defecto se da en ocasiones en algunas baldosas de revestimiento colocadas en ambientes húmedos o en cerámicas

porosas antiguas, por lo que, a veces para imitar efectos de cerámicas antiguas se provoca el cuarteo del esmalte.

(*) En cambio, si es el soporte quien contrae a mayor velocidad que el esmalte, este se ve sometido a fuerzas de compresión para adaptar su tamaño al del soporte y si no puede soportar estas fuerzas de compresión puede llegar a despegarse del soporte, provocando un defecto conocido como “**desconchado**”.

(**) En las baldosas cerámicas puede darse también el cuarteo diferido a causa de la contracción experimentada por el mortero que une las baldosas de revestimiento a la pared ^{(1) (2) (5)}.

¿Cómo solucionarlo?

Las líneas de actuación para solucionar este defecto difieren según el tipo de cuarteo:

Actuaciones posibles para solucionar defectos de **cuarteo inmediato** (*):

- **Disminuir**, en la medida de lo posible, el **coeficiente de dilatación del esmalte**: Existen diferentes vías para esto:
 1. Disminuir la proporción de alcalinos y compensar la pérdida de fundencia y brillo que ello provoca con un ligero aumento de la proporción de boro (añadiendo colemanita o una frita borácica).
 2. Adicionar alúmina y compensar de igual manera la pérdida de fundencia y brillo.
- **Aumentar**, en la medida de lo posible, el **coeficiente de dilatación de la pasta**: También existen diferentes vías para esto:
 1. **Añadir cuarzo** (**) y compensar la pérdida de fundencia y plasticidad, si es posible, con una arcilla fundente y plástica o con bentonita.

Actuaciones posibles para solucionar defectos de **cuarteo diferido**:

- El agua reacciona especialmente con las fases amorfas hidratando y expandiendo el soporte, y en cambio lo hace mucho menos con fases cristalinas. La adición de **CaCO₃ o una arcilla calcárea a la composición de la pasta** (***) hasta obtener algo más del 10 % de CaO en la composición, permite la formación de una estructura cristalina que rebaja la expansión por humedad. Esto implica, prácticamente, una **reformulación** a fondo de la pasta del soporte.

(*) Casi todas las actuaciones para solucionar el cuarteo inmediato de basan en la modificación de los coeficientes de dilatación del esmalte o del soporte, lo que implica que se modifican también sus composiciones; por lo que deberán comprobarse los resultados, probando primero los esmaltes y/o modificar, si es posible, la curva de cocción para adaptarla a la nueva composición.

(**) El cuarzo aumenta el coeficiente de dilatación del soporte si, tras la cocción permanece como cuarzo libre (cristalino) sin reaccionar. En cambio si reacciona, formando una fase amorfa, disminuye el coeficiente de dilatación, teniendo de esta manera el efecto contrario al deseado. Esta solución, por tanto, podrá ensayarse, especialmente, en pastas de baja temperatura en las que es más difícil que el cuarzo reaccione.

(***) Según la proporción de SiO₂, Al₂O₃ y CaO en la composición del soporte se forman fases cristalinas de anortita (CaO·Al₂O₃·2SiO₂), gelenita (2CaO·Al₂O₃·SiO₂) y/o pseudowollastonita (CaO·SiO₂).

¿Quieres saber más?

¿Qué es el coeficiente de dilatación?

Se entiende por **dilatación térmica** de un material la variación dimensional producida al aumentar su temperatura. Esta variación de dimensiones tiene su origen en la vibración térmica molecular del material causada por el calor. La medida de esta variación es el “**coeficiente de dilatación**”, que es, por tanto, un parámetro que mide la variación de dimensiones respecto a la dimensión inicial para una determinada variación de temperatura.

Generalmente se emplea el **coeficiente de dilatación lineal** (α) que se refiere a variaciones de longitud:

$$\alpha = \frac{1}{L_0} \cdot \frac{\Delta L}{\Delta T}$$

Siendo

- L₀ Longitud inicial del material (mm)
- ΔL Variación de longitud (mm) experimentada durante un intervalo de temperaturas ΔT (°C)

El coeficiente de dilatación lineal se expresa, por tanto, en **°C⁻¹**

En algunos textos puedes encontrarte también con referencias al coeficiente de dilatación superficial (β) o al coeficiente de dilatación volumétrico (γ)

$$\beta = \frac{1}{S_0} \cdot \frac{\Delta S}{\Delta T}$$

Siendo

S_0 Superficie inicial del material (mm²)
 ΔS Variación de superficie (mm²) experimentada durante un intervalo de temperaturas ΔT (°C).

$$\gamma = \frac{1}{V_0} \cdot \frac{\Delta V}{\Delta T}$$

Siendo

V_0 Volumen inicial del material (mm³)
 ΔS Variación de volumen (mm³) experimentada durante un intervalo de temperaturas ΔT (°C).

Ambos coeficientes se expresan también en $^{\circ}\text{C}^{-1}$

Con gran aproximación, se cumple que ^{(6) (7)}:

$$3\alpha = \gamma$$

$$2\alpha = \beta$$

El coeficiente de dilatación varía con la temperatura (es la pendiente de la curva dilatométrica en cada punto), por lo que el valor real del coeficiente de dilatación lineal a una determinada temperatura viene dado por:

$$\alpha = \frac{1}{L_0} \cdot \frac{dL}{dT}$$

Frecuentemente se toman valores medios del coeficiente de dilatación en un intervalo dado de temperaturas y en este caso se indica mediante subíndices las dos temperaturas que limitan el intervalo, así por ejemplo α_{20-400} significa coeficiente de dilatación lineal medio entre 20 y 400 °C.

¿Cómo se mide el coeficiente de dilatación? Dilatometrías.

Más que el coeficiente de dilatación, lo que se mide experimentalmente es el comportamiento dilatométrico de esmaltes y soportes mediante un equipo denominado **dilatómetro** que mide la variación con la temperatura de las dimensiones de una probeta de dimensiones iniciales conocidas. El resultado del ensayo puede expresarse mediante una gráfica denominada **dilatometría**, en la que se representa en ordenadas la variación relativa de longitud de una probeta respecto a su longitud inicial (puede expresarse en %) y en abscisas la temperatura. La pendiente de la curva obtenida en cada punto (es decir, en cada temperatura) es el coeficiente de dilatación a dicha temperatura. La pendiente entre dos temperaturas representa el coeficiente de dilatación entre ambas temperaturas.

En la figura 3 puedes ver la dilatometría de una pasta cerámica cocida. Observa que sobre 573 °C se produce un salto correspondiente a la transformación alotrópica *cuarzo* $\alpha \rightarrow$ *cuarzo* β (ver ficha "desventado").

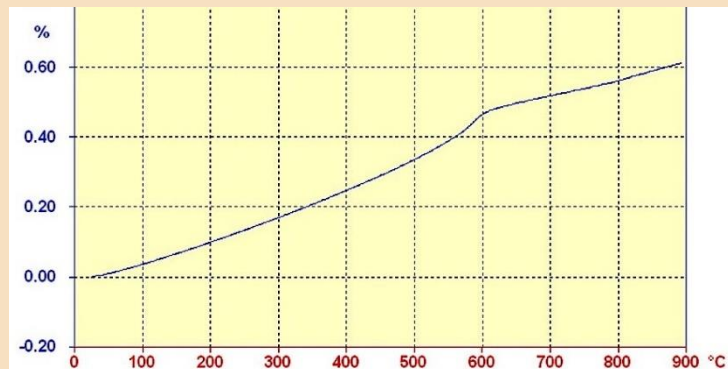


Figura 3 Curva dilatométrica correspondiente a una pasta cerámica cocida. Fuente: Rafa Galindo.

En la figura 4 se muestra la dilatometría de un esmalte cocido. Como puedes ver es bastante diferente a la del soporte. En ella se aprecian tres puntos característicos:

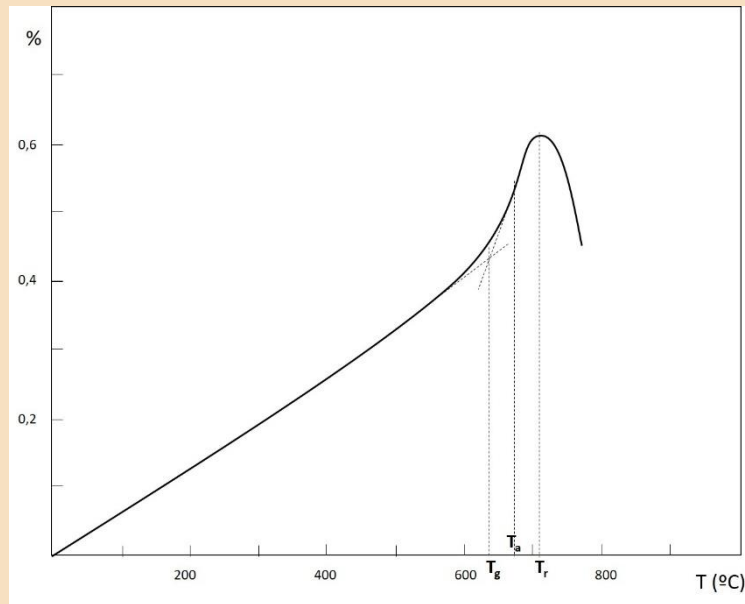


Figura 4. Curva dilatométrica correspondiente a un esmalte cocido. Imagen: Rafa Galindo.

T_g : Temperatura de transformación del esmalte. Es el punto resultante de la intersección de las prolongaciones de los dos tramos rectilíneos de la curva, que convencionalmente se considera la temperatura de transformación del esmalte ⁽⁵⁾. Durante el primer tramo aproximadamente rectilíneo, el vidriado conserva su rigidez mecánica y el segundo tramo representa la dilatación del vidriado reblandecido.

T_r : Temperatura de reblandecimiento del esmalte. El esmalte se convierte en un líquido viscoso y la dilatometría acaba aquí. La pendiente negativa se debe a que el portamuestras del dilatómetro hace presión sobre la probeta reblandecida, contrayéndola.

T_a : Temperatura de acoplamiento efectivo entre el esmalte y el soporte. Es la media de las dos temperaturas anteriores ⁽⁷⁾:

$$T_a = \frac{T_g + T_r}{2}$$

Se considera que por arriba de esta temperatura, el esmalte se comporta como un fluido viscoso que se adapta a los cambios dimensionales del soporte; en cambio, por debajo de esta temperatura el esmalte se comporta como un sólido rígido íntimamente unido al soporte y, por tanto, las variaciones dimensionales de uno afectan al otro.

Por debajo de la temperatura de acoplamiento efectivo (T_a), si el esmalte y el soporte experimentan contracciones diferentes durante el enfriamiento, se originarán tensiones entre ambos materiales que pueden provocar cuarteo, desconchado y, en placas planas, curvaturas.

Diferencias de contracción entre el esmalte y el soporte durante el enfriamiento.

La causa del cuarteo inmediato y del desconchado de esmaltes se encuentra en las diferencias de contracción entre el esmalte y el soporte durante la fase de enfriamiento del ciclo de cocción. Puede medirse esta diferencia de contracción superponiendo las dilatometrías de ambos materiales y haciéndolas coincidir en la temperatura de acoplamiento efectivo (T_a) ⁽⁷⁾, tal como puedes ver en la figura 5. En esta figura se observa que, pese a tener coeficientes de dilatación semejantes, (observa que las pendientes a bajas temperaturas de ambas curvas son muy similares) el esmalte contrae más que el soporte y dado que ambos están íntimamente unidos por la interfase, el soporte ejerce fuerzas de tensión sobre el esmalte (lo estira para que mantenga las mismas dimensiones que el soporte) que pueden llegar a cuartearlo. Naturalmente, la aparición del cuarteo dependerá también de otros factores como la elasticidad del soporte y del esmalte y la resistencia a la tensión de este último.

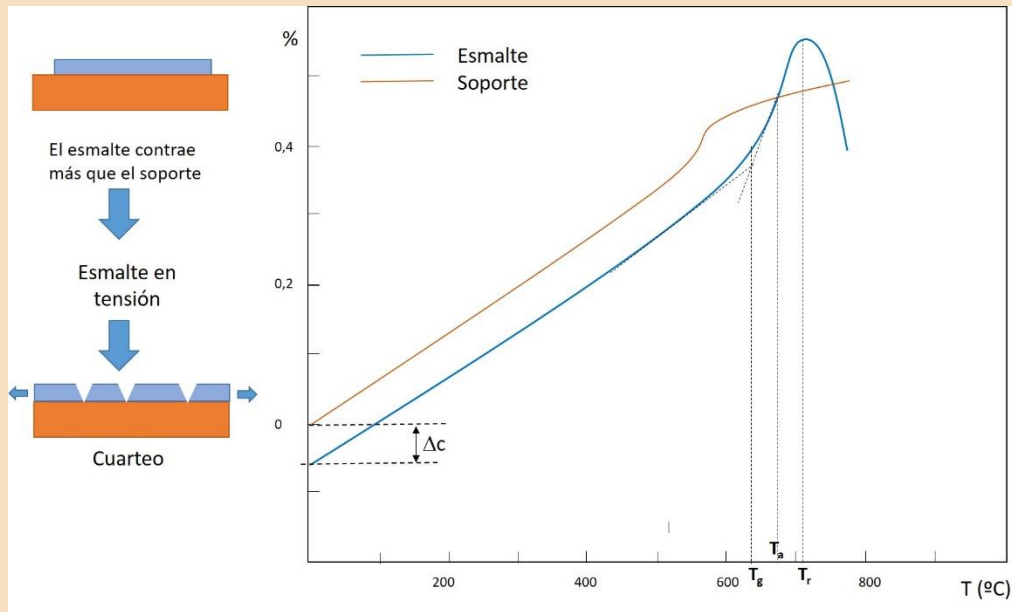


Figura 5. Cuarteo: Superposición de curvas dilatométricas de soporte y esmalte. El esmalte contrae más que el soporte.
Imagen: Rafa Galindo.

¿Qué es la expansión por humedad?

Algunos productos porosos pueden llegar a sufrir expansiones cuando se les deja por algún espacio de tiempo (variable según la composición del soporte) en contacto con la humedad ambiente.

La expansión se produce por la reacción de la humedad con fases amorfas ⁽⁴⁾ (de gran superficie específica). Esta se produce por rotura de las uniones $-Si-O-Si-$ para dar $-Si^+$ y $-Si-O^-$ que permiten la quimiadsorción de agua con saturación de las valencias libres, responsables de la expansión irreversible sufrida por los materiales. Tras esta quimiadsorción, tiene lugar una adsorción de más cantidad de agua por fuerzas de Van der Waals ⁽¹⁾.

Este proceso es más difícil en estructuras cristalinas, a causa de su menor superficie específica, lo que provoca que existan muchas menos valencias saturadas.

Bibliografía

- (1) AMORÓS ALBARO, J.L. et al. "Defectos de fabricación de pavimentos y revestimientos cerámicos". Pgs. 125 a 134. AICE-ITCE. Conselleria d'Industria de la Generalitat Valenciana. València, 1991.
- (2) AMORÓS ALBARO, J.L. et al. "Acuerdo esmalte-soporte (I). Causas y factores de los que depende". Técnica cerámica, 178 Pgs 582-592 (1989).
- (3) FRASER, H. "Ceramic faults and their remedies". Pg.73. A&C Black. London, 1986.
- (4) LAURS, A. "El cuarteo y el desconchado del esmalte". Boletín de la Sociedad Española de Cerámica y Vidrio. Vol. 16. Nº 1. (1977). Disponible en <http://boletines.secv.es/upload/197716003.pdf> Consulta [18/11/2018].
- (5) ENRIQUE NAVARRO, J.E.; NEGRE MEDALL, F. "Tecnología cerámica. Vol. 5. Esmaltes cerámicos". Pg. 1035. Universidad de Valencia. València, 1985.
- (6) FERNANDEZ NAVARRO, J. M. "El vidrio". Colección Textos Universitarios. Vol VI. 2ª Ed. Pg 384. Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC). Madrid, 1991.
- (7) AMORÓS ALBARO, J.L. et al. "Acuerdo esmalte-soporte (II). Expansión térmica de soportes y esmaltes cerámicos". Técnica cerámica, 179 Pgs 644-657. (1989).