

# LÁMINAS GRANDES DE GRES PORCELÁNICO: PROPIEDADES TECNOLÓGICAS Y DE PROCESO

**<sup>(1)</sup> C. Zanelli, <sup>(1)</sup> M. Raimondo, <sup>(1)</sup> G. Guarini, <sup>(2)</sup> F. Marani,  
<sup>(2)</sup> L. Fossa, <sup>(1)</sup> M. Dondi**

<sup>(1)</sup> ISTECCNR, Instituto de Ciencia y Tecnología Cerámica,  
Faenza (Italia)

<sup>(2)</sup> SYSTEM Group, Fiorano Modenese (Italia)

chiara.zanelli@istec.cnr.it

## RESUMEN

Las láminas grandes de gres porcelánico, de hasta 360x120 cm y 3 mm de grosor, pueden doblarse y usarse en varias aplicaciones, desde la edificación y la construcción (suelos, recubrimientos de pared, fachadas ventiladas, túneles, paneles de aislamiento) hasta muebles para interior (p. ej. cubiertas de mesas, puertas, paneles). Las láminas de gran tamaño se fabrican usando un proceso cerámico innovador, empezando bien a partir de materias primas convencionales o premoltradas, con mezcla en húmedo de bolas, granulación de polvo por atomización, conformado mediante prensas especiales, una sola fase de secado y cocción rápida, con temperatura máxima de aproximadamente 1200°C, y acabado (rectificación, pulido, funcionalización). Las muestras industriales se seleccionaron para investigar su comportamiento tecnológico, así como sus características composicionales y microestructurales. Se determinaron las siguientes características: absorción de agua, porosidad abierta y cerrada, densidad aparente; composición de fases; propiedades mecánicas (módulo de ruptura, módulo de Young, tenacidad de fractura); resistencia a la abrasión profunda, resistencia química y a las manchas; resistencia al choque térmico y a los ciclos de hielo/deshielo. Además, se

investigó también la microestructura (microscopía electrónica de barrido), tanto en secciones pulidas como en la superficie, y la distribución del tamaño de poros de los soportes cocidos y crudos, así como su comportamiento durante la sinterización. Se encontraron prestaciones muy destacadas en las láminas de gres porcelánico, tanto en las grandes como en las delgadas. La absorción de agua es muy baja ( $<0.1\%$ ) de acuerdo con la velocidad de sinterización alta. Las propiedades mecánicas cumplen los requisitos de alta calidad de baldosas de gres porcelánico: módulo de ruptura (60-70 MPa), módulo de Young (68 GPa) y tenacidad de fractura ( $1.3 \text{ MPa m}^{1/2}$ ), implicando que este proceso innovador proporciona un alto grado de resistencia mecánica pero no productos rígidos, que son duros y poco sensibles a los poros relativamente gruesos (tamaño de defecto crítico  $\sim 200 \mu\text{m}$ ). Se cumplen los requisitos tecnológicos estándar, siendo resistentes a la abrasión profunda ( $160 \text{ mm}^3$ ), a los químicos, al choque térmico, y a los ciclos de hielo/deshielo. Las baldosas grandes muestran una microestructura compacta con poros cerrados (5-8%) que presentan un tamaño máximo de  $50 \mu\text{m}$ , en su mayor parte con formas irregulares. La composición de fases de las láminas grandes es análoga a la de las baldosas de gres porcelánico, que consisten en una abundante fase vítrea (65-80% en peso), un bajo contenido de feldespato y de cuarzo residual, y la formación de fases de mullita.

## 1. INTRODUCCIÓN

En el mercado de la baldosa ha habido un importante aumento del índice de crecimiento del gres porcelánico en la última década, debido a las propiedades tecnológicas que posee y a un aspecto estético que ha sido mejorada considerablemente. [1-10]. Las últimas tendencias del mercado están claramente orientadas hacia las grandes dimensiones y, más recientemente, incluso hacia una reducción de los grosores de las baldosas, pero estas tendencias tienen que enfrentarse a limitaciones tecnológicas muy importantes (por ejemplo, la relación potencia de prensa/tamaño de baldosa). La única forma de superar estas limitaciones es usar innovaciones tecnológicas que incluyan un nuevo enfoque en cuanto a los tratamientos de conformación y térmicos, capaces de producir grandes láminas de gres porcelánico con dimensiones de hasta  $4 \times 1.5$  metros cuadrados y tres milímetros de grosor. Estos productos son singulares, ya que combinan excelentes características tecnológicas con un grado de flexibilidad sin igual, y el resultado es un potencial asombroso en cuanto a aplicaciones novedosas. Las láminas, incluso en compuestos multicapa con fibra de vidrio entre las capas, son idóneos para exteriores como para interiores, para la edificación y la construcción (suelos, recubrimiento de paredes, tejados, fachadas ventiladas, revestimientos de túneles, y paneles aislantes, así como en muebles para barcos) y para muebles de interior (por ejemplo puertas, cubiertas de mesas, paneles). Además, estas láminas pueden usarse como soporte para células fotovoltaicas y su superficie puede ser decorada y funcionalizada.

Este trabajo tiene como objetivo la caracterización de las principales propiedades mecánicas, tecnológicas, tribológicas y funcionales de las láminas de gres porcelánico industrial obtenidas mediante un ciclo de fabricación innovador denominado "Lamina", cuyas prestaciones son comparables a las de las baldosas de gres porcelánico convencionales.

## **2. DESARROLLO EXPERIMENTAL**

Se seleccionaron láminas de tres fabricantes y se midieron las características tecnológicas tanto en productos cocidos como en productos crudos (es decir, la cabeza, el medio y la cola), se muestrearon para evaluar cualquier falta de homogeneidad en las propiedades tecnológicas.

Se investigó, en las láminas crudas, la distribución del tamaño de partícula (ASTM C958), la densidad aparente, la microestructura (MEB) y la distribución del tamaño de poro (Porosimetría por Intrusión de Mercurio).

Las láminas acabadas se caracterizaron determinando: la absorción de agua, la porosidad abierta, y la densidad aparente (ISO 10545-3); la porosidad cerrada y total (ASTM C329); el módulo de ruptura (ISO 10545-4); el módulo de Young (ENV 843-2); la tenacidad de fractura (ENV 843-1); la resistencia a la abrasión profunda (ISO 10545-6); la resistencia química (ISO 10545-13) y a las manchas (ISO 10545-14); la dilatación térmica lineal (ISO 10545-8); la resistencia al choque térmico (ISO 10545-9) y a los ciclos de hielo/deshielo (ISO 10545-12). Se determinó, de forma cuantitativa, la composición de las fases, por medio de difracción del polvo por rayos X usando el método Rietveld-RIR. Se investigó la microestructura por medio de microscopía electrónica de barrido (MEB), sobre secciones de superficie y pulimentadas.

## **3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

### **3.1. Procesado de láminas grandes.**

Las grandes láminas de gres porcelánico se fabrican mediante un proceso cerámico innovador que se inicia a partir de materias primas convencionales o premolturadas. Los soportes consisten en formulaciones de gres porcelánico típico, siendo una mezcla de arcillas de bola, arenas de cuarzo-feldespáticas y feldespatos sódico-potásicos en diferentes proporciones (figura 1).

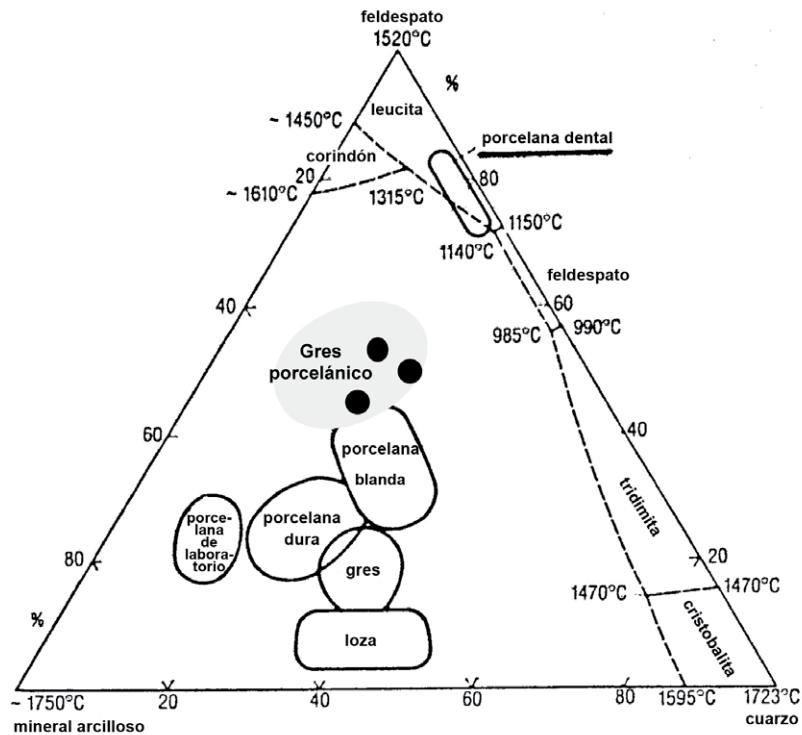


Figura 1. Formulaciones de soportes para láminas grandes (círculos completos) en comparación con distintos productos porcelánicos.

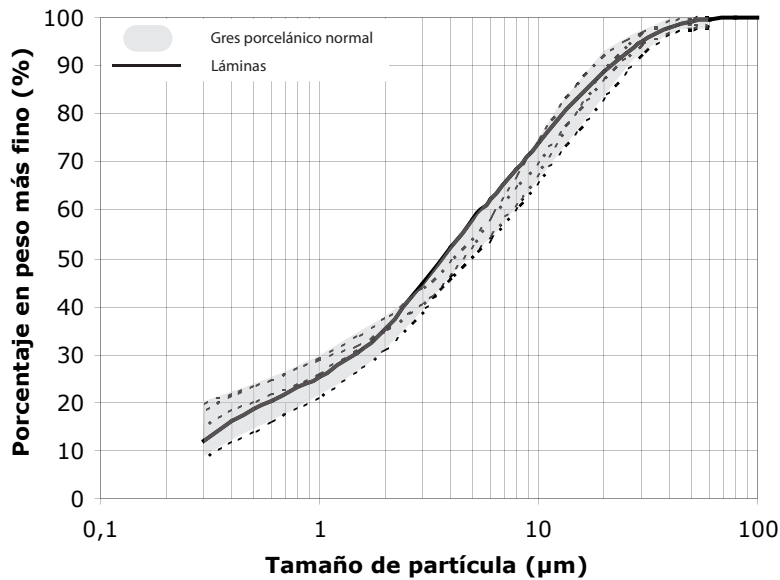


Figura 2. Distribución del tamaño de partícula para los soportes de láminas grandes y las baldosas de gres porcelánico.

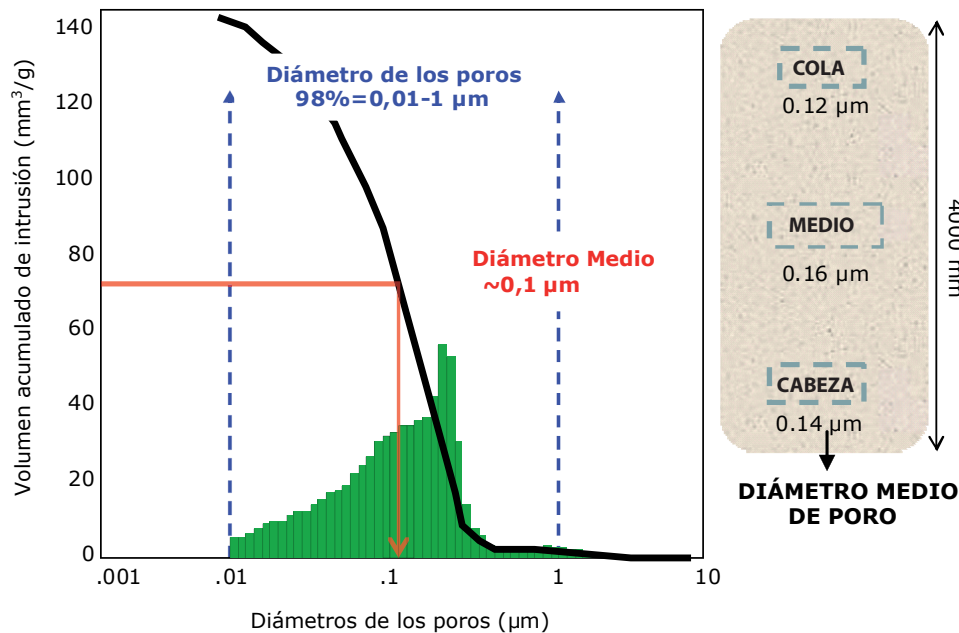


Figura 3. Distribución del tamaño de poro de una lámina cruda.

La distribución del tamaño de partícula de estos productos es de grano bastante fino con un diámetro medio de más o menos tres micras, dentro del campo granulométrico del gres porcelánico (figura 2).

El procesado incluye la mezcla en húmedo con bolas y granulación de polvo por medio de atomización. Se usa una prensa especial para obtener un soporte crudo por conformación sin restricción, en un molde sin matriz y con una curva de presión de velocidad baja en vez del principio del martillo usado convencionalmente en el prensado de baldosas.

Una vez con formadas, las láminas grandes se cortan y se las somete a una fase rápida y simple de secado y cocción que se lleva a cabo usando un secador de banda y un horno de rodillo (eléctrico o híbrido, alimentado con gas/electricidad) con una temperatura máxima de más o menos 1200°C en un tiempo de 30-45 min de frío a frío.

Las láminas se cortan hasta el tamaño deseado, por medio de rectificación y corte en seco, y se puede pegar un refuerzo de fibra de vidrio al dorso de la lámina: de esta forma se mejora considerablemente su flexibilidad y resistencia a la flexión, facilitando, por tanto, un transporte más fácil y permitiendo aplicaciones que van más allá de las clásicas del gres porcelánico. Además, se pueden realizar tratamientos superficiales: es decir, el pulido, la decoración, y la funcionalización (como por ejemplo, la autolimpieza).

### 3.2. Características de láminas crudas.

El prensado sin matriz usado para láminas grandes puede alcanzar unas densificación considerable durante el estado seco, que va desde 1.88 hasta 2.03 g/cm<sup>3</sup> dependiendo de la presión específica (p. ej. de 30 hasta 35MPa) y de las características del polvo (humedad, distribución del tamaño de partícula, composi-

ción mineralógica). Estos valores de densidad aparente son comparables o incluso superiores a los obtenidos por medio del prensado convencional de gres porcelánico ( $1.90\text{-}1.98\text{ g/cm}^3$ ), destacando la efectividad de la técnica de prensado. La uniformidad de prensado queda evidenciada por la modesta variación en las distintas partes de las láminas (intervalo de  $1.92\text{-}1.88\text{ g/cm}^3$ ) que corresponden a un 27.6-29.3% de los valores de la porosidad total (tabla 1). Además, la distribución del tamaño de poro está entre 0.01 y 1  $\mu\text{m}$ , con un valor medio de 0.1 $\mu\text{m}$ , sin diferencias significativas desde la cabeza a la cola (figura 3).

### 3.3. Características de láminas acabadas.

El comportamiento en la sinterización se ve fuertemente afectado por las características de los productos crudos. En las láminas cocidas, la uniformidad del comportamiento tecnológico se confirma por las variaciones limitadas de la absorción del agua, densidad aparente y porosidad cerrada, que a menudo se corresponden con la incertidumbre experimental (tabla 1).

| Productos       | Propiedades                           | Intervalo de valores para diferentes láminas | Cabeza           | Medio            | Cola             |
|-----------------|---------------------------------------|--|------------------|------------------|------------------|
| Láminas crudas  | Densidad aparente ( $\text{g/cm}^3$ ) | 1.88-2.03                                    | $1.921\pm 0.002$ | $1.915\pm 0.003$ | $1.884\pm 0.001$ |
|                 | Porosidad total (% vol.)              | 23-29  | $27.6\pm 0.2$    | $28.2\pm 0.3$    | $29.3\pm 0.01$   |
| Láminas cocidas | Absorción de agua (% en peso)         | 0.06-0.11                                    | $0.05 \pm 0.01$  | $0.06\pm 0.01$   | $0.07\pm 0.01$   |
|                 | Porosidad abierta (% en vol.)         | 0.14-0.25                                    | $0.13\pm 0.04$   | $0.14\pm 0.04$   | $0.16\pm 0.01$   |
|                 | Porosidad cerrada (% en vol.)         | 5.0-6.5                                      | $4.5\pm 0.2$     | $5.4\pm 0.3$     | $5.0\pm 0.3$     |
|                 | Porosidad total (% en vol.)           | 5.2-6.7                                      | $4.7\pm 0.2$     | $5.6\pm 0.2$     | $5.2\pm 0.2$     |
|                 | Densidad aparente ( $\text{g/cm}^3$ ) | 2.42-2.34                                    | $2.43\pm 0.01$   | $2.40\pm 0.01$   | $2.42\pm 0.02$   |

Tabla 1. Propiedades tecnológicas de láminas grandes crudas y cocidas. Ejemplo de las variaciones que se dan en diferentes partes de las láminas (cabeza, mitad y cola).

Las láminas se caracterizaron por medio de una microestructura compacta con poros pequeños y de forma irregular, y un tamaño máximo de 50  $\mu\text{m}$  (figura 4). Las láminas grandes presentan las siguientes características (figura 5):

- Valores muy bajos de absorción de agua, que generalmente están por debajo del 0.1%, según la velocidad de sinterización rápida;

- Porosidad cerrada entre 5-8 %, que se ajusta bien a los valores típicos del gres porcelánico;
- Densidad aparente entre 2.34-2.40 g•cm<sup>-3</sup> de acuerdo con el valor de las baldosas de gres porcelánico.

Desde el punto de vista mecánico, las láminas presentan módulos de ruptura entre 65-70 MPa, bastante por encima del requisito normativo de 35 MPa (ISO 13006), y entre los productos de gres porcelánico más resistentes. [11].

La tenacidad de fractura es de 1.26 MPa m<sup>1/2</sup> y el modulo de Young de 67.6 GPa, por tanto, dentro de los márgenes de alta calidad para los productos de gres porcelánico (tabla 3).

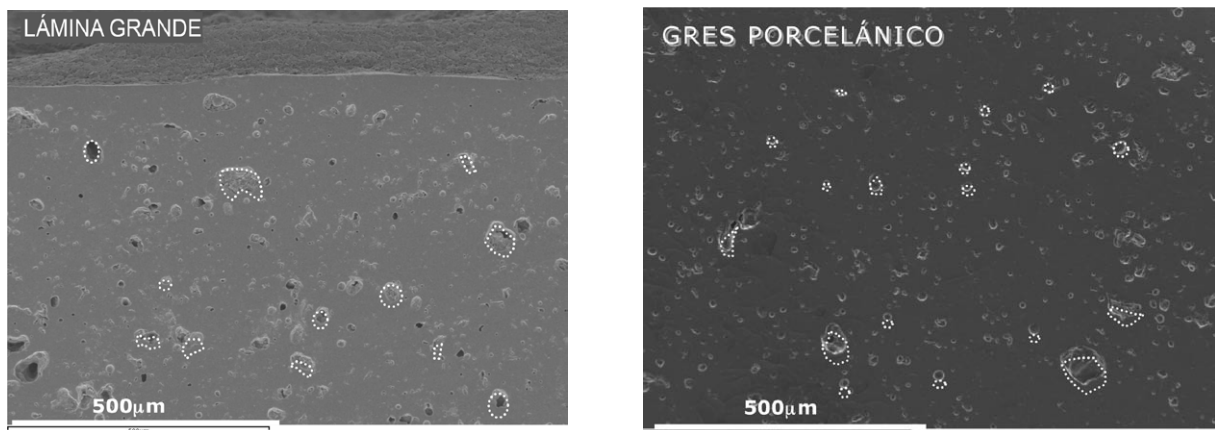


Figura 4. Microestructura de una lámina grande en comparación con el gres porcelánico típico (Micrografía MEB).

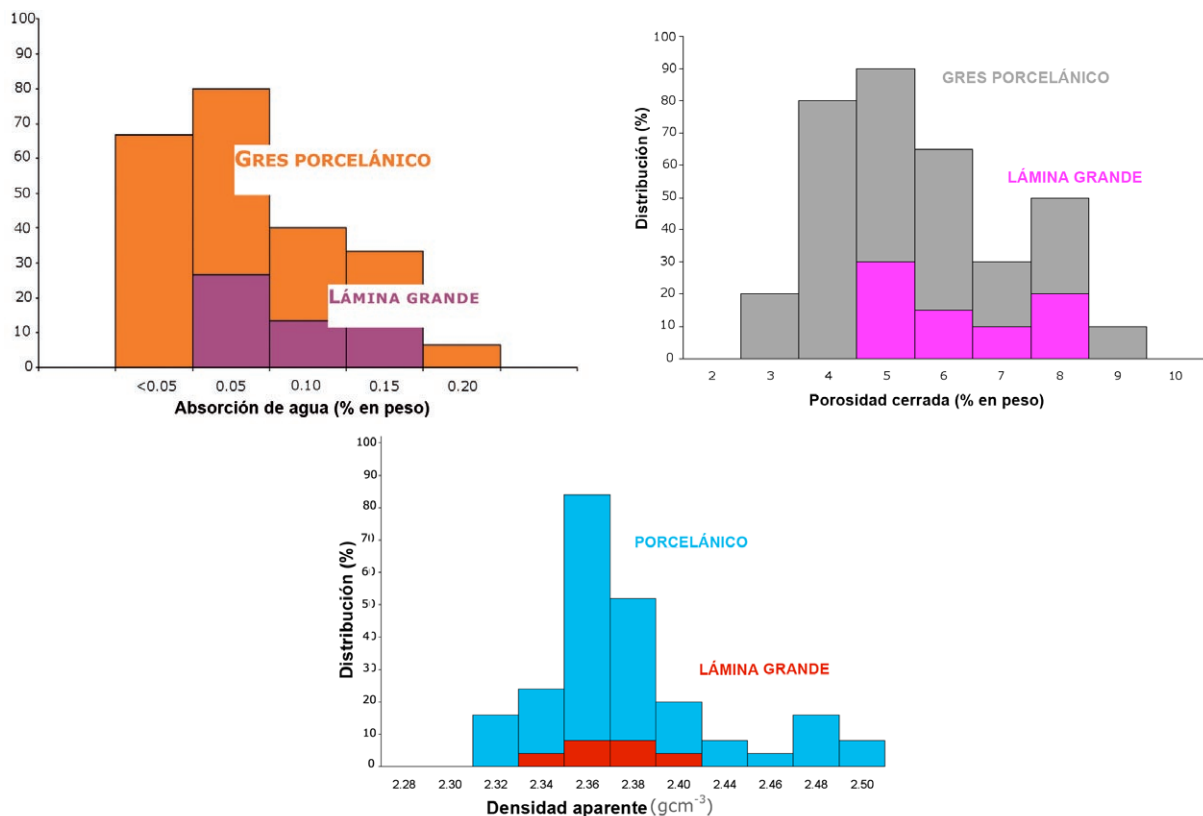


Figura 5. Principales propiedades tecnológicas de las láminas en comparación con las baldosas de gres porcelánico convencionales.



Además, el tamaño de defecto crítico, calculado en base al módulo de ruptura y a la tenacidad de fractura, es de más o menos 200  $\mu\text{m}$ , sugiriendo esto una sensibilidad limitada a poros relativamente gruesos. Las láminas de gran tamaño son duras y tienen una gran resistencia, pero no son productos rígidos, con un rendimiento mecánico igual o mejor que los de una baldosa de gres porcelánico típica.

La composición de fases de las láminas consiste en una abundante fase vítrea, cuarzo residual, feldspatos, y una pequeña cantidad de mullita de nueva formación (tabla 4). Se puede comparar a un gres porcelánico habitual, incluso si se dan cantidades bajas de cuarzo y cantidades mayores de fase vítrea en las formulaciones del soporte premoltradas.

Las principales formulaciones de tipo funcional de las grandes láminas cumplen los requisitos normativos de baldosas del grupo BIa (tabla 5). En particular, la resistencia al choque térmico, a la expansión por humedad, a la resistencia al hielo, la resistencia química, y la resistencia a las manchas, todas están muy por encima de los umbrales marcados por la norma, entrando dentro del campo de calidad máxima de baldosas cerámicas. Los valores de resistencia a la abrasión profunda y a la dilatación lineal térmica son completamente satisfactorios, aunque no están muy lejos de los requisitos normativos.

| Muestras                | Módulo de ruptura (MPa) | Tenacidad de fractura (MPa $\text{m}^{1/2}$ ) | Módulo de Young (GPa) | Tamaño de defecto crítico ( $\mu\text{m}$ ) |
|-------------------------|-------------------------|---|-----------------------|---|
| Láminas                 | 65-70                   | 1.2-1.3                                       | 67-68                 | 225-235                                     |
| Gres porcelánico típico | 35-85                   | 1.0-1.7                                       | 50-80                 | 100-800                                     |

Tabla 2. Propiedades mecánicas de las láminas en comparación con las baldosas de gres porcelánico típicas.

| Composición de fases (% en peso) | Cuarzo | Mullita | Plagioclasa | Fase vítrea |
|----------------------------------|--------|---------|-------------|-------------|
| Láminas                          | 11-17  | 7-9     | 2-10        | 65-80       |
| Gres porcelánico típico          | 15-25  | 5-15    | 0-5         | 55-70       |

Tabla 3. Composición de fases de las láminas en comparación con el gres porcelánico típico.



| Comportamiento                     | Valores normalizados para el gres porcelánico  | Valor de mercado para el gres porcelánico      | Láminas                                       |
|------------------------------------|--|--|---|
| Resistencia a la abrasión profunda | Volumen eliminado <math><175\text{mm}^3</math> | Volumen eliminado <math><150\text{mm}^3</math> | Volumen retirado <math>167\text{ mm}^3</math> |
| Dilatación térmica lineal          | Sin umbral                                     | $\cong 7.0 (x10^{-6}\text{°C}^{-1})$           | $5.5 (x10^{-6}\text{°C}^{-1})$                |
| Resistencia al choque térmico      | Sin umbral                                     | Sin alteración                                 | Sin alteración                                |
| Expansión por humedad              | Sin umbral                                     | <math><0.5</math>                              | 0.03 mm/m                                     |
| Resistencia al hielo               | Requerida                                      | Sin defectos visibles                          | Sin defectos visibles                         |
| Resistencia química                | Clase mínima GB-UB                             | Clase mínima GB-UB                             | Clase GA-GLA                                  |
| Resistencia a las manchas          | Clase mínima 3                                 | CLASE 3-5                                      | Clase 5                                       |

Tabla 4. Comportamiento tecnológico de las láminas.

#### 4. CONCLUSIONES

Las láminas grandes fabricadas mediante el proceso innovador "Lamina" son singulares por sus dimensiones, su grosor y flexibilidad, junto con un excelente comportamiento técnico que las hace adecuadas para una amplia gama de usos finales. Las láminas representan una nueva tipología de producto cerámico con aplicaciones innovadoras, caracterizándose por una versatilidad incomparable entre los materiales cerámicos para la construcción y por presentar características extraordinarias para materiales cerámicos: son flexibles, ligeras, y presentan una decoración estética.

#### BIBLIOGRAFÍA

- [1] Manfredini T., Pellacani G.C., Romagnoli M., Porcelainized stoneware tiles, Am. Ceram. Soc. Bull 1995, 74, 76-79.
- [2] Tenorio Cavalcante P. M., Dondi M., Ercolani G., Guarini G., Melandri C., Raimondo M., The influence of microstructure on the performance of white porcelain stoneware. Ceram. Int., 2004, 30, 953-963.
- [3] Dondi M., Ercolani G., Guarini G., Raimondo M., Cavalcante Tenorio P.M., Zanelli C., Resistance to deep abrasion of porcelain stoneware tiles: key factors, Ind. Ceram. 2005, 25, 71-78.

- [4] Dondi M., Guarini G., Raimondo M., Almendra E.R., Cavalcante Tenorio P.M., The role of surface microstructure on the resistance to stains of porcelain stoneware tiles, *J. Eur. Ceram. Soc.* 2005, 25, 357–365.
- [5] Dondi M., Ercolani G., Marsigli M., Melandri C., Mingazzini C., The chemical composition of porcelain stoneware tiles and its influence on microstructure and mechanical properties, *InterCeram* 1999, 48, 75–83.
- [6] Zanelli C., Dondi M., Guarini G., Raimondo M., Roncarati I., Influence of strengthening components on industrial mixture of porcelain stoneware tiles. *Key Engineering Materials*, 2004, 264-268, 1491-1494.
- [7] Tenorio Cavalcante P.M., Dondi M., Ercolani G., Guarini G., Melandri C., Raimondo M., Rocha e Almendra E., The influence of microstructure on the performance of white porcelain stoneware. *Ceram. Int.*, 2004, 30, 953-963.
- [8] Dondi M., Guarini G., Raimondo M., Almendra E.R., Cavalcante Tenorio P.M., The role of surface microstructure on the resistance to stains of porcelain stoneware tiles. *J. Eur. Ceram. Soc.*, 2005, 25, 357-365.
- [9] Tucci A., Esposito L., Malmusi L., Rambaldi E., New body mixes for porcelain stoneware tiles with improved mechanical characteristics, *J. Eur. Ceram. Soc.*, 2007, 27, 1875-1881.
- [10] Leonelli C., Bondioli F., Veronesi P., Romagnoli M., Manfredini T., Pellacani G., Cannillo V., Enhancing the mechanical properties of porcelain stoneware tiles: a microstructural approach *J. Eur. Ceram. Soc.*, 2001, 21, 785-793.
- [11] ISO 13006, *Ceramic Tiles-Definitions, Classifications, Characteristics and Marking*, international Organization for Standardization, 1998.