

Januar/Februar 1-2/2003

Ziegelindustrie International Brick and Tile Industry International

H7517



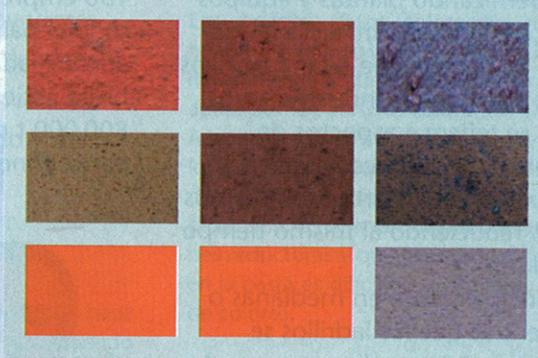
A CHEGADA DO CAHIOE AO RIO DE JANEIRO.

INDO ORADAR A AMERICA ASSUSTADA
QUE O GRILHÃO SE QUEBROU E A VIL COMORTE
DOS ASSASSINS VANDALOS FLU
E GLE A PATRIA DE HERDES O ALGAR

Con texto en español

bau||verlag
BertelsmannSpringer

Ziegelindustrie International Brick and Tile Industry International



Editorial

Cerámica de construcción de color

Conformado coloidal de materiales cerámicos:
métodos avanzados para materiales tradicionales

Los productores de fritas, vidriados, engobes
y colores cerámicos en Brasil

Talleres Felipe Verdés
Soluciones integrales para la cerámica estructural

II

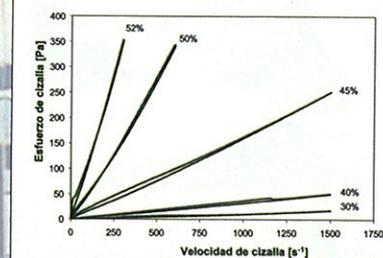
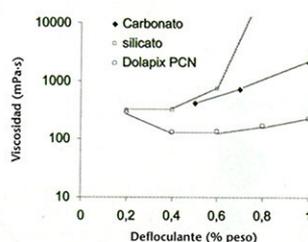
III

VIII

XIV

XVI

A CHEGADA DO CAHIQUE AO RIO DE JANEIRO



Vista general de la industria de ladrillos y tejas en Portugal

La industria portuguesa de ladrillos y tejas ha registrado un desarrollo positivo, siendo un ejemplo de ello la construcción de nuevas plantas equipadas con tecnologías de vanguardia y altas capacidades de producción. En estas plantas se fabrican productos de alta calidad que corresponden a las expectativas actuales que se tienen en cuanto a los materiales de construcción.

Además de estas nuevas instalaciones, se están reconstruyendo y modernizando plantas y equipos existentes realizando considerables inversiones de forma que la industria portuguesa de tejas y ladrillos se encuentra al mismo nivel que la industria europea, incluso en lo que se refiere a aspectos de protección medioambiental y sociales. Nuestras empresas tienen como objetivo alcanzar los mismos objetivos de desarrollo reduciendo al mismo tiempo los gastos de producción.

La tejas se fabrican principalmente en medianas o grandes empresas, mientras que los ladrillos se producen en plantas pequeñas, medianas y grandes. Los fabricantes de tejas son especialmente innovadores, respondiendo con tejados decorativos y una gama de productos ampliada a la demanda del mercado, que pide productos de alta calidad. La oferta de ladrillos tiene un carácter más tradicional y no es tan flexible, tanto en lo que se refiere a

los productos como al modo de construcción y los procesos de fabricación.

Para el año 2003 no esperamos modificaciones fundamentales en la industria de la construcción. En Portugal la fabricación y el empleo de productos cerámicos cuenta con una larga tradición. Existe la posibilidad de que la situación mejore si puede alcanzarse la estabilidad presupuestaria deseada. La producción de tejas y ladrillos se realiza en unas 150 empresas que se encuentran distribuidas por todo el país y que cuentan con una plantilla de aproximadamente 4 800 empleados. La producción bruta asciende a 5 200 000 t, que se subdividen en 800 000 t de tejas y 4 000 000 t de ladrillos. Esto corresponde a un valor global de 275 mill. de €, de los cuales 200 mill. de € corresponden a la producción de ladrillos y el resto a tejas y accesorios.



A. Galvão Lucas
Presidente
APICER - Portuguese
Association of Ceramic
Industry

Cerámica de construcción de color

Dipl.-Ing. Wolfgang Starke*,
Dipl.-Ing. Peter Lauterbach**, Dipl.-Ing. Michael Gerbert**,
Dipl.-Ing. Andrea Wloszczyński***, Dipl.-Ing. Jens Petzold***

Los fabricantes de ladrillos de fachada, clinker de pavimento y tejas desean afianzar su posición de mercado mediante las nuevas superficies y colores creativos. Este artículo describe como se pueden producir mediante aditivos colorantes y la técnica de cocción más avanzada productos innovadores coloreados por penetración y de elevada calidad. Con pasta coloreada por penetración también es posible obtener nuevos colores de vidriado y de engobado.

Situación

La cerámica de construcción coloreada se fabrica desde hace más de mil años. La técnica de producción ha evolucionado en la actualidad hasta la producción totalmente automática. De este modo se producen millones de unidades que cumplen con exigencias muy elevadas respecto a la calidad del producto.

Ladrillos de fachada, clinker de pavimento y tejas en el sentido actual según la norma DIN 105 y DIN EN 1344 o DIN EN 1304 son ladrillos cuya resistencia a las heladas, inalterabilidad, resistencia y características de material requeridas han sido demostradas mediante las pruebas pertinentes.

* Creaton Kera-Dach GmbH & Co. KG, Werk Gutttau, D-02694 Gutttau-Kleinsaubernitz

** AKA Oberlausitz Klinkerwerke GmbH, D-02894 Vierkirchen

*** Keramik-Institut GmbH Meißen, D-01662 Meißen

En los últimos años se ha multiplicado la demanda de ladrillos vistos. Por este motivo se fabrican hoy en día ladrillos vistos, clinker de pavimento y tejas en gran variedad de colores. La mayoría de las fábricas de tejas presentan p. ej. actualmente un porcentaje de producción de "Rojo natural" inferior al 10 por ciento. Este ejemplo es particularmente apto para ilustrar la demanda de productos coloreados.

Los ladrillos vistos coloreados se fabrican habitualmente mediante los posibles procesos de vidriado o engobado, mediante atmósferas de horno oxidantes o reductoras y la aplicación de aditivos colorantes a la pasta original.

A pesar de los costes elevados y de la propensión a roturas de los cantos por golpes dominan para la coloración las técnicas de engobado y de vidriado. Las razones para ello pueden ser p. ej. que los hornos no pueden ser operados bajo condiciones reductoras y que la introducción de los aditivos colorantes en la pasta es difícil y está limitada a un determinado número de colores.

Objetivo

El objetivo global de los trabajos conjuntos de las empresas Creaton Kera-Dach GmbH & Co. KG, AKA Oberlausitzer Klinkerwerke GmbH y de la Keramik-Institut GmbH ha consistido en obtener el mayor número posible de tonos de color mediante coloreado de la pasta. Durante estos ensayos se ha combinado la utilización de aditivos colorantes y la aplicación de las técnicas de cocción más avanzadas, con la posibilidad de crear atmósferas de cocción específicas. El objetivo fue reducir los costes de producción y permitir la fabricación de productos innovadores coloreados por penetración y de elevada calidad.

Tabla 1: Evaluación de posibles aditivos colorantes (pigmentos reciclados)

Aditivo	Tono color	Propiedades materia prima	Propiedades del material	Existencias [t/mes]	Distancias de transporte [km]	Costes [€/t]
Pigmento 1	azul	contenido elevado en CoO	Polvo insoluble en agua $d_{50} = 250 \mu\text{m}$	1	120	3 000
Pigmento 2	negro	contenido elevado en MnO y Fe ₂ O ₃	Polvo insoluble en agua $d_{50} = 250 \mu\text{m}$	1	120	1 500
Pigmento 3	azul-rojo-marrón	contenido elevado en Fe ₂ O ₃	Porción seca de barro	5	80	0

Tabla 2: Evaluación de posibles aditivos colorantes (cenizas)

Aditivo	Tono color	Propiedades materia prima	Propiedades del material	Existencias [t/mes]	Distancias de transporte [km]	Costes [€/t]
Ceniza 1	azul-rojo-marrón	contenido elevado en Fe ₂ O ₃	Polvo seco $d_{50} = 350 \mu\text{m}$	800	100	5
Ceniza 2	azul-rojo-marrón	contenido elevado en Fe ₂ O ₃	Polvo seco $d_{50} = 450 \mu\text{m}$	600	80	0

► For the next issue of the trade magazine 'ZI Brick and Tile Industry International' without obligation and free of charge please send a fax or an email.

Pick up information!

We have the content!

bau | | verlag
BertelsmannSpringer

BertelsmannSpringer Bauverlag GmbH
P.O. Box 120 · 33311 Gütersloh · Germany
Tel. +49 / 52 41 / 90-9 08 80

Fax +49 / 52 41 / 7 30 55
www.bauverlag.de
bauverlag.leserservice@bertelsmann.de

Tabla 3: Evaluación de posibles aditivos colorantes (polvos)

Aditivo	Tono color	Propiedades materia prima	Propiedades del material	Existencias [t/mes]	Distancias de transporte [km]	Costes [€/t]
Polvo de filtración	azul-rojo-marrón	contenido elevado en Fe ₂ O ₃	Polvo seco d ₅₀ = 150 µm	100	60	0
Polvo de esmerilado	amarillo claro, rojo claro	contenido elevado en Al ₂ O ₃ , SiO ₂ , CaO, Fe ₂ O ₃	Polvo seco d ₅₀ = 50 µm	20	250	0

En comparación con trabajos anteriores en las más diversas fábricas e instalaciones, estos trabajos se diferenciaron especialmente por la aplicación de mezcladores intensivos que permitían mezclar de forma homogénea incluso cantidades reducidas de colorantes para la pasta y la aplicación de técnicas de cocción innovadoras como p. ej. la hornada reductora, activación del absorbente de gases residuales y el enfriamiento bajo reducción [1-7]. De hecho, hoy es posible convertir un horno de forma que sea apto para un funcionamiento reductor; también existen dispositivos mezcladores que pueden mezclar cantidades reducidas de colorantes de forma homogénea con la pasta.

La selección de los aditivos colorantes se realizó en los grupos de materiales reciclados procedentes del esmaltado, de la industria del vidrio, materiales como el polvo de esmerilado y materiales reciclados con un elevado contenido de Fe₂O₃ procedentes de la industria metalúrgica. No se utilizaron sustancias contaminadas según criterios ecológicos.

Tabla 4: Cenizas en una pasta para clínker de pavimentado y tejas

Aditivo	Material base	Tipo de preparación	Color sin aditivo cocción oxidante	Color con 2,5 % de aditivo cocción oxidante	Color con 2,5 % de aditivo cocción reductora
Ceniza 1	Teja roja	húmedo Mezclador Eirich			
Ceniza 1	Clínker pavimentado rojo	húmedo Mezclador Eirich			
Ceniza 1	Clínker pavimentado amarillo	húmedo Mezclador Eirich			
Ceniza 2	Teja roja	húmedo Mezclador Eirich			
Ceniza 2	Clínker pavimentado rojo	húmedo Mezclador Eirich			
Ceniza 2	Clínker pavimentado amarillo	húmedo Mezclador Eirich			

Selección de posibles aditivos colorantes

Como aditivos colorantes se debían utilizar, en la medida de lo posible, materiales reciclados procedentes de otros ramos industriales diferentes. La selección se realizó según los siguientes criterios:

- ▶ Color deseado
- ▶ Propiedades de la materia prima
- ▶ Propiedades del material
- ▶ Cantidades en stock
- ▶ Distancias de transporte
- ▶ Costes

En función de los criterios arriba indicados se evaluaron los siguientes aditivos concebibles para una posible aplicación en una pasta para tejas o para clínker (Tablas 1 hasta 3).

De la tabla 1 se desprende que la utilización de pigmentos reciclados produce efectos cromáticos interesantes, pero que esta técnica origina costes de producción insostenibles. Incluso un pigmento compuesto reciclado no es aceptable bajo el punto de vista económico. Además, las cantidades de pigmento disponibles mensualmente sólo serían suficientes para una producción diaria. Microensayos han demostrado la posibilidad de utilizar los pigmentos de forma económica en determinadas condiciones: para la modificación de los tonos de color de una pasta existente (Imagen 1). Debido a su eficiencia es suficiente utilizar aproximadamente un 0,25 por ciento de la masa total. No obstante, la utilización de cantidades tan reducidas sólo es posible con una preparación muy intensiva de la pasta. En esta preparación se incluye por ejemplo la preparación en seco.

La tabla 2 muestra que la utilización de cenizas es notablemente más lucrativa. Las cenizas examinadas están disponibles en grandes cantidades y son muy baratas. Poseen el inconveniente de que contienen a veces cal (peligro de desconchamiento de la cal y decoloraciones marrones), por lo que será necesario realizar un control por hornadas o una selección.

La tabla 3 representa los resultados obtenidos mediante la utilización de polvos. Estos también se pueden adquirir a precios bajos, pero su disponibilidad es limitada. Con una necesidad diaria realista de 10 toneladas se pueden producir por lo tanto surtidos pequeños y medianos.

Material base Amarillo	Material base Amarillo + 0,25 % de pigmento 1	Material base Amarillo + 0,25 % de pigmento 2

Imagen 1: Tonos de color de un material base

Preparación de la pasta y control de la cocción

Para la evaluación de los resultados de la aplicación de aditivos colorantes se han incluido las cenizas y los polvos en el programa de prueba. En una primera fase se realizaron microensayos técnicos y en una segunda fase ensayos de producción.

En los microensayos técnicos se analizó la forma de procesamiento de los aditivos en los diferentes materiales base de las empresas de producción y se evaluó la tonalidad cromática que se deseaba obtener. Durante este proceso, los parámetros importantes como contracción y absorción de agua debían permanecer constantes.

Ensayos microtécnicos

Adición de cenizas

Se añadieron las cenizas 1 y 2 con concentraciones del 1 hasta el 5 por ciento a una pasta para tejas en el mezclador Eirich. Con concentraciones de hasta un 2 por ciento no se pudieron detectar por comprobación visual cambios de color evidentes. Un aumento adicional causó una manifiesta intensificación del color rojo, pero también produjo ligeras eflorescencias. Por esta razón se excluyó la utilización de cenizas para la coloración de tejas.

Del mismo modo se procedió con la pasta para clínker de pavimentado. Debido a la mayor temperatura de cocción, no se pudieron detectar eflorescencias. No obstante, se produjo una decoloración marrón indeseada (Tabla 4).

La mezcla de las cenizas en una pasta amarilla para clínker de pavimentado produjo la aparición de tonos de color rosa indeseados.

No se continuó con la investigación de las cenizas, ya que no se podían utilizar, al menos bajo las condiciones arriba indicadas (Tabla 4).

Adición de polvos

Se añadieron polvos con un elevado contenido de Fe₂O₃ con concentraciones entre el 1 y el 5 por ciento a una pasta para tejas y para clínker de pavimentado roja y a una pasta para clínker de pavimentado amarilla.

Las pastas rojas mostraron una manifiesta intensificación del color rojo. Durante este proceso, la pasta para clínker de pavimentado cambió el tono de color a tonos marrones con cantidades más reducidas de aditivos que la pasta para las tejas, lo cual fue causado por la diferencia de temperatura de cocción de aproximadamente 100 K. Durante el horneado de las muestras con atmósferas reductoras aparecieron variaciones de colores entre gris-plateado brillante y azul acero.

Los ensayos microtécnicos demostraron que los polvos con un elevado contenido de Fe₂O₃ permiten obtener un color rojo más intenso de la pasta utilizada para tejas y para clínker de pavimentado y que estos polvos también son adecuados para obtener colores de reducción (Tabla 5).

La mezcla de los polvos en una pasta para clínker de pavimentado amarilla produjo una decoloración naranja indeseada o sólo un efecto aclarador de la misma (Tabla 5).

Ensayos de fábrica

En base a los ensayos microtécnicos se realizaron ensayos en las fábricas. En este caso, la tarea principal consistió en mezclar el aditivo colorante en un momento posterior de forma homogénea con la masa.

En la fábrica de tejas Guttau de la Creaton AG la preparación en seco ofrecía condiciones inmejorables para este ensayo.

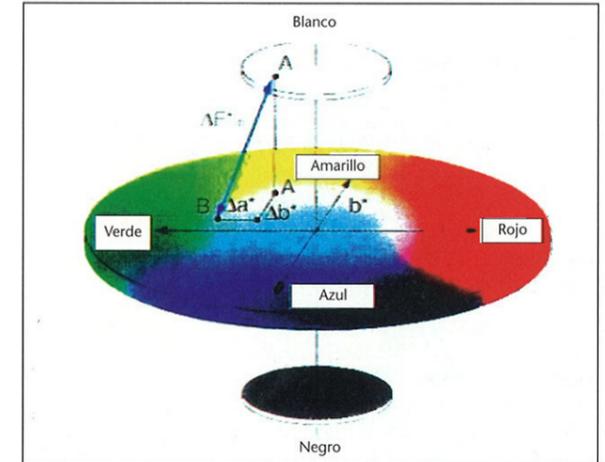


Imagen 2: Sistema de colorimetría L-a-b

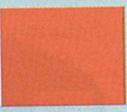
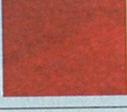
Mediante este tipo de preparación se pueden mezclar incluso aditivos secos de forma homogénea hasta una concentración de un 1 por ciento.

En la fábrica de clínker de pavimentado de la AKA Oberlausitz Klinkerwerke GmbH el mezclado homogéneo era más difícil, debido a la preparación por vía húmeda existente. No es posible realizar adiciones dosificadas posteriores a la pasta durante el proceso de producción de forma homogénea hasta un 1 por ciento. Las concentraciones más elevadas se pueden añadir en forma de barbotina al alimentador sin fin de la criba o en la mezcladora de árbol doble de la extrusora. El aumen-

Tabla 5: Polvos en una pasta para clínker de pavimentado y para tejas

Aditivo	Material base	Tipo de preparación	Color sin aditivo cocción oxidante	Color con 2,5 % de aditivo cocción oxidante	Color con 2,5 % de aditivo cocción reductora
Polvo de filtración	Teja roja	húmedo Mezclador Eirich			
Polvo de filtración	Clínker pavimentado rojo	húmedo Mezclador Eirich			
Polvo de filtración	Clínker pavimentado amarillo	húmedo Mezclador Eirich			
Polvo de esmerilado	Teja roja	húmedo Mezclador Eirich			
Polvo de esmerilado	Clínker pavimentado rojo	húmedo Mezclador Eirich			
Polvo de esmerilado	Clínker pavimentado amarillo	húmedo Mezclador Eirich			

Tabla 6: Comparaciones de colores de productos normales y coloreados

Producto	L	a	b	Observación
Teja plana, producción normal	51,2	21,0	25,3	
Teja plana, coloreada	47,8	18,9	22,6	
Clínker de pavimentado, producción normal	45,1	20,8	21,5	
Clínker de pavimentado, coloreado	40,6	15,5	16,2	

to de la humedad de la pasta es un punto desfavorable, especialmente en invierno.

Durante un ensayo de producción en la fábrica de tejas Guttau se introdujo polvo procedente de un Big Bag (contenedor plegable) en la preparación en seco. En el molino circular de bolas se mezcló el polvo de forma muy homogénea con la pasta. Tras el ajuste a humedad de prensado se fabricaron tejas planas de hendidura, las cuales se cocieron de forma oxidante. El producto presentaba propiedades de material idénticas y cumplía con la norma DIN EN 1304. Se produjo un color rojo más oscuro e intenso. La evaluación del color no se realizó en base a una visualización óptica subjetiva sino mediante colorimetría con un colorímetro Minolta con indicación de los valores L-a-b (Imagen 2 y Tabla 6).

Para el ensayo de producción en la fábrica de clínker de pavimentado se preparó una solución acuosa concentrada de polvo de filtración, la cual fue añadida de forma dosificada en la mezcladora de árbol doble de la extrusora de vacío. Con dosificaciones de hasta cinco por ciento y contenidos de sustancias sólidas de la barbotina de hasta 65 por ciento se pueden obtener condiciones de producción normales en relación con la consistencia de la pasta. Se fabricaron clínker de pavimentado de 200 mm x 100 mm x 52 mm y se cocieron de forma oxidante. El producto presentaba propiedades de material idénticas y cumplía con la norma DIN EN 1344. Se produjo una intensificación del color rojo (Tabla 6).



Imagen 3: Una pasta específicamente coloreada con vidriado desarrolló colores iridiscentes

Resultados

Las sustancias colorantes resultantes de procesos industriales se pueden utilizar de forma óptima en pastas para cerámica de construcción previa realización de un ensayo de aptitud. En los trabajos realizados, un pigmento reciclado fue declarado apto a pesar del precio elevado, gracias a la reducida dosificación necesaria para producir diferentes tonos de color de un material base amarillo. En relación con la producción, esto sólo es posible mediante un mezclado intenso y homogéneo utilizando un mezclador intensivo Eirich o una trituradora de rodillos de un sistema de preparación en seco.

Con polvos de filtración con un contenido elevado de Fe_2O_3 se puede obtener, para tejas y clínker de pavimentado producidos mediante material base rojo, una coloración roja de mayor intensidad. Debido al precio reducido de estas cenizas, se pueden producir materiales base más económicos. Si se elaboran 500 toneladas de pasta por día es posible ahorrar anualmente hasta 50 000 € en la preparación de la misma. Además, puede existir la posibilidad de reducir arcillas propias de elevada calidad o mejorar arcillas de calidad inferior.

Perspectivas

Debido a la gran demanda de productos engobados y vidriados en la situación de mercado actual, las pastas coloreadas por penetración permiten la creación de nuevos colores de vidriado y engobado. Un vidriado y un engobado siempre desarrollan su color en función de la pasta. Si se ha coloreado la pasta mediante un pigmento, este también influye sobre el tono de color del revestimiento cerámico (véase la Imagen 3). Mediante el coloreado económico del material base se pueden obtener nuevos colores y tonos de color de las pastas para el producto, nuevos colores de vidriado y engobado y, a veces, propiedades mejoradas del producto. Esto último influye especialmente sobre el efecto que produce un posible desconchamiento en el cliente. La producción es más variada y económica – en interés del cliente.

Bibliografía

- [1] Przenioslo, J.: Sintermaterialien auf Flugasche-Basis. Steklo i. Keramika 38, 1987
- [2] Polesinski, Z.: Die Aufarbeitung von tonigen Abfallmaterialien. Keramische Zeitschrift, 36. Jahrgang Nr. 2, 1984
- [3] Röhrs, M.: Stand und Entwicklung der Nutzung natürlicher Rohstoffe und Sekundärrohstoffe für keramische und Betonerzeugnisse. Weimar: ZI Ziegelindustrie International 9/88
- [4] Facincani, E., Borroni, M.: Einsatz von Glasur-Abfallschlammern zur qualitativen Verbesserung von Baukeramikschlammern. Keramische Zeitschrift, 41. Jahrgang Nr. 1, 1989
- [5] Hauck, D., Hilker, E., Ruppik, M.: Zusatzstoffe zur Produktverbesserung und Absenkung der Garbrandtemperatur beim Ziegelbrand. Essen: Institut für Ziegelforschung Essen e.V., 1990
- [6] Abdakhimov, V. Z. et.al.: Abfallprodukte der Buntmetallurgie in keramischen Versätzen. Steklo i. Keramika 66, 1990
- [7] Röhrs, M.: Keramisierung von Sekundärrohstoffen zu Baustoffen. Keramische Zeitschrift, 46. Jahrgang Nr. 1, 1994. Weimar

Conformado coloidal de materiales cerámicos: métodos avanzados para materiales tradicionales

Dr. Rodrigo Moreno*

El procesamiento coloidal de materiales cerámicos ha experimentado un tremendo auge, fruto del cual ha sido el desarrollo de nuevos procesos de conformado en los que la manipulación de las propiedades coloidales de una suspensión permiten obtener piezas de forma casi neta. En este trabajo se muestran las bases de dichas técnicas y se discuten las tendencias actuales en el conformado coloidal de materiales cerámicos, haciendo especial énfasis en la viabilidad de estos procesos en el sector de la cerámica tradicional.

El proceso cerámico

Un proceso cerámico es un conjunto de operaciones por las que un sistema particulado se transforma en un producto final de manera que las propiedades características del material se alteran y desarrollan en cada etapa. El carácter secuencial del proceso hace que los defectos introducidos en una etapa persistan en las posteriores, conduciendo a microestructuras no uniformes y escasa reproducibilidad. La variabilidad de las materias primas y las variables inherentes a las numerosas etapas del proceso provocan inhomogeneidades que pueden conducir a la obtención de piezas defectuosas. En el siglo XVIII se empezó a implantar una producción industrial que culminó en el siglo XX con un elevado grado de desarrollo de la ingeniería cerámica, la cual permitió solventar problemas específicos en distintas etapas de la producción, si bien carecía de la base científica necesaria para establecer las relaciones pertinentes entre ellas. No ha sido hasta la segunda mitad del siglo XX cuando se ha constituido una ciencia del procesamiento cerámico que ha permitido conocer las interrelaciones entre procesamiento y características del material con las que entender su comportamiento. El conocimiento de la respuesta del material en cada etapa es clave en el diseño de materiales de microestructura controlada [1].

Uno de los objetivos fundamentales del procesamiento es evitar o reducir al máximo la presencia de defectos y, en particular, de aglomerados. Por lo tanto, para obtener un material con las propiedades requeridas no solo es necesario emplear las materias primas adecuadas, sino también manipularlas correctamente a lo largo del proceso. Sin embargo, la mejora de propiedades del material puede suponer la introducción de nuevas etapas y el aumento de los tiempos de producción, lo que, ineludiblemente, supone un aumento de los costes,

* Instituto de Cerámica y Vidrio, CSIC; 28500 Arganda del Rey, Madrid, Spain.

no siempre asumible por las empresas. El criterio fundamental a la hora de implantar un proceso de producción es conseguir una buena rentabilidad sin menoscabo de la calidad del producto acabado.

Los productos cerámicos se han venido fabricando desde hace milenios haciendo uso de materias primas naturales que, al ser mezcladas con agua, adquirirían una elevada plasticidad, lo que las hacía aptas para su moldeado. Las piezas moldeadas adquirirían la rigidez y consistencia necesaria para su uso tras ser expuestas al sol o a un foco de calor.

La fabricación de objetos cerámicos imitando las pautas que marcaba la tradición ha continuado inalterable durante siglos, hasta que la revolución industrial incidió también en la fabricación de vajillas y otros objetos cerámicos a escala industrial. Muchos de los métodos surgidos durante los siglos XVIII y XIX son pilares esenciales de la tecnología cerámica actual, como son el colado en moldes de escayola, el prensado, la extrusión y el filtro-prensa.

El proceso de fabricación de un producto cerámico comienza con la selección y acondicionamiento de los polvos de partida. Una etapa fundamental es la transformación de ese polvo en un objeto con la forma y tamaño deseados. El conformado se puede llevar a cabo usando diversas técnicas que, de forma general, se pueden clasificar en tres grupos respondiendo al grado de consistencia y humedad, a saber: la compactación directa de polvos, mediante técnicas de prensado; el moldeado de masas de elevada plasticidad, como la extrusión, y, finalmente, el conformado de suspensiones, en cuyo caso la eliminación del líquido es una etapa fundamental del proceso [2]. El método más empleado en la industria para el conformado cerámico es el prensado, que aúna una gran sencillez y versatilidad con una elevada velocidad de producción. La ausencia de una etapa de secado permite la fabricación en línea altamente automatizada, lo que supone una gran ventaja frente a los métodos de conformado por vía húmeda. No obstante, la limitación en cuanto a la forma de la pieza a obtener hace inviable el prensado para multitud de componentes de geometría compleja. En segundo lugar, la preparación de pastas de moldeado sigue siendo clave en sectores como el de la construcción y los refractarios, si bien sus aplicaciones en cerámica técnica son más restringidas. Por último, el empleo de suspensiones, aunque data de siglos atrás, ha adquirido una especial relevancia en los últimos años debido a su gran versatilidad en cuanto a la forma de las piezas y el diseño de materiales con estructura compleja. El espectacular avance de este grupo de técnicas ha venido impulsado por el desarrollo de la ciencia de los coloides. Un coloide se define como un sistema cuyos componentes tienen dimensiones de 10^{-3} - $1 \mu\text{m}$, definición válida tanto para moléculas de gran tamaño como para partículas pequeñas. La dispersión de partículas en un medio líquido es una suspensión. El carácter determinante de un sistema coloidal es que existen superficies de separación bien definidas entre la fase dispersa y el medio de dispersión, de tal

manera que las interfaces juegan un papel decisivo en el comportamiento de la suspensión, ya que controlan propiedades superficiales tales como adsorción, carga superficial, doble capa eléctrica, etc. La estabilidad de la suspensión supone que las fuerzas de repulsión entre partículas superan a las fuerzas atractivas de van der Waals. Esto se puede lograr mediante la adición de iones determinantes de potencial y electrolitos (ácidos, bases y sales inorgánicas), que actúan sobre la doble capa eléctrica y permiten la estabilización por repulsión electrostática, o bien mediante la adición de moléculas que se adsorben sobre la superficie de las partículas (tensoactivos y polímeros, en particular, polielectrolitos) proporcionando estabilidad por un mecanismo de impedimento estérico [3]. En los últimos años se han multiplicado los esfuerzos por controlar y manipular las fuerzas de interacción entre partículas y por formular nuevos aditivos más eficaces y económicos, especialmente para suspensiones acuosas.

El desarrollo de nuevos métodos de síntesis de polvos y el mejor control efectuado a lo largo de las distintas etapas del proceso, potenciado por la creación de la ciencia del procesamiento, han permitido la aparición de la llamada "cerámica avanzada", desafortunado término cuando se usa en contraposición de la que se considera "cerámica tradicional". El uso de polvos sintéticos permite mayor control, lo que se traduce en una mayor uniformidad de los productos y una mayor reproducibilidad del proceso. La cerámica tradicional tiene su origen en el aprovechamiento de materias primas naturales, cuya base fundamental es la arcilla. El sistema arcilla-agua es el primer sistema coloidal que recibió la atención de los científicos. Pero no solo eso; también constituye el primer sistema coloidal empleado convencionalmente en un proceso de fabricación, cuyo origen se remonta a las primeras civilizaciones y también fue el primero en incorporar una metodología ingenieril para su elaboración.

Dado que la cerámica avanzada se halla aún en su más tierna infancia, es obvio que su desarrollo ha sido posible gracias a la transferencia de la tecnología ya existente en la cerámica tradicional. Sin embargo, la complejidad de las formulaciones empleadas en cerámica tradicional, a expensas de la variabilidad de las materias primas, ha dificultado a menudo el control preciso del procesamiento y de las reacciones que ocurren durante los tratamientos a alta temperatura. Por ello, las nacientes disciplinas del procesamiento cerámico han hecho uso de materias primas sintéticas, cuyo adecuado control es clave para reducir el número de variables involucradas en el proceso, con lo que se ha podido modelizar el comportamiento de los materiales en función de aquellas.

El conformado de suspensiones es un buen ejemplo de lo anterior. Junto a los progresos del estudio científico de materias primas de síntesis, cabe reseñar la aparición de la técnica de colado con presión. Este proceso, aparecido en los años 70, empezó a ser explotado industrialmente hacia 1985 y ya en 1990 se erigió en una técnica firmemente establecida en la fabricación de cerámica blanca y sanitarios [4]. Este desarrollo vertiginoso demuestra que el sector de la cerámica tradicional no ha permanecido estático y ajeno a las innovaciones, sino que, por el contrario, se ha mostrado receptivo a la incorporación de nuevos productos y procesos, incidiendo especialmente en las materias primas, automatización, gasto energético e impacto medioambiental [5]. La tendencia de los últimos años a desarrollar métodos avanzados en materiales considerados tradicionales debe proseguir con la incorporación de los nuevos métodos disponibles para cerámica avanzada.

Comportamiento reológico

La reología es la ciencia que estudia la deformación y flujo de la materia. Conocer el comportamiento reológico es clave en multitud de operaciones cerámicas, desde los efectos del mezclado y la molienda, la adecuación de condiciones para distintos procesos de conformado, etc. Las medidas reológicas son la herramienta más importante para caracterizar la estabilidad de una suspensión e incluso para determinar el papel de las fuerzas de interacción entre partículas [6]. En muchos casos, la caracterización reológica de suspensiones se centra en la medida de las curvas de flujo, en las que se representa el esfuerzo o tensión de cizalla (τ) que experimenta la suspensión al ir variando el gradiente de velocidad o velocidad de cizalla ($\dot{\gamma}$). La relación entre ambos parámetros define la viscosidad (η). La representación gráfica de la viscosidad en función del gradiente de velocidad se conoce como curva de viscosidad. El comportamiento más sencillo es el newtoniano, que está representado, en la curva de flujo, por una línea recta que pasa por el origen, es decir, la viscosidad es la misma a cualquier gradiente de velocidad. En sus-

Tabla 1: Modelos reológicos más comunes para el ajuste de suspensiones.

	MODELO	ECUACIÓN	COMPORTAMIENTO
LINEALES	Newton	$\tau = \eta \cdot \dot{\gamma}$	
	Bingham	$\tau = \tau_0 + \eta_B \cdot \dot{\gamma}$	
NO-LINEALES	Casson	$\tau = [\tau_0 + (\eta_p \cdot \dot{\gamma})^{1/2}]^2$	
	Ostwald-de-Waele	$\tau = K \cdot \dot{\gamma}^n$	
	Herschel-Bulkley	$\tau = \tau_0 + K \cdot \dot{\gamma}^n$	
	Cross	$\tau = \dot{\gamma} \left\{ \eta_\infty + \frac{\eta_0 - \eta_\infty}{1 + (\dot{\gamma}/\dot{\gamma}_b)^n} \right\}$	

τ = Esfuerzo [Pa], τ_0 = Punto de Fluidez [Pa], η = Viscosidad [mPa.s], $\dot{\gamma}$ = Gradiente de velocidad [s^{-1}], K = Factor de consistencia, n = Índice de fluidez, η_B , η_p , η_∞ = Viscosidad límite (alto gradiente de velocidad), η_0 = Viscosidad a gradiente de velocidad cero, $\dot{\gamma}_b$ = Coeficiente de Cross.

Tabla 2: Procesos de conformado más comunes a partir de suspensiones.

FILTRACIÓN	DEPOSICIÓN EVAPORACIÓN	FLOCULACIÓN COAGULACIÓN	GELIFICACIÓN
Colado Colado con presión Colado con vacío Colado centrífugo Colado con microondas	Serigrafía Colado en cinta Electroforesis CVD, PVD ... Conformado libre (SFF)	Fuerzas corto alcance Puentes poliméricos (TIF) Coagulación directa (DCC)	Polimerización química Polimerización térmica Robocasting Solidificación asistida Fraguado rápido (congelación)

pensiones concentradas, la elevada cantidad de partículas favorece su mutua interacción, lo que se traduce en un comportamiento reológico más complejo, no newtoniano. El modelo matemático más simple sería el de una línea recta que no pasa por el origen y corresponde a un flujo plástico de Bingham. Este modelo introduce el punto de fluidez, que debe ser superado para que la suspensión empiece a fluir. La plasticidad, de forma genérica, sería una curva con punto de fluidez en el que la viscosidad disminuye al aumentar el gradiente de velocidad. Una curva similar, pero que pasa por el origen (sin punto de fluidez) define el comportamiento pseudo-plástico. El caso contrario, aumento de la viscosidad con el gradiente de velocidad, da lugar a la dilatancia, escasamente tratado en los textos de reología, pero de cierta relevancia en suspensiones concentradas de arcillas y otras partículas con un importante factor de forma, en los que al aumentar la cizalla se favorece el empaquetamiento en estructuras tipo castillo de naipes, mediante interacciones cara-borde. Los modelos de ajuste más comunes y las ecuaciones que los describen, se resumen en la Tabla 1 [7]. Por una parte, hay modelos lineales en los que el esfuerzo es función lineal del gradiente de velocidad, y modelos no-lineales, en los que la función no es directa, sino que varían de forma potencial.

Tabla 3: Nuevos procesos de conformado basados en la consolidación directa sin cambio de volumen.

Proceso	Mecanismo de Consolidación.
Colado por coagulación directa (DCC, direct coagulation casting)	Cambio de pH y/o incremento de sales (70 °C)
Claylike/vibraforming (Conformado por vibración)	Incremento de sales y repulsión estérica a corto alcance (80-90 °C)
Gelificación inducida por temperatura (TIG, temperature induced gelation)	Solvatación inducida por colapso del dispersante (<20 °C)
Consolidación inducida por temperatura (TIF, temperature induced forming)	Incremento de sales, floculación por puenteo y competencia de adsorción (40-70 °C)
Solidificación asistida por hidrólisis (HAS, hydrolysis assisted solidification)	Consumo del medio dispersante y precipitación de una fase sólida (T>40 °C)
Impresión tridimensional (3DP™, three-dimensional printing)	Deposición por impresión de capas alternas de polvo y aglomerante
Impresión continua (DIP, direct ink-jet printing)	Deposición por impresión de gotas de tinta cerámica dirigidas
Robocasting	Deposición por atomización de la suspensión sobre una placa caliente o porosa
Manufactura de objetos laminados (LOM, laminated object manufacturing)	Laminaciones alternas en caliente de laminas en verde Corte con laser
Micropen	Impresión con aerógrafo
Estereolitografía (SL, Stereolithography)	Deposición y curado de capas por polimerización de un monomero con laser UV
Deposición de composites cerámico-polimero fundidos (FDC, fused deposition of ceramics)	Extrusión de composites fundidos con 40 % de aglomerantes orgánicos.
Sinterización selectiva con laser (SLS, selective laser sintering)	Fusión con laser de capas partículas-polímero
Impresión tridimensional por gotas	Deposición por inyección y gelificación de alginatos

Mediante la determinación de las curvas de flujo en distintas condiciones de defloculación, se obtienen las llamadas curvas de defloculación, que representan la viscosidad de una suspensión en función de la cantidad de defloculante añadida. El primer paso, pues, es evaluar la influencia del tipo y concentración de defloculante en la suspensión objeto de estudio. La figura 2 muestra las curvas de defloculación para una formulación estándar de porcelana sanitaria, estabilizada con distintos defloculantes, a saber, silicato sódico, carbonato sódico y un polielectrolito comercial de bajo contenido en sodio (Dolapix PCN, Zschimmer-Schwarz, Alemania). En función de estas curvas, la menor viscosidad se obtiene empleando el polielectrolito, y su concentración óptima es 0.4 % peso. Otro parámetro clave para el conformado es alcanzar un elevado contenido en sólidos, con el fin de reducir la cantidad de agua a eliminar durante las etapas de compactación y secado. Al aumentar la concentración de partículas en una suspensión la viscosidad aumenta según la expresión propuesta por Einstein,

$$\eta = \eta_s (1 + 2.5\phi) \quad (1)$$

donde η es la viscosidad de la suspensión, η_s es la viscosidad del medio líquido y ϕ es la fracción en volumen de partículas.

En la figura 3 se muestran las curvas de flujo obtenidas experimentalmente para suspensiones de la misma porcelana representada en la figura 3 preparadas en las mismas condiciones de defloculación (0.4 % p de polielectrolito con respecto al polvo seco) pero con distintos contenidos en sólidos. Se observa cómo va aumentando la viscosidad con la concentración. La ecuación de Einstein es válida para partículas esféricas que no interactúan, es decir, en suspensiones diluidas. Se han propuesto distintos modelos para predecir el comportamiento de suspensiones concentradas, en las que hay una concentración límite por encima de la cual la suspensión no puede fluir y la viscosidad tiende a un valor infinito, es decir, se comporta como un sólido [8]. Esta concentración define la fracción máxima de empaquetamiento (ϕ_m) de las partículas en suspensión. Según este concepto, las suspensiones concentradas de esferas rígidas se pueden describir mediante la relación semi-empírica de Krieger-Dougherty, que introduce el término de viscosidad intrínseca, $[\eta]$:

$$\eta_r = (1 - \phi/\phi_m)^{-[\eta]\phi_m} \quad (2)$$

donde η_r es la viscosidad relativa (η/η_s). Para esferas uniformes $[\eta]=2.5$; sin embargo, las suspensiones cerámicas industriales no están compuestas de esferas uniformes, por lo que el modelo de Krieger-Dougherty debe modificarse cambiando el factor exponencial $[\eta]\phi_m$ por un valor general n , que indica cuánto se desvían las partículas de la forma esférica. La ecuación que expresa el modelo de Krieger-Dougherty modificado es:

$$\eta_r = (1 - \phi/\phi_m)^n \quad (3)$$

En el caso de suspensiones de la porcelana sanitaria considerada, la representación de la viscosidad en condiciones de alta cizalla en función de la fracción en volumen de sólidos se muestra en la figura 4, en la que la fracción máxima de empaquetamiento es de 0.6 y el valor de $n=4$ obtenido refleja la existencia de partículas en forma de plaquetas.

El conformado

El conformado supone la consolidación de las partículas de la suspensión para formar un compacto tras la eliminación del

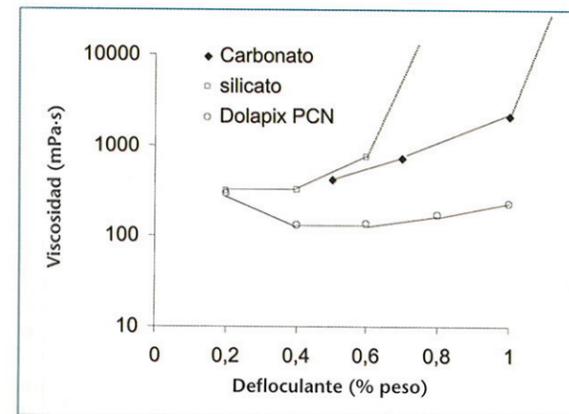


Figura 1: Curvas de defloculación de suspensiones de una porcelana sanitaria con 50 % vol de sólidos defloculadas con carbonato sódico, silicato sódico y el polielectrolito comercial Dolapix PCN.

líquido. Los métodos de conformado coloidal se pueden clasificar en función del mecanismo de separación sólido/líquido [9,10]. Así, en las técnicas de filtración o colaje, la consolidación se logra por filtración del líquido en un molde poroso. Un segundo grupo de técnicas sería el constituido por aquellos métodos en los que se provoca el flujo de partículas y la consolidación ocurre por evaporación del líquido. Dentro de este grupo destacan: el colaje en cinta, en el que la suspensión vertida sobre un sustrato no poroso se compacta por simple evaporación del disolvente y la deposición electroforética, cuyo mecanismo dominante es la migración de partículas y su posterior secado en el electrodo. El tercer grupo se distingue porque, a diferencia de los anteriores, la suspensión se transforma en un objeto rígido sin pérdida del líquido y, por tanto, manteniendo su volumen. La pieza así obtenida, con el líquido retenido, se puede manipular previamente al secado. Dentro de este grupo se hallan los métodos de coagulación/floculación de una suspensión previamente estabilizada, con el consiguiente aumento de viscosidad que permite retener la estructura y las técnicas de consolidación por gelificación/polimerización, bien por adición de aditivos que gelifican por cambio de temperatura o de monómeros que polimerizan durante la consolidación. La Tabla 2 resume los procesos de conformado más conocidos a partir de suspensiones [11]. En la mayor parte de los casos, los experimentos realizados hasta la fecha se centran en polvos puros de síntesis, en su mayoría alúmina de alta pureza. Sin embargo, las posibilidades de aplicar estas tecnologías a materiales arcillosos están siendo exploradas con creciente interés.

Métodos de filtración

De todas las técnicas de conformado a partir de suspensiones la más empleada y mejor conocida es la de colado en molde permeable (slip casting). Este proceso presenta importantes ventajas con respecto a los métodos de prensado, extrusión, etc, ya que, además de conducir a mayor homogeneidad microestructural, permite obtener piezas de simetría compleja y forma casi definitiva, reduciendo el mecanizado. La figura 4 muestra las densidades en verde de las muestras coladas en escayola a partir de las suspensiones de porcelana de distintos contenidos en sólidos caracterizadas anteriormente. Para concentraciones de partículas ≥ 40 % vol se obtienen valores de densidad relativa superiores al 70 % de la teórica. Estos valo-

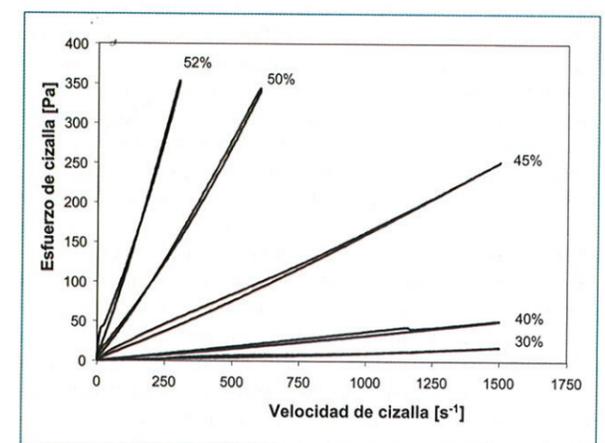


Figura 2: Curvas de flujo de suspensiones de porcelana sanitaria de distinto contenido en sólidos (defloculadas con 0.4 % peso de Dolapix PCN).

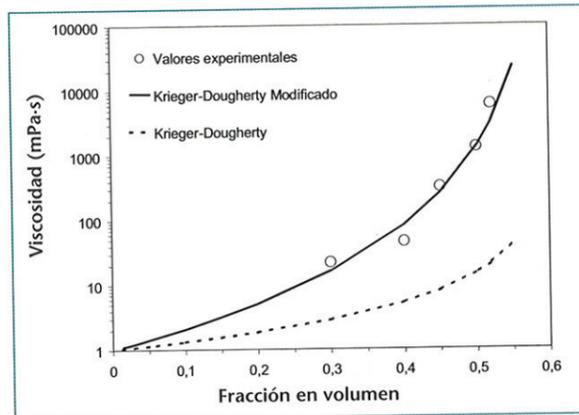


Figura 3: Viscosidad a alta cizalla en función de la fracción en volumen de sólidos y ajuste de los datos experimentales a los modelos de Krieger-Dougherty modificado y sin modificar.

res son superiores a los predichos a partir de la caracterización reológica, como consecuencia de las amplias distribuciones granulométricas que permiten un mejor empaquetamiento de partículas que el calculado teóricamente para esferas rígidas similares.

Sin embargo, esta técnica, bien arraigada industrialmente, está cediendo terreno frente a otros procesos, debido fundamentalmente a la cinética del proceso, ya que el espesor de pared formada es proporcional a la raíz cuadrada del tiempo de colada, por lo que el máximo espesor está limitado a unos pocos milímetros. Mayores espesores requieren tiempos desproporcionadamente largos en los que pueden producirse fenómenos de sedimentación, desestabilización de la suspensión y agrietamiento.

Además de esta limitación técnica, el colado por lo general presenta otras desventajas como son los largos tiempos de residencia en el molde, la gran cantidad de moldes para asegurar la producción, con los problemas de espacio y almacenamiento que esto conlleva, la difícil automatización del proceso, y la necesidad de reposición continua de los moldes, dada su limitación de vida media (100-120 coladas). Asimismo, desde el punto de vista medioambiental, los moldes desechados son un fuerte problema que aún espera solución, puesto que la escayola no es reciclable en el proceso.

Todos estos inconvenientes técnicos han impulsado el desarrollo de técnicas alternativas al colado en las que, mediante un factor externo, se acelere el proceso de drenaje. Los métodos más clásicos son la aplicación de vacío, de presión, de centrifugación o de una fuente de microondas, etc, pero el que más expectativas ha suscitado ha sido el de colado con presión. Este proceso, aunque reciente, es ya una técnica firmemente establecida en la fabricación de cerámica blanca y sanitarios. Las mayores ventajas de este proceso se resumen en los siguientes aspectos: 1) Aceleración drástica del ciclo de producción. La cinética es al menos un orden de magnitud superior a la del colado convencional, 2) el proceso es fácilmente automatizable, 3) permite obtener piezas de forma compleja casi final, 4) se pueden obtener piezas de gran tamaño y, a diferencia de lo que ocurre en colado en escayola, gran espesor, y 5) la uniformidad de la pieza es alta (aunque las densidades en verde son ligeramente inferiores a las obtenidas sin presión). Todas estas ventajas han hecho posible que en la actualidad funcionen plantas en batería con importantes velocidades de producción. Se estima que en una plan-

ta en batería se pueden utilizar hasta 12 moldes. En el caso concreto de sanitarios, el llenado de 6 moldes requiere unos 150-180 l de suspensión y el tiempo necesario para la sustitución de los moldes es de 30-60 minutos. El tiempo total necesario para obtener la pieza es de unos 15 min, incluyendo las etapas de cierre de moldes, llenado, compresión, despresurización y apertura. En cerámica de mesa la producción es mucho más rápida, ya que el drenaje es más sencillo, por lo que el tiempo de operación se puede reducir a unos 2-3 minutos. Para ilustrar la enorme repercusión de la presión en la cinética de filtración, la figura 5 muestra las curvas de formación de pared de la suspensión con 45% vol de sólidos colada en molde de escayola y en una prensa al aplicar presiones de 1.2 y 3.0 MPa. La gráfica anterior muestra que para alcanzar un espesor de pared homogéneo de ~5 mm por colado sin presión se requiere un tiempo de filtración de casi 1 hora, tiempo que se reduce a 15 min al aplicar una presión de 1.2 MPa, y de 3 min para una presión de 3.0 MPa. Por otra parte, la densidad en verde es de 69% de la teórica, ligeramente inferior a la obtenida sin presión (< 71 %).

Tras un tratamiento térmico a 1230°C la densidad del producto sinterizado es de $2.43 \pm 0.01 \text{ g/cm}^3$ para las piezas coladas sin presión o con baja presión, mientras que para las coladas con presiones de $\geq 3.0 \text{ MPa}$, la densidad es de $2.36 \pm 0.01 \text{ g/cm}^3$, lo que tampoco supone diferencias significativas.

Métodos de conformado sin cambio de volumen

En los procesos de colado se parte de suspensiones de baja viscosidad, en los que la propia fluidez puede originar campos de flujo y de tensiones que afectan a la homogeneidad del empaquetamiento. Esto ha llevado a idear nuevos procesos en los que se reduzcan los posibles defectos asociados a la fluidez de la suspensión forzando un aumento brusco de viscosidad. En la Tabla 3 se muestran algunos de estos conceptos innovadores que, hasta la fecha, se han limitado a la manufactura de cerámica avanzada. En general, todos estos métodos se basan en la creación de una red atractiva de partículas mediante la manipulación de las propiedades coloidales de la suspensión, o bien mediante la adición de aditivos que generan la red.

De todos los métodos propuestos el que presenta más posibilidades de aplicación en cerámica tradicional es el de gelificación térmica de polisacáridos y, en especial, mediante el empleo de polisacáridos que gelifican al enfriar. Frente al pro-

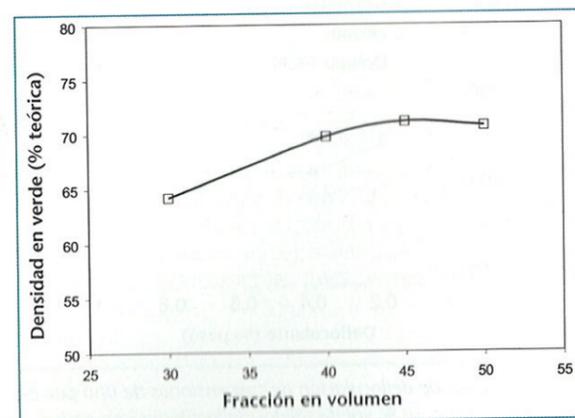


Figura 4: Densidad relativa en verde de piezas de cerámica sanitaria obtenidas por colado en escayola.

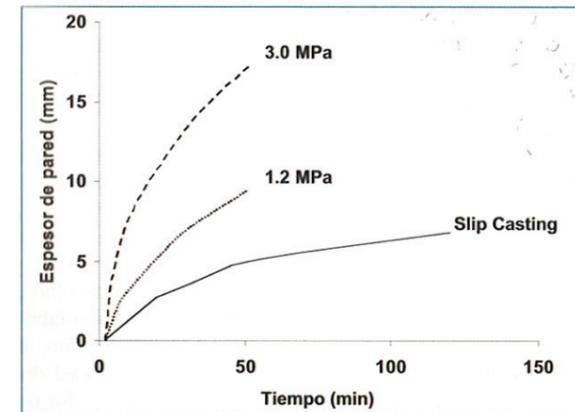


Figura 5: Curvas de formación de pared de suspensiones de porcelana conformadas por colado en escayola y colado a presiones de 1.2 y 3.0 MPa.

ceso de "gelcasting", que supone la polimerización química de monómeros mezclados con la suspensión en presencia de catalizadores e iniciadores, el empleo de polisacáridos se vislumbra como una seria alternativa al conformado neto de cerámica tradicional. En este proceso se utilizan suspensiones acuosas con contenidos en sólidos de 40-50% vol previamente defloculadas sobre las que se añade una baja concentración de gelificante (< 1% peso). Los aditivos con mejores propiedades gelificantes son los empleados en alimentación. En el procesamiento de polvos, se ha comprobado la eficacia de aditivos como el agar, la agarosa y el carragena, que son biopolímeros y, por tanto, no tóxicos y no dejan residuos contaminantes. Las ventajas del proceso son varias. Por una parte, la concentración de aditivo es muy baja, lo que permite obtener una pieza que, tras el secado, se puede someter al ciclo de sinterización sin necesidad de un ciclo específico de extracción de orgánicos. Por otra parte, se pueden obtener piezas de forma casi final, bien por vertido, bien por inyección. Además, los derivados del agar, y especialmente la agarosa, proporcionan una resistencia en verde muy elevada, por lo que la pieza en verde puede ser fácilmente manipulada y mecanizada.

En la figura 6 se observa la variación de viscosidad que experimenta la suspensión de porcelana sanitaria con 45 % vol de sólidos al enfriar desde la temperatura de mezclado con el gelificante hasta temperatura ambiente. En la gráfica se muestran las curvas determinadas en el reómetro a velocidades de cizalla de 100 s^{-1} y 5 s^{-1} , observándose claramente el aumento brusco de viscosidad cuando se alcanza la temperatura de transición vítrea del aditivo. En este caso se ha empleado agarosa en una concentración de 0.5 % peso con respecto al polvo seco. La densidad en verde alcanzada es de 66 % de la teórica. Si bien la densidad es algo inferior a la obtenida por métodos de filtración, la consolidación y desmoldeo inmediatos son claras ventajas de cara a la transferencia industrial de este tipo de tecnología. Tras el secado al aire se ha comprobado que la resistencia en verde de piezas obtenidas por este método es, al menos, seis veces superior a la obtenida por filtración, lo que presenta un gran interés de cara a la manipulación y rectificado de las piezas en verde. En la actualidad se está explorando la posibilidad de producir piezas complejas, como tazas con asa, mediante técnicas de moldeo por inyección a baja presión en agua aprovechando las propiedades gelificantes del agar y sus derivados.

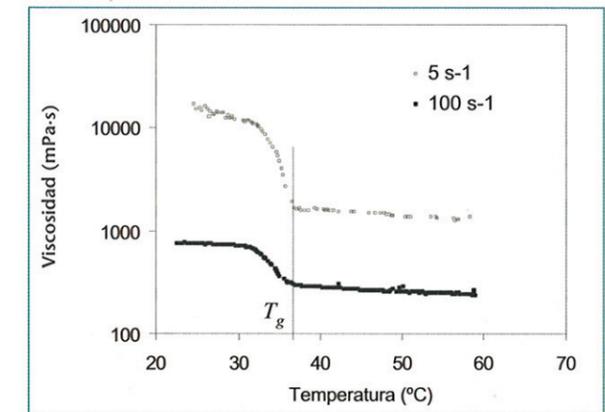


Figura 6: Evolución de la viscosidad durante el enfriamiento de suspensiones de porcelana sanitaria conteniendo 0.5 % peso de agarosa.

Resumen

Los recientes avances conseguidos en el procesamiento coloidal de materiales cerámicos avanzados permiten ser optimistas en cuanto a su posible implantación como procesos productivos a gran escala. Además de los éxitos conseguidos con el colado con presión, las nuevas técnicas de volumen constante se pueden aplicar a la manufactura de piezas y componentes de forma casi definitiva. Junto con las ventajas derivadas del empleo de aditivos no nocivos (biopolímeros) en medio acuoso y la posibilidad de utilizar de técnicas de conformado como el vertido o el moldeo por inyección, los materiales consolidados por gelificación presentan una mayor resistencia en verde, lo que hace posible su mecanizado y la disminución del rechazo de piezas.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] F. F. Lange, "Powder Processing Science and Technology for Increased Reliability", J. Am. Ceram. Soc., 72 [1] 3-15 (1989)
- [2] J. S. Reed, "Introduction to the Principles of Ceramic Processing", 2nd ed, John Wiley & Sons, New York (EEUU), 1995
- [3] R. Moreno, "The Role of Slip Additives in Tape casting Technology. I: Solvents and Dispersants", Am. Ceram. Soc. Bull. 71 [10] 1521-31 (1992)
- [4] Report, "Pressure Casting-An Established Production Process", Intereram 39 [6] 45-47 (1990)
- [5] C. Palmonari, G. Nasetti, "Evolution and Future Trends of Traditional Ceramics", Am. Ceram. Soc. Bull., 73 [12] 42-46 (1994)
- [6] J. W. Goodwin, "Rheology of Ceramic Materials", Am. Ceram. Soc. Bull. 69 [10] 1694-98 (1990)
- [7] C. A. Gutiérrez, A. J. Sánchez-Herencia, R. Moreno, "¿Plástico o Pseudoplástico? Métodos de Determinación y Análisis del Punto de Fluidez de Suspensiones Cerámicas", Bol. Soc. Esp. Ceram. Vidr., 39 [1] 105-17 (2000)
- [8] R. Moreno, "Rheology", pp. 8192-97, "The Encyclopedia of Materials. Science and Technology", Elsevier Science Ltd., Oxford, UK (2001)
- [9] W. M. Sigmund, N. S. Bell, L. Bergström, "Novel Powder-Processing Methods for Advanced Ceramics", J. Am. Ceram. Soc., 83, 1557-74 (2000)
- [10] J. A. Lewis, "Colloidal Processing of Ceramics", J. Am. Ceram. Soc. 83 [10] 2341-59 (2000)
- [11] R. Moreno, "Tendencias en el Conformado a partir de Suspensiones", Bol. Soc. Esp. Ceram. Vidr., 39 [5] 601-608 (2000)

Los productores de fritas, vidriados, engobes y colores cerámicos en Brasil

Los productores de fritas, vidriados, engobes y colores cerámicos – llamados «coloríficos» – suministran sus productos principalmente a fabricantes de cerámica. Por lo tanto, el informe pretende, en primer lugar, presentar brevemente la industria de la cerámica de Brasil, pasando posteriormente a hablar de los productores de fritas, vidriados, engobes y colores cerámicos. Se presentan los centros de investigación más destacados en este ámbito y sus principales áreas de investigación.

La industria cerámica brasileña

Según una estimación aproximada, la facturación total de la industria cerámica brasileña en el año 2000 ascendió aproximadamente a 6.293 millones de US\$ tal y como muestra la tabla 1 [1]. Son pocos los productos del sector de la cerámica de construcción (ladrillos, tejas, etc.) que utilizan vidriados y/o colores. Los ladrillos refractarios y productos de la cerámica técnica no emplean estos materiales en los sanitarios y una parte importante de la industria de cerámica fina trabaja con pigmentos. El mayor ámbito de aplicación de los «coloríficos» es la industria azulejera.

Tabla 1: Facturación estimada de los mayores sectores de la industria cerámica brasileña en el año 2000¹

Sector principal	Facturación/año (millones de US\$)
Cerámica de construcción	2 500
Azulejos	1 700
Materia prima natural	750
Refractario	380
Cerámica técnica	300
Productos sanitarios	200
Cerámica fina	148
Fritas, vidriados y colores	140
Otros	121
Total	6 239

* SENAI/CTC – Centro de Tecnologia em Cerâmica, CEP 88802-330 Criciúma, SC, Brasil

** COLORMINAS – Colorminas Colorífico e Mineração S/A., CEP 88820-000 Içara, SC, Brasil

*** LaRC – Laboratório de Revestimentos Cerâmicos, Universidade Federal de São Carlos, Departamento de Engenharia de Materiais, CEP 13590-905 São Carlos, SP, Brasil

Antônio Pedro Novaes de Oliveira*, Andrés R. F. Pessler**, Anselmo O. Boschi***

En la actualidad Brasil se ubica mundialmente detrás de China, Italia y España, en cuarto lugar en cuanto a los mayores fabricantes de azulejos se refiere, alcanzando 473 mill. m²/año, lo que corresponde a un 9,1 % de la producción mundial del año 2001 [2]. Además, Brasil es el segundo consumidor de azulejos más grande detrás de China con 417 mill. m²/año, lo que supone un 8,6 % del consumo mundial en el año 2001 [2].

El desarrollo de la industria azulejera brasileña puede valorarse de la siguiente forma:

► Las perspectivas de crecimiento del mercado nacional son excelentes. Actualmente, el consumo per capita sólo alcanza aproximadamente 2,6 m², lo que se debe principalmente a los problemas económicos. Con una situación económica ligeramente mejor y con ello un aumento del consumo per capita a, por ejemplo, 2,8 m², y estimando un número de población de aproximadamente 180 millones, el mercado nacional crecería 31 millones m²/año.

► Actualmente Brasil exporta alrededor de un 11 % de la producción azulejera. Se prevé que hasta el año 2004 esta cifra se haya incrementado a un 17 %.

Desde este punto de vista puede concluirse que las perspectivas de futuro para fritas, vidriados, engobes y colores cerámicos (coloríficos) en Brasil generalmente son muy buenas.

Los fabricantes de fritas, vidriados, engobes y colores cerámicos (coloríficos) en Brasil

Historia

La empresa Ferro Enamel fue el primer colorífico que desarrolló sus actividades en Brasil (1935). Al principio los clientes principales eran la industria sanitaria así como fabricantes de productos esmaltados. Hasta los años 1970 Ferro Enamel y Degussa fueron los únicos coloríficos que operaban en Brasil. A finales de los años 70 y principios de los 80 la industria azulejera registró un desarrollo extremadamente rápido, especialmente en el estado de Santa Catarina, donde el porcentaje de la producción azulejera brasileña creció entre 1965 y 1979 de un 16,1 % a un 46,2 %. En los años 80 el emplazamiento cerámico de Santa Catarina prácticamente dominaba la producción de azulejos en Brasil. En relación a ello también aumentó el mercado para los productos suministrados por los coloríficos, lo que tuvo como consecuencia que casi todas las empresas que desarrollaban sus actividades en el mercado internacional se ubicasen allí. Hasta finales de los años 80 casi todos los coloríficos importantes ya estaban presentes en el núcleo cerámico Criciúma de Santa Catarina.

En los años 90 se desarrolló otro núcleo de producción cerámica de azulejos en las cercanías del centro del estado de São Paulo, el llamado polo cerámico Santa Gertrudes. El crecimiento extraordinario de este polo, en el que actualmente se fabrica aproximadamente un 60 % de todos los azulejos brasileños, tuvo como consecuencia que los coloríficos estable-

cieran representaciones y/o fábricas en esta región. Entretanto algunos técnicos que antes trabajaban para empresas internacionales han fundado sus propias empresas o se han convertido en representantes de los pocos coloríficos internacionales, que todavía no desarrollaban sus actividades en Brasil. Hasta finales de los años 90 los coloríficos operaban en dos frentes en un mercado competitivo sumamente duro controlado principalmente por empresas internacionales. Esto condujo a una presión de precios y de servicios que ha mermado considerablemente los beneficios de las empresas.

Situación actual

En el año 1999 se agruparon nueve coloríficos para fundar ABRACOLOR (Sociedad Brasileña de los coloríficos). La asociación homóloga en España, la ANFFECC, fue fundada 22 años antes, en el año 1977 [4].

Hoy en día los coloríficos asociados en ABRACOLOR representan aproximadamente un 95 % de la producción brasileña de fritas, vidriados, engobes y colores cerámicos. La tabla 2 muestra la producción estimada y las cuotas de mercado para el primer semestre de 2002.

Tabla 2: Producción estimada y cuotas de mercado para el primer semestre de 2002

Rango		Toneladas/año	Cuota en %
1	Ferro Enamel	40 650	14,7 %
2	Colorminas	37 224	13,5 %
3	Esmalglass	32 000	11,6 %
4	Esmaltec	31 000	11,2 %
5	Johnson Matthey	23 000	8,3 %
6	Torreced	23 000	8,3 %
7	Vidres	18 600	6,7 %
8	Caravaggio	17 000	6,2 %
9	Colorobbia	8 700	3,2 %
10	Otros	44 826	16,2 %
	Total	276 000	100,0 %

Los coloríficos que desarrollan sus actividades en Brasil generalmente son capaces, en lo que se refiere a la tecnología y calidad de productos, de abastecer las necesidades de los fabricantes brasileños de azulejos y de mantenerse frente a la competencia del mercado internacional. Sin embargo, este estado de desarrollo pudo alcanzarse gracias a la transferencia de tecnología de las empresas internacionales a sus representaciones en Brasil. La producción está dirigida principalmente al mercado nacional, mientras que la parte de exportación es bastante escasa debido a que:

- las empresas internacionales son las responsables de la mayor parte de la producción brasileña y bloquean las exportaciones, porque el mercado internacional ya está abastecido por otros sectores del mismo grupo y el tipo de cambio es inestable. Esta inestabilidad del tipo de cambio repercute también de forma considerable en los costes operativos puesto que un 60 % de la materia prima utilizada es importada y otra parte – aunque es fabricada en Brasil – está sometida a una fijación de precios fijos en correspondencia al mercado internacional.

A pesar de las excelentes perspectivas que presenta el sector en general, la lucha por la cuota de mercado deseada es dura.

Objetivos

A corto plazo:

Alcanzando el margen de ganancias pueden realizarse inversiones en el desarrollo de modelos de diseño y en tecnologías que se adaptan a las particularidades de la industria azulejera y al mercado en Brasil:

A medio plazo:

Conjuntamente con los productores deben desarrollarse nuevos productos que aumenten especialmente el volumen de exportación y los beneficios.

A largo plazo:

Construcción de un estilo de azulejos brasileño al mismo nivel técnico y estético que corresponda a los productos en los mercados internacionales como por ejemplo en Italia y España.

A fin de alcanzar estos objetivos tan ambiciosos los coloríficos internacionales y nacionales que desarrollan sus actividades en Brasil deben liberarse de la dependencia externa de la tecnología y el diseño e invertir en el desarrollo de productos brasileños sobre un fundamento tecnológico sólido. Esta no es una tarea imposible como piensan algunos escépticos. Ya se logró algo similar con el desarrollo de la elaboración en seco brasileña. La cuál condujo a un aumento del volumen de producción, de los beneficios y de la calidad en el centro cerámico de Santa Gertrudes. Se obtuvieron unos resultados que los ceramistas extranjeros que visitaban las plantas casi no hubiesen considerado posibles. De la misma forma que esto ha sido puesto en práctica para el mercado nacional también puede lograrse con seguridad para el mercado internacional. Tan solo es una cuestión de disposición y de tiempo.

Investigación, desarrollo e innovación

A pesar de las condiciones difíciles y de la competencia con los laboratorios de las empresas internacionales que operan en Brasil, algunos centros de investigación se dedican a temas relacionados con la industria azulejera y el ámbito de los coloríficos. Estos centros están estrechamente vinculados a institutos extranjeros y, gracias a esta cooperación, tuvieron la oportunidad de conocer los fundamentos de esta área. Sin embargo, las peculiaridades del mercado y de los recursos de Brasil no se pueden impartir ni en el mejor laboratorio del mundo. Por esta razón el objetivo principal de las instituciones brasileñas es:

- la caracterización de los recursos brasileños
- la adaptación sólida y consciente de la tecnología disponible a las características del ámbito laboral y del mercado en Brasil, y
- la optimización del proceso de producción en su totalidad para los recursos existentes en Brasil y los objetivos a los que se aspira.

En todas las actividades de investigación debe existir una estrecha colaboración con la industria a fin de evitar el riesgo de enfoques académicos sin utilidad práctica. Deberán evitarse métodos a un plazo extremadamente corto y en su lugar deberán aclararse aspectos fundamentales.

Actualmente existen tres centros de investigación y desarrollo dignos de mención que cooperan estrechamente con la industria azulejera y con los Coloríficos, y disponen de infraestructuras cualificadas y colaboradores técnicos:

CTC – Centro de tecnología de materiales

El CTC, que tiene su sede en Criciúma, Santa Catarina, y se encuentra bajo la dirección del coordinador Dr. Antonio

Pedro Novaes de Oliveira, colabora con la FIESC (Asociación de las industrias de Santa Catarina) y es mantenido por la SENAI (Oficina Nacional para el Aprendizaje Industrial). También existen lazos estrechos con la universidad Federal de Santa Catarina (UFSC). El CTC ya ha realizado trabajos fundamentales en todos los ámbitos de la industria azulejera. Para el área de los coloríficos el CTC, entre otros, llevó a cabo investigaciones sobre cómo mejorar las características de vidriados mediante el control de la microestructura así como a través de la síntesis de los pigmentos.

LaRC – Laboratorio para azulejos de cerámica

El LaRC se encuentra en São Carlos en el centro del estado de São Paulo y cerca del área cerámica de Santa Gertrudes. El coordinador del LaRC es el Dr. Anselmo O. Boschi. El LaRC forma parte del departamento de técnica de materiales de la Universidad Federal de São Carlos (UFSCar). Este departamento está entre los mejores de su especialidad en Brasil. Aparte de otros temas de investigación el LaRC se ha dedicado al análisis de defectos y a mejorar la resistencia del desgaste de vidriados.

LIEC – Laboratorio interdisciplinario de electroquímica y de cerámica

El LIEC, también con sede en São Carlos y parte de la UFSCar, está coordinado por el Dr. Elson Longo y pertenece al departa-

tamento de química. Aparte de otros proyectos de investigación el LIEC estudia la síntesis de pigmentos cerámicos.

Comentarios finales

Para los inversores extranjeros Brasil fue y sigue siendo un país de múltiples posibilidades. Sin embargo, resulta indispensable conocer los métodos y los recursos brasileños. Sin estos conocimientos frecuentemente surge la pregunta: ¿Por qué las cosas aquí no funcionan bien? Pero también los Brasileños pueden sacar provecho de este procedimiento. Aunque quede mucho por aprender de la comunidad cerámica internacional, los Brasileños y los inversores extranjeros deben encontrar sus propios procedimientos. Los procesos deben ser comprendidos y no sólo imitados, y deben adaptarse los métodos adecuados a las circunstancias.

Literatura

- [1] Bustamante, G. M.; Bressiani, J. C.: A Indústria Cerâmica Brasileira – Cerâmica Industrial, 5 (3) maio/junho, p. 31–36, 2000
- [2] ANFACER: www.anfacer.org.br
- [3] Sezzi, G.: World Production and Consumption of Ceramic Tiles – Ceram. World Review 12 (48) July–September, p. 48–66, 2002
- [4] Michavila, F.: Evolution of Frit, Glaze, and Ceramic Colours factories and their Contribution to the Ceramic Sector – Proceedings of the Qualicer 2002, Vol. I, p. Cons. 39–56, 2002

Talleres Felipe Verdés

Soluciones integrales para la cerámica estructural



De izquierda a derecha: Felipe Verdés M. de Verdés, Eusebio Guerrero de Solincer y Manel Pons de Ingicer

Todo tiende a unirse, a crecer, a diversificarse, para proporcionar al cliente los instrumentos necesarios para que su producto sea de calidad, competitivo, único. Por esta razón, Verdés, Ingicer y Solincer unieron sus recursos durante la pasada feria Tecnargilla, en Rimini.

Desde esta unión se pretende proveer a los fabricantes de cerámica estructural excelentes soluciones para conseguir cualquier producto, ofre-

ciendo en un solo paquete las máquinas para preparación de arcillas, los mecanismos, los hornos y los secaderos. Todo esto combinado con un servicio posventa personalizado y ágil para responder con efectividad a cualquier contratiempo.

Verdés

► Fabricante de trituradoras, equipos de tratamiento de sólidos, de almacenaje y grupos de vacío

► Más de medio siglo de experiencia en el sector cerámico y su constante evolución técnica la han hecho una de las empresas más reconocidas en todos los mercados

Ingicer

► Dedicada a la ingeniería, fabricación, suministro y montaje de mecanismos y sistemas robotizados para la industria cerámica

► Se trata de una compañía joven pero formada por profesionales con una sólida experiencia y un saber hacer de más de 30 años

Solincer

► Ingeniería de hornos y secaderos, joven e innovadora con una apuesta clara por desarrollos tecnológicos de nueva generación: bóvedas suspendidas, soluciones electrónicas completas para el control remoto de hornos y secaderos, estudios e innovaciones para el ahorro de combustible y máximo respeto del medio ambiente. Una buena parte de su trabajo consiste en optimizar hor-

nos ya existentes y a menudo aumentar su producción o ampliarlos

La fusión de medios de las tres empresas ha dado pie al diseño y construcción de plantas completas para la fabricación de ladrillos, tejas, baldosas separables y todo tipo de materiales de cerámica estructural. Los tres están en una posición preferente en el mercado español y también en muchos países del mundo.

En estos momentos, se encuentran inmersos en dos proyectos de construcción de dos nuevas plantas cerámicas completas en España: Cerámica Vereia S.A., en Galicia, para la fabricación diaria de 200.000 tejas extrusionadas y Cerámica Alhabia, en Andalucía, para la fabricación de 300 ton/día de piezas huecas y ladrillos macizos. Ambas cerámicas entrarán en funcionamiento durante el año 2003.

Talleres Felipe Verdés S.A., E-08788 Vilanova del Camí (Barcelona)