

PREPARACIÓN DE GRANULADOS DE GRES PORCELÁNICO MEDIANTE PROCESOS MÁS SOSTENIBLES MEDIOAMBIENTALMENTE

Gil, C.⁽¹⁾; Silvestre, D.⁽²⁾; Piquer, J.⁽³⁾; García-Ten, J.⁽⁴⁾;

Quereda, F.⁽⁴⁾; Vicente, M. J.⁽⁴⁾

⁽¹⁾ Keros Cerámica, S.A.; ⁽²⁾ Euroarce, S.A.; ⁽³⁾ Neos Additives, S.L.;

⁽⁴⁾ Instituto de Tecnología Cerámica (ITC). Asociación de Investigación de las Industrias Cerámicas (AICE). Universitat Jaume I. Castellón. España.

1. INTRODUCCIÓN

El proceso más utilizado mundialmente en la fabricación de gres porcelánico, bien sea esmaltado o sin esmaltar, es el denominado "vía húmeda" con monococción [1]. Este proceso de fabricación lleva asociado un importante consumo de energía y de recursos naturales, entre los que se encuentra el agua. El consumo promedio de agua por metro cuadrado producido oscila entorno a 20 litros, mientras que el consumo energético se encuentra alrededor de los 32 kWh por metro cuadrado producido [2].

En torno al 60 % del agua consumida corresponde a la utilizada en la molienda de la composición del soporte. Aunque una parte importante del agua consumida es reciclada [3], para algunos tipos de soporte la situación es diferente debido a que los sólidos que contienen el agua a reciclar pueden modificar algunas características del producto acabado, como el color y fundencia, lo que limita el reciclado.

En lo que respecta a los consumos de energía, la mayor proporción de energía consumida (90 %) es de origen térmico [2], por lo que las mejoras energéticas deben ir dirigidas principalmente hacia la reducción de este tipo de energía. Las dos etapas que consumen más del 90 % de energía térmica son el secado por atomización de las suspensiones de soporte y la cocción. Aunque se están implantando algunas medidas de ahorro energético en los hornos monoestrato [4], en la actualidad no se prevé que surjan a corto-medio plazo tecnologías alternativas a la cocción de baldosas que supongan un consumo energético significativamente inferior al actual. Por ello, en el presente trabajo se estudia una tecnología alternativa al actual sistema de preparación de la composición del soporte, con el objetivo de disminuir las cargas ambientales asociadas al proceso de fabricación de baldosas. Ello implica reducir significativamente el consumo de agua durante esta etapa para hacer innecesaria la fase de secado de la suspensión. El proceso que se estudia en el presente trabajo es el consistente en la molienda vía seca en molino pendular y en la posterior granulación (para obtener un polvo de prensas con fluidez similar a la de los polvos atomizados).

En la bibliografía existen trabajos de laboratorio en los que se estudia la fabricación de gres porcelánico mediante su procesado en seco [5, 6], en los que se indica la relevancia del tamaño de partícula de la composición para la obtención de las propiedades requeridas. Sin embargo, no existen publicaciones en las que se estudie la fase de granulación del polvo y se incluyan pruebas piloto e industriales.

2. EXPERIMENTAL

Para realizar el estudio se ha utilizado un granulado obtenido por molienda en húmedo y atomización (AT) empleado en la fabricación de gres porcelánico esmal-

tado, cuyo análisis químico se detalla en la tabla 1, y las materias primas plásticas y no plásticas utilizadas en su obtención. A partir de estas materias primas se ha preparado un granulado a escala piloto (GR) mediante la molienda de las materias primas plásticas en molino pendular (Poittemill PM-LB) y la posterior granulación (Eirich RV-02) de las arcillas molidas junto con las materias primas no plásticas, que se encontraban previamente micronizadas. Los gránulos obtenidos, con una humedad en torno al 13 %, se secaron posteriormente hasta la humedad requerida para el prensado (6 %).

En la figura 1 se detalla la distribución del tamaño de partícula del granulado AT (por difracción láser vía húmeda), de las materias primas plásticas y no plásticas (por difracción láser vía seca). Aunque no es totalmente riguroso comparar resultados obtenidos por difracción láser vía seca y vía húmeda [7], se observa que la distribución del tamaño de partícula de la composición obtenida por ambos procesos (molino pendular y molino de bolas) se encuentra en el mismo intervalo de tamaños.

Óxido	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	TiO ₂	p.p.c.
Contenido	68,7	19,2	0,64	0,58	0,58	4,27	1,67	0,69	3,47

Tabla 1 Composición química de la muestra AT.

Los ensayos realizados sobre los diferentes granulados han sido los siguientes:

- Distribución del tamaño de gránulo (DTG).
- Índice de Hausner.
- Diagrama de compactación (curva carga-deformación).
- Resistencia mecánica en seco
- Diagrama de densificación y gresificación.
- Resistencia mecánica.
- Deformación piropástica.

Los procedimientos empleados para la realización de estos ensayos pueden encontrarse en la bibliografía [8].

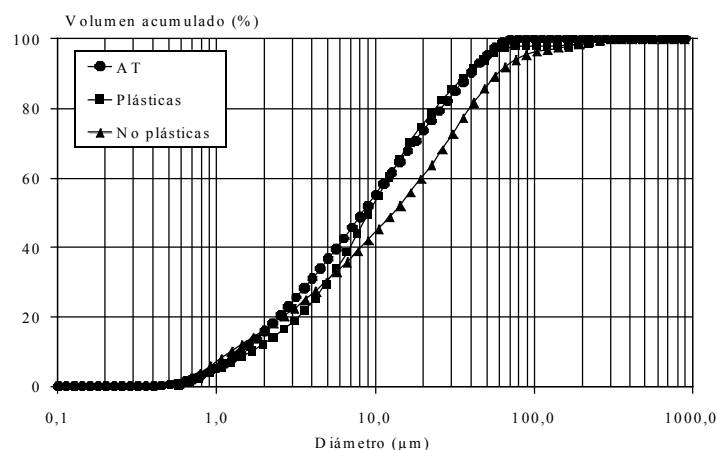


Figura 1. Distribución del tamaño de partícula.

3. RESULTADOS

3.1. Comparativa entre los granulados AT y GR

3.1.1. Características de los gránulos

En la figura 2 se muestra la distribución del tamaño de gránulo (DTG) de las muestras AT y GR, y en la figura 3 el aspecto de las secciones de ambos granulados. Se observa que la DTG de la muestra GR presenta una proporción de gránulos pequeños ($<100\ \mu\text{m}$) similar a la muestra AT y un porcentaje de gránulos grandes ($500\text{-}1000\ \mu\text{m}$) mayor, indicando que la DTG se encuentra desplazada hacia tamaños de gránulo de mayor tamaño. En lo que respecta al aspecto de los gránulos, se observa que los de la muestra GR están exentos del hueco central característico de los gránulos atomizados, presentan una mayor compacidad y una menor esfericidad respecto al granulado AT.

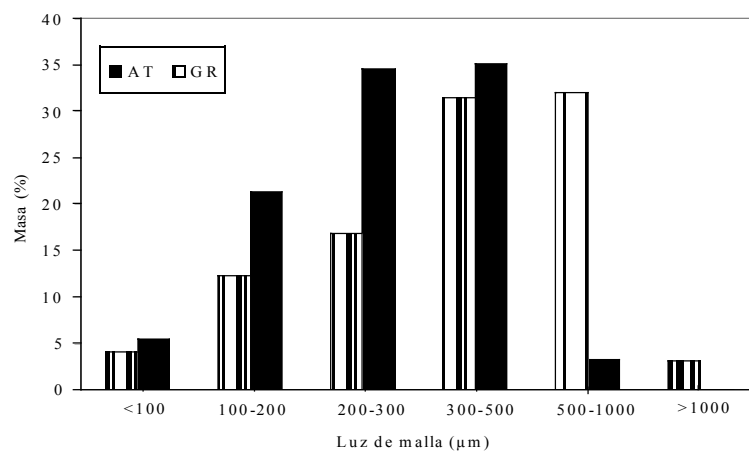


Figura 2. Distribución del tamaño de gránulo

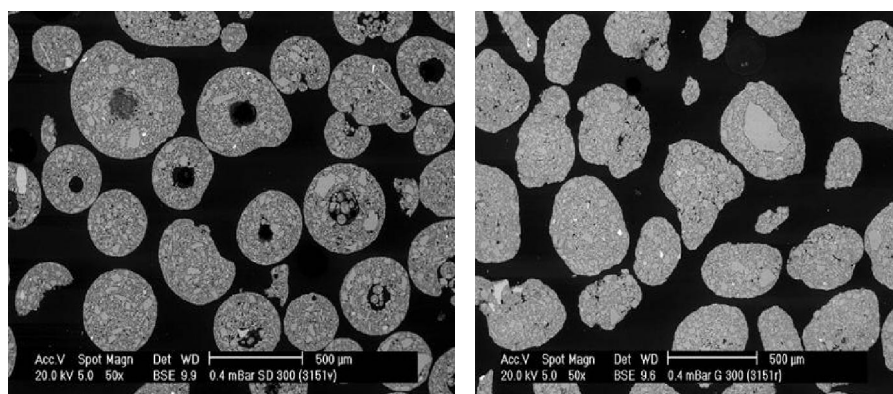


Figura 3. Micrografía de los dos tipos de granulados.

Al objeto de conocer si estas diferencias influían sobre el comportamiento reológico del granulado se determinó el índice de Hausner de ambas muestras, obteniendo los resultados que se muestran en la tabla 2. En esta tabla se observa que el valor de la densidad de llenado para el granulado GR (ρ_0) es mucho más elevada, lo que se debe a que la densidad de los gránulos GR es apreciablemente superior a la de los gránulos AT. Una vez que el lecho se consolida por vibración (ρ_f) se observa la misma tendencia, por lo que los valores del índice de Hausner (ρ_f/ρ_0) para ambos granulados son similares. Estos resultados indican que el mayor tamaño y densidad de los gránulos GR compensa la menor fluidez que deberían presentar a juzgar por su menor esfericidad.

Muestra	ρ_0 (kg/m ³)	ρ_f (kg/m ³)	Índice de Hausner
AT	976	1210	1,24
GR	1119	1419	1,27

Tabla 2. Índice de Hausner de las muestras ensayadas.

3.1.2. Comportamiento de los granulados en las etapas anteriores a la cocción

En la figura 4 y tabla 3 se muestran los resultados obtenidos en la realización de los diagramas de compactación para los distintos granulados.

Se observa lo siguiente:

- El granulado GR presenta un valor de la densidad aparente (ρ) a baja presión (P) más elevado que el del AT, lo que está de acuerdo con los valores de la densidad del lecho consolidado comentados anteriormente.
- En el interior del molde, la evolución de la densidad aparente del lecho (pendiente de la curva) del granulado GR es paralela a la del AT. Sin embargo, para el granulado GR se observa un ligero retraso en la presión para la cual se produce el cambio de pendiente en las curvas ρ - P (denominada presión de fluencia), lo que indica que los gránulos GR presentan una mayor resistencia a la deformación.

- El valor de la densidad aparente alcanzada para el granulado GR a la presión máxima es muy superior a la del AT. El motivo principal de esta diferencia es la mayor densidad de los gránulos GR.
- La expansión, tanto axial como diametral, de las piezas tras el prensado es inferior cuando se utiliza el granulado GR.

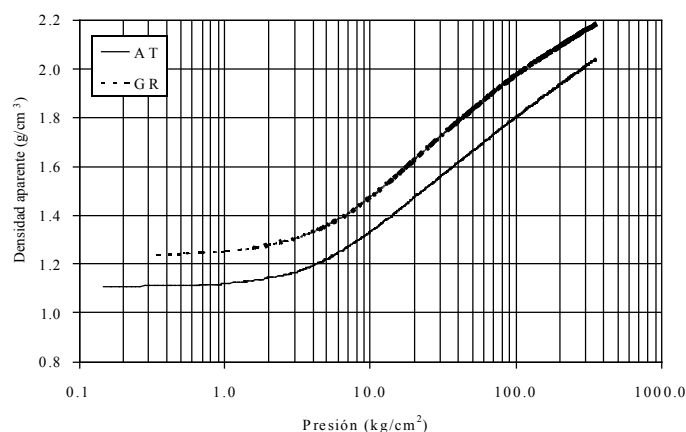


Figura 4. Diagrama de compactación de los granulados

Característica	AT	GR
Expansión axial (%)	3,09	2,59
Expansión diametral (%)	0,79	0,58
Presión de fluencia (kg/cm ²)	2,9	3,2

Tabla 3. Características obtenidas a partir de las curvas carga deformación.

Para realizar la caracterización de las piezas crudas se tomó como referencia las condiciones de prensado utilizadas en la industria para el granulado AT (presión de prensado: 380 kg/cm²; densidad aparente en seco: 1,95 g/cm³). El granulado GR se procesó con dos condiciones de prensado; a) presión de prensado que proporciona una densidad aparente en seco de 1,95 g/cm³ y b) presión de prensado igual a 380 kg/cm². En la tabla 4 se muestran los resultados obtenidos, observándose lo siguiente:

La presión necesaria para que el granulado GR proporcione una densidad aparente en seco similar a la del polvo atomizado es únicamente de 110 kg/cm². Es muy probable que a esta presión los gránulos no se hayan deformado totalmente, lo que justifica la baja resistencia mecánica de las piezas y su elevada permeabilidad.

Cuando la presión no se modifica (380 kg/cm²) las piezas conformadas con el granulado GR presentan una densidad aparente en seco muy alta (2,12 g/cm³), alcanzándose una elevada resistencia mecánica, pero una baja permeabilidad. La

utilización de una presión intermedia debe proporcionar valores de ambas características similares al granulado AT.

Característica	AT	GR	
		a)	b)
Humedad (%)	5,5	6,0	6,0
Presión (kg/cm ²)	380	110	380
Densidad aparente en seco g/cm ³)	1,947	1,948	2,122
Resistencia mecánica en seco (kg/cm ²)	35	19	47
Coefficiente de permeabilidad (m ² ·10 ¹⁶)	1,3	20	0,7

Tabla 4. Características de las piezas secas.

La mayor resistencia mecánica en seco y menor coeficiente de permeabilidad de las probetas conformadas con el granulado GR en las condiciones b) pueden justificarse por la mayor densidad aparente en seco que presentan las probetas. Para conocer los motivos que producen una disminución de la resistencia mecánica y un aumento de la permeabilidad de las piezas obtenidas en las condiciones a), se observaron las secciones frescas de fractura por microscopía óptica (figura 5). Se observa que mientras que las piezas AT presentan una textura bastante lisa y homogénea, las piezas GR muestran una sección de fractura muy rugosa e irregular, en la que se observan numerosos gránulos sin deformar totalmente. Ello conduce a una microestructura en crudo con multitud de defectos microestructurales de gran tamaño (porosidad intergranular), a partir de los cuales se puede iniciar la grieta y progresar con relativa facilidad, dando como resultado una baja resistencia mecánica. Otro factor que contribuye favorablemente a la obtención de una buena resistencia mecánica en el granulado AT es la migración del desfloculante (silicato sódico) a la superficie de los gránulos durante el proceso de atomización, el cual actúa como ligante [9].

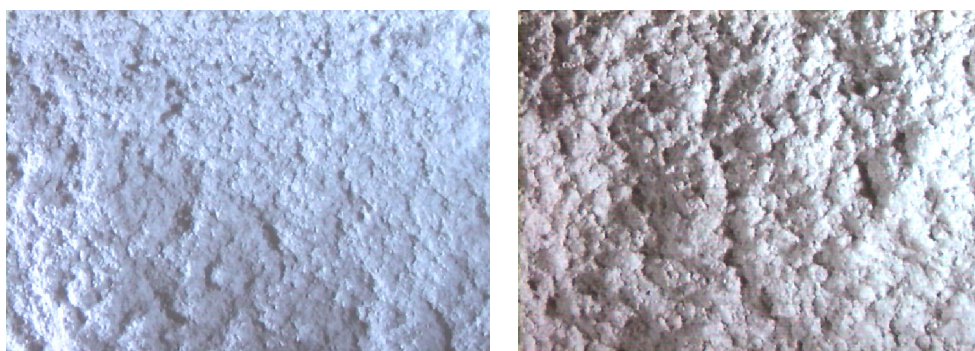


Figura 5. Aspecto de la sección de fractura; izquierda: AT, derecha: GR.

3.1.3. Comportamiento durante la cocción y propiedades de la pieza cocida

En la figura 6 se muestran los diagramas de gresificación de las piezas y en la tabla 5 las propiedades a la temperatura de máxima densificación (T_{max}). Se observa lo siguiente:

- La presión de prensado ejerce una notable influencia sobre el comportamiento durante la cocción de los granulados GR. Así, cuando las piezas se conforman en las condiciones a), la máxima densificación alcanzada es tan solo de $2,29 \text{ g/cm}^3$ y las piezas comienzan a expandir a temperaturas muy inferiores a las que se obtiene la absorción de agua requerida (0,5 %). Estas condiciones no son adecuadas para procesar las piezas, dado que la obtención de bajas absorciones de agua implica operar en la zona de hinchamiento excesivo, lo que originará deformaciones pirolásticas en las piezas.
- Con el granulado GR conformado en las condiciones b) es posible alcanzar un elevado grado de densificación ($2,40 \text{ g/cm}^3$) junto con un valor de absorción de agua del 0,8 %. Si se desea reducir la absorción de agua por debajo del citado valor, también deben cocerse las piezas a una temperatura ligeramente superior a T_{max} , aunque en este caso el proceso de hinchamiento es poco acusado.
- Al comparar los resultados del granulado GR conformado en las condiciones b) con los correspondientes al granulado AT, se observan diferencias significativas entre ambos. Así, a bajas temperaturas (1140-1160 °C) las piezas del granulado GR presentan una mayor densidad aparente y menor absorción de agua. Sin embargo, la mayor dificultad para gresificar las piezas obtenidas con el granulado GR, como se deduce de la menor pendiente que presenta la absorción de agua (AA) con la temperatura (T), dificulta la obtención de un bajo valor de la absorción de agua a temperaturas inferiores a la de hinchamiento.

En lo que respecta a las propiedades de las piezas cocidas a T_{max} , únicamente se han medido las correspondientes al granulado GR conformado en las condiciones b). Estas piezas presentan respecto a las obtenidas con el granulado AT las siguientes diferencias:

- Menor contracción de cocción y mayor estabilidad dimensional.
- Grado de blancura similar.
- Resistencia mecánica en cocido ligeramente inferior.
- Menor deformación pirolástica debido al menor valor de T_{max} .

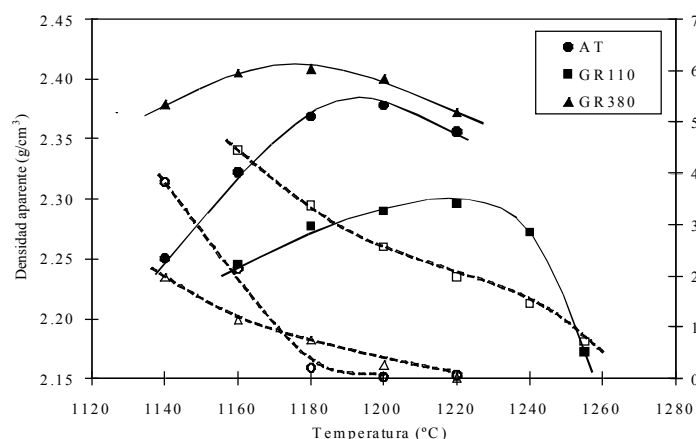


Figura 6. Evolución de la densidad aparente y de la absorción de agua con la temperatura.

Características	AT	GR - b)
Tmax (°C)	1195	1179
Densidad aparente (g/cm³)	2,380	2,409
Contracción lineal (%)	7,3	5,3
Absorción de agua (%)	<0,5	0,8
Pérdida por calcinación (%)	3,40	3,57
L*	72,2	73,5
a*	2,6	2,6
b*	13,2	13,0
Resistencia mecánica en cocido (kg/cm²)	550 ± 10	500 ± 10
Índice de piroplasticidad x 10 ⁵ (cm ⁻¹)	2,8	2,2

Tabla 5. Propiedades de las piezas a Tmax.

3.1.4. Influencia del proceso de granulación

Las diferencias observadas en el proceso de gresificación (curvas AA-T) entre los granulados AT y GR pueden deberse a la dispersión de la arcilla en agua y al empleo de desfloculantes en el caso del granulado AT, así como al diferente procedimiento de granulación empleado. Por ello, en este apartado se han preparado dos nuevas muestras a partir del granulado AT. En la primera de ellas el granulado AT se molturó en el molino pendular (ATm), mientras que en la segunda se procedió a granular el atomizado molturado en el molino pendular (ATg). La molienda y granulación se realizaron en las mismas condiciones utilizadas para preparar el granulado GR.

El nuevo granulado (ATg) presentaba una distribución del tamaño de gránulo muy similar a la del granulado GR, lo que permite concluir que esta característica

no depende del proceso de molienda empleado (molienda vía seca o vía húmeda). En lo que respecta al comportamiento en el prensado, en la tabla 6 se muestran los resultados obtenidos. Se observa que el granulado AT molturado (ATm) presenta un comportamiento en el prensado similar al granulado AT, mientras que al granular de nuevo el atomizado molturado (ATg), su comportamiento en el prensado es muy parecido al granulado GR. Estos resultados indican que el comportamiento durante el prensado, cuando se mantiene constante la distribución del tamaño de partícula, depende principalmente del procedimiento de obtención de los gránulos (atomización/granulación) y, por tanto, de las características de los mismos. Estos resultados coinciden con los obtenidos en composiciones de gres rojo [8].

Composición	AT	GR	ATm	ATg
Humedad (%)	5,5	6,0	6,0	6,0
Presión (kg/cm ²)	380	380	380	380
Densidad aparente en seco (g/cm ³)	1,947	2,112	1,941	2,070

Tabla 6. Propiedades en crudo de los granulados preparados.

En la figura 7 se comparan los diagramas de gresificación obtenidos y en la tabla 7 las propiedades a Tmax. Se observa que el comportamiento en cocción y las propiedades a Tmax del atomizado molturado (ATm) son similares al del granulado AT, y que el comportamiento y propiedades a Tmax del atomizado granulado (ATg) son muy parecidas a las del granulado GR. Por tanto, se concluye que la diferente evolución de la absorción de agua con la temperatura entre los granulados AT y GR se debe a la diferente micro-estructura en crudo que proporcionan los dos métodos de granulación empleados.

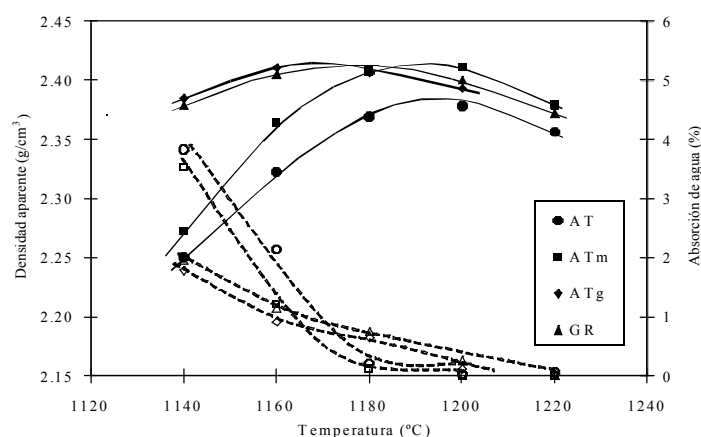


Figura 7. Evolución de la densidad aparente y de la absorción de agua con la temperatura.

Composición	AT	GR	ATm	ATg
Tmax (°C)	1195	1179	1191	1168
Densidad aparente (g/cm ³)	2,380	2,409	2,414	2,412
Contracción lineal (%)	7,3	5,3	7,5	6,1
Absorción de agua (%)	<0,1	0,8	<0,1	0,8

Tabla 7. Propiedades de las piezas a Tmax.

Para conocer si el diferente comportamiento durante la cocción de los granulados AT y GR se debe a la existencia en estos últimos de poros de gran tamaño que no pueden eliminarse o cerrarse durante la cocción, se determinó la distribución de tamaño de poros de las probetas prensadas a partir de diferentes granulados (Figura 8). Se observa que la distribución de tamaño de poros del atomizado granulado (ATg) es muy similar a la obtenida con el granulado GR. Respecto a la distribución de tamaño de poros obtenida en la probeta prensada con el granulado AT, la única diferencia que se observa es que el volumen total de poros es mayor, siendo el volumen de poros de tamaño elevado similar.

Estos resultados contrastan con las diferencias observadas en el comportamiento en la cocción entre los granulados GR y AT. Por ello se decidió analizar la microestructura de probetas cocidas en el intervalo de temperaturas en el que mayores diferencias se observan entre ambos granulados, es decir entre 1160 y 1180°C. Para ello, probetas cocidas a las dos temperaturas se pulieron y observaron empleando la señal de campo claro de un microscopio óptico (Figura 9). En estas imágenes se aprecia claramente que las piezas correspondientes al granulado GR contienen poros de mayor tamaño respecto al granulado AT, correspondiendo mayoritariamente a huecos originariamente intergranulares, que no es posible detectar en las condiciones en las que se realizan los ensayos porosimétricos. En las imágenes es posible detectar incluso los bordes de gránulos que definen los poros intergranulares. Además, estos poros se encuentran comunicados entre sí, llegando a alcanzar la superficie de la probeta (Figura 10) y siendo los causantes de la porosidad abierta (absorción de agua) en las probetas cocidas a Tmax.

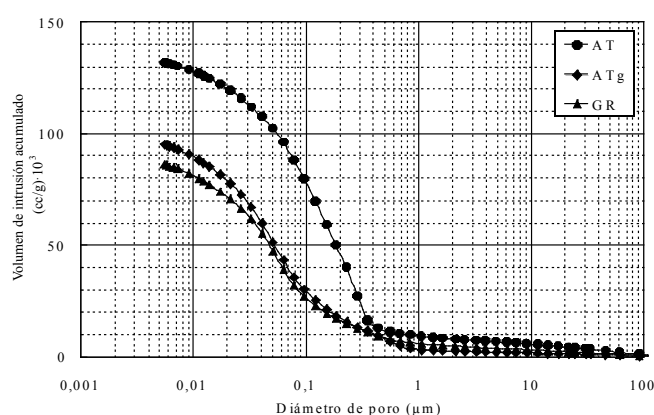


Figura 8. Distribución del tamaño de poro de las muestras ensayadas

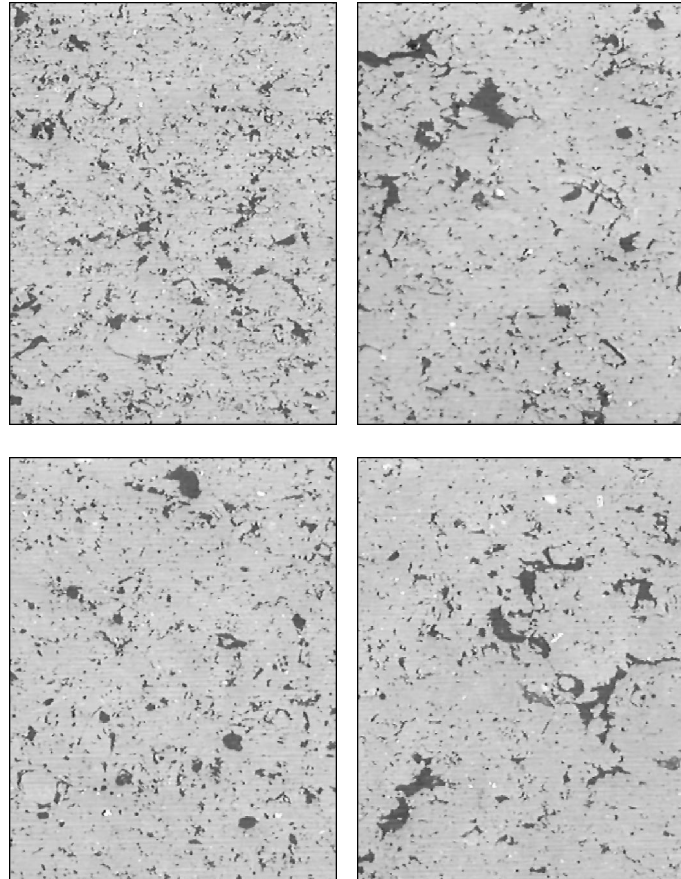


Figura 9. Comparativa de la sección transversal de las muestras AT (izquierda) y GR (derecha) a 1160°C (superior) y a 1180°C (inferior)

Estos resultados permiten concluir que el comportamiento del granulado GR durante el prensado y las propiedades que confiere a las piezas son sensiblemente diferentes respecto de las observadas al utilizar el granulado AT. La principal diferencia estriba en la menor deformabilidad de los gránulos GR, lo que requeriría la utilización de presiones de prensado muy elevadas ($>400 \text{ kg/cm}^2$) para conseguir su total deformación durante el prensado. Ello implicaría la obtención de piezas crudas con una elevada densidad, que les confiere muy buenas propiedades mecánicas pero con una permeabilidad muy baja. A las condiciones de prensado habituales en la industria ($\sim 350 \text{ kg/cm}^2$), el granulado GR, debido a su baja deformabilidad durante el prensado, proporciona piezas crudas con poros intergranulares de elevado tamaño, lo que ralentiza el proceso de gresificación y dificulta la obtención de absorciones de agua muy bajas a temperaturas inferiores al hinchamiento.



Figura 10. Sección transversal de la muestra GR a 1160°C.

Todo ello indica que la fabricación de gres porcelánico esmaltado mediante un proceso de molienda en seco y granulación requiere la obtención de una microestructura de la pieza cruda lo más homogénea posible y exenta de poros de elevado tamaño, dado que éstos perjudican las propiedades mecánicas de las piezas crudas y cocidas, y retrasan el proceso de gresificación.

3.2. Aceleración del proceso de gresificación

Para aumentar la pendiente de la curva absorción de agua-temperatura en el granulado GR se han realizado ensayos aumentando la humedad de prensado hasta el 8 % (para aumentar la deformabilidad de los gránulos), disminuyendo el tamaño de los gránulos por debajo de 500 y 300 μm (al objeto de disminuir el tamaño de los huecos intergranulares en las piezas crudas) y modificando la relación fracción plástica/fracción no plástica. Ninguna de estas modificaciones originó cambios significativos en la velocidad de gresificación de las piezas. Por ello se decidió incorporar fundentes enérgicos que actuarán principalmente en los huecos intergranulares provenientes de la periferia de los gránulos. Se ensayó un fundente soluble (granulado GRs), que se incorporó en el agua de granulación, de forma que tras el secado de los gránulos migrara a su superficie al igual que ocurre durante el proceso de atomización, y un fundente insoluble (granulado GRi) con el cual se recubrieron los gránulos GR mediante un procedimiento idéntico al empleado en la tecnología de coloreado en seco [10].

Los resultados obtenidos se muestran en la figura 11. Se observa que el fundente soluble (GRs) aumenta la pendiente de la curva AA-T respecto al granulado GR, pero reduce significativamente T_{max} , lo que impide alcanzar una baja absorción de agua con anterioridad al hinchamiento. Por el contrario, el fundente insoluble (GRi) modifica en mayor medida la curva AA-T, alcanzándose una pendiente similar a la del granulado AT pero sin modificar apreciablemente al valor de T_{max} . Ello permite alcanzar muy bajas absorciones de agua ($<0,1$ %) con anterioridad al hinchamiento de las piezas.

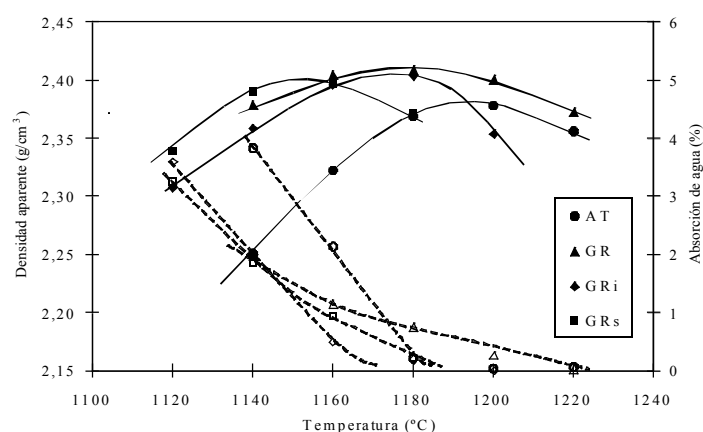


Figura 11. Evolución de la densidad aparente y de la absorción de agua con la temperatura

3.3. Pruebas industriales

Para finalizar el trabajo se realizaron pruebas industriales, para lo cual los granulados GR y GRi se prepararon en una instalación semi-industrial. A partir de los granulados se prensaron piezas de 50x50 cm², las cuales se esmaltaron y cocieron en una instalación industrial que estaba fabricando gres porcelánico esmaltado. Las condiciones en las que se fabricaron las piezas fueron idénticas a las de producción.

Durante la realización de las pruebas no se detectaron problemas de fabricación, como grietas, roturas, o defectos superficiales en el vidriado. En cuanto a los parámetros dimensionales, a parte del mayor tamaño de las piezas, el lote fabricado mostró una elevada homogeneidad, sin calibres ni descuadres ni falta de planaridad, como se podía prever por la homogeneidad de valores de densidad aparente en crudo dentro de una misma pieza y entre piezas diferentes. Algunas de las características de las piezas se muestran en la tabla 8.

Composición	AT	GR	GRi
Humedad (%)	6,0	6,0	6,1
Presión (kg/cm ²)	275	275	275
Densidad aparente en seco media (g/cm ³)	1,96	2,09	2,07
Resistencia mecánica en seco (kg/cm ²)	22	23	22
Temperatura (°C)	1195	1195	1195
Ciclo (min)	60	60	60
Densidad aparente en cocido (g/cm ³)	2,37	2,40	2,37
Contracción lineal (%)	7,0	5,7	5,7
Absorción de agua (%)	<0,1	0,4	<0,1
Resistencia mecánica (kg/cm ²)	460±12	510±15	480±13

Tabla 8. Datos correspondientes a las pruebas industriales.

4. CONCLUSIONES

Las conclusiones del presente trabajo son las siguientes:

El proceso de molienda en seco con un clasificador dinámico proporciona arcillas con tamaños de partícula controlados y similares a los que se obtienen por molienda vía húmeda en molinos de bolas.

El sistema de granulación propuesto genera gránulos macizos con una densidad superior a la del granulado obtenido por atomización y con una granulometría algo mayor. La fluidez del nuevo granulado es idéntica a la del granulado atomizado.

En las pruebas industriales realizadas, con piezas de 50x50 cm², se ha observado que los nuevos granulados proporcionan una mayor compacidad, una distribución de la densidad aparente en las piezas prensadas muy homogénea y valores similares de la resistencia mecánica en seco respecto al granulado atomizado. No se han detectado problemas de fabricación durante las fases de prensado, secado y esmaltado.

La menor deformabilidad de los gránulos GR durante el prensado origina porosidad intergranular en las piezas crudas, lo que disminuye la velocidad de gresificación de las piezas y, en consecuencia, dificulta la obtención de baldosas con nula absorción de agua previamente al hinchamiento de las piezas.

Mediante la utilización de ciertos aditivos es posible aumentar la velocidad de gresificación hasta niveles similares a los que presenta el granulado atomizado. Con la composición (GRi) se han obtenido baldosas de gres porcelánico esmaltado con una nula absorción de agua en las condiciones habituales de cocción. Las piezas obtenidas presentan un nivel de calidad idéntico a las de producción.

La utilización de esta tecnología en la fabricación de gres porcelánico pulido no se considera aconsejable actualmente por la presencia de porosidad intergranular residual en el interior de las piezas, lo que puede disminuir el brillo y la resistencia al ensuciamiento del producto.

Aunque no se incluyen datos en el texto por falta de espacio, el nuevo proceso de preparación de la composición propuesto es capaz de reciclar los residuos que se generan en el proceso de fabricación cerámico y, además, es más eficiente energética y medioambientalmente. Con este proceso se reduce el consumo de energía global en un 55 %, el consumo de agua en un 75 % y las emisiones de CO₂ en un 65 %.

AGRADECIMIENTOS

Los autores quieren agradecer al Ministerio de Ciencia e Innovación la financiación recibida para la realización del proyecto (IAP-560620-2008-35) y a la empresa Eirich-Molaris por su colaboración en la preparación de los granulados para la realización de las pruebas industriales.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] SÁNCHEZ, E.; GARCÍA-TEN, J.; SANZ, V.; MORENO, A. Porcelain tile: almost 30 years of steady scientific-technological evolution. *Ceram. Int.*, 36, 831-845, 2010.
- [2] MONFORT, E.; MEZQUITA, A.; GRANEL, R., et al. Análisis de consumos energéticos y emisiones de dióxido de carbono en la fabricación de baldosas cerámicas. *Bol. Soc. Esp. Ceram. Vidr.*, 49(4), 303-310, 2010.
- [3] ENRIQUE, J.E.; MONFORT, E.; BUSANI, G.; MALLOL, G. Reciclado de aguas residuales en la fabricación de baldosas cerámicas. *Bol. Soc. Esp. Ceram. Vidr.*, 39(1), 149-154, 2000.
- [4] MEZQUITA, A.; MONFORT, E.; VAQUER, E., et al. Optimización energética en la fabricación de baldosas cerámicas mediante el uso de aceite térmico Qualicer 2012: XI Congreso Mundial de la Calidad del Azulejo y del Pavimento Cerámico. Castellón: Cámara Oficial de Comercio, Industria y Navegación.
- [5] MELCHIADES, F.G.; DAROS, M.T.; ZANELATTO, F.C.; BOSCHI, A.O. Porcelain tiles produced by the dry route. *Interceram*, 59 (1), 13-17 , 2010.
- [6] SAMPAIO, V.G.; PINHEIRO, B.C.A.; HOLANDA, J.N.F. Dry granulation of a ceramic paste for porcelain stoneware tile. *Cerâmica*, 53, 295-299 , 2007.
- [7] ORTS, M.J.; CAMPOS, B.; PICÓ, M.; GOZALBO, A. Métodos de análisis granulométrico. Aplicación al control de la granulometría de las materias primas. En: Actas del II Congreso Mundial de la Calidad del Azulejo y del Pavimento Cerámico. Castellón. Cámara Oficial de Comercio, Industria y Navegación, 293-312, 1992.
- [8] AMORÓS ALBARO, J.L. Pastas cerámicas para pavimentos de monococción. Influencia de las variables del proceso sobre las propiedades de la pieza en crudo y sobre su comportamiento durante el prensado y la cocción. (*Tesis Doctoral*) Universidad de Valencia, Departamento de Ingeniería Química, 1987.
- [9] REED, J.S. *Principles of ceramics processing. 2nd ed.* New York: John Wiley and Sons, 1995. Chap. 20. Granulation, pp 378-393.
- [10] GARCÍA-TEN, J.; MORENO, A.; QUEREDA, F., et al. El proceso de coloreado en seco del gres porcelánico. Variables implicadas e influencia sobre las propiedades de las piezas. En: Qualicer 2008: X Congreso Mundial de la Calidad del Azulejo y del Pavimento Cerámico. Castellón: Cámara oficial de comercio, industria y navegación, 2008. pp. P.BC299-P.BC317.