

Moldeo por inyección a baja presión de suspensiones cerámicas

A. J. MILLÁN*, M. BRAVO, R. MORENO, M^a. I. NIETO.

Departamento de Cerámica - Instituto de Cerámica y Vidrio. 28500 Arganda del Rey. Madrid.

El moldeo por inyección ha recibido una importante atención para la manufactura de piezas de formas complejas y precisas que no se podrían obtener por otros métodos. Sin embargo, esta técnica implica el uso de vehículos de transporte poliméricos que llevan asociados una serie de problemas que limitan su aplicación, como son la elevada temperatura de trabajo (120°-200° C), la compleja y costosa maquinaria, la alta presión de inyección (7-150 MPa), el rápido desgaste de los moldes, los largos ciclos necesarios para la eliminación del material orgánico, etc. Estas características son las responsables del escaso auge industrial de este proceso, quedando solo al alcance de las grandes corporaciones. Una alternativa satisfactoria para reducir los costos y la complejidad del proceso es la Inyección a Baja Presión. Recientemente se ha comprobado la posibilidad de emplear esta técnica haciendo uso de suspensiones acuosas, lo que facilita enormemente la manipulación, simplifica la maquinaria y abarata significativamente los costos. Esta técnica permite reducir el contenido de material polimérico hasta un 2-3 % vol., respecto al 20-50 % vol., típicamente usado en la técnica de alta presión, de manera que no se requiere un tratamiento especial para su eliminación, disminuyendo considerablemente el nivel de rechazos.

En este trabajo se describen las ventajas y limitaciones del proceso de moldeo por inyección a baja presión (LPIM) en agua y se analizan los parámetros críticos, como son las propiedades reológicas de la suspensión a la temperatura de inyección y la influencia del aditivo gelificante, para la obtención de piezas de Al₂O₃.

Palabras clave: Moldeo por inyección a baja presión, Reología, Alúmina.

Low Pressure Injection Moulding of Ceramic Suspensions

Injection moulding has received a significant attention for manufacturing of precise, complex shaped parts which could not be obtained by other methods. However, this technique implies the use of polymeric transport vehicles, associated to some problems that limit its use, such as the high working temperature (120°C-200°C), the complex and expensive machinery, the high injection pressures (7-150 MPa), the moulds corrosion, the long cycles for burning out, etc. These characteristics are the responsible for the low industrial use of this process, only available for big companies. An useful alternative to reduce costs and process complexity is the low pressure injection moulding. It has been stated that this technique can be used from aqueous suspensions, thus largely facilitating handling, machinery and reducing costs. This technique allows to decrease the content of polymeric materials down to 2-3 vol%, respect to 20-50 vol%, typically employed in the high pressure technique, in such a way that it is not necessary a specific treatment for burning out, and then the number of rejected parts is lower.

In this work, the advantages and limitations of the low pressure injection moulding (LPIM) process in water are described focusing critical parameters for the obtention of alumina parts, such as the rheological properties of the suspension at the injection temperature and the influence of the gelling additive.

Key words: Low Pressure Injection Moulding, Rheology, Alumina

INTRODUCCIÓN

Básicamente, los procesos de moldeo de piezas cerámicas por inyección consisten en introducir una mezcla de polvos cerámicos y polímeros fundidos en la cavidad de un molde metálico, donde solidifica para dar lugar a la pieza en verde (1, 2). En una primera etapa, el polvo cerámico se mezcla con los aditivos orgánicos, previamente fundidos, que incluyen aglomerantes, plastificantes, lubricantes y dispersantes. El mezclado se hace directamente sobre el sistema polimérico fundido, obteniéndose una mezcla de alta viscosidad. Una vez mezclados los componentes, se granulan y se procede a su inyección en un molde metá-

lico (1, 3, 4). Las temperaturas y presiones de trabajo se encuentran en el intervalo de 120 -200°C y 7-150 MPa, respectivamente, dependiendo del tipo de aglomerante que se utilice (1-10).

Frente a esta tecnología tradicional, en los últimos años se ha impulsado el desarrollo de una tecnología de moldeo por inyección a baja presión, conocida en la literatura como Low Pressure Injection Molding (LPIM). El flujo operativo del proceso es similar al convencional, que se ha denominado High Pressure Injection Molding (HPIM), con una diferencia fundamental: las presiones empleadas se encuen-

* Dirección permanente: Depto. Materiales, IUII, Dr. Federico Rivero Palacios, Caracas, Venezuela.

tran en el intervalo de 0,3–0,7 MPa, frente a los 7–150 MPa, utilizados normalmente en el proceso HPIM (6, 9).

En el proceso LPIM se usan polímeros termoplásticos de bajo peso molecular basados en poliactatos y ceras, lo que rebaja la viscosidad de la mezcla y por consiguiente, permite el uso de bajas presiones de inyección (4, 7). La viscosidad necesaria para el proceso LPIM limita el contenido en sólidos de la mezcla a un máximo de 55–65 % vol (9), lo cual implica una contracción elevada durante la sinterización.

El mayor inconveniente de los métodos de inyección (tanto los de HPIM como los de LPIM en ceras) se refiere a los problemas derivados de la eliminación de orgánicos, lo que dificulta y encarece el proceso. Normalmente, se emplean largos ciclos térmicos para la extracción de los polímeros (2, 6, 7, 9, 11, 12). No obstante, se han descrito otros métodos para su eliminación, entre los que destacan los de extracción catalítica, los cuales permiten rebajar el tiempo de eliminación del aglomerante a menos de 10 horas. (1, 3-6).

De máximo interés es la vía alternativa de preparación de las mezclas para inyección usando agua como medio de suspensión, aprovechando las propiedades de gelificación de polímeros derivados de la metilcelulosa u otros polisacáridos, como la agarosa (5, 7, 12). Por este procedimiento es posible preparar suspensiones concentradas, parecidas a las empleadas en otras técnicas de conformado, como las de colaje. Sin embargo, la presencia de aditivos gelificantes determina las condiciones de preparación de la suspensión. Como en el resto de los procesos PIM, el polímero utilizado para la solidificación de la pieza presenta una característica fundamental, que es la temperatura de transición vítrea, T_g (11).

En el caso más general, a temperaturas inferiores a la T_g el polímero es frágil y quebradizo, por lo que la preparación de la mezcla debe hacerse a temperaturas superiores, con el fin de permitir la máxima fluidez del polímero. La inyección entonces se realiza sobre un molde refrigerado que produce un descenso de temperatura por debajo de la T_g , provocando la solidificación de la mezcla (6, 7, 12). La excepción a este comportamiento la constituyen los derivados de alquilcelulosa (metil celulosa, etil celulosa, hidroxietil celulosa, carboximetil celulosa), que son rígidos a temperaturas superiores a la T_g (12, 13). En consecuencia, en este tipo de sistemas, la pasta o suspensión se prepara en frío y se inyecta en un molde caliente, en donde gelifica para formar la pieza en verde (7, 13). La figura 1 resume los diferentes tipos de procesos derivados del moldeo por inyección para la obtención de piezas a partir de polvos.

El análisis bibliográfico de los procesos LPIM revela que el número de trabajos realizados en agua es muy escaso y los pocos que hay, utilizan derivados del agar (agarosa) como agente gelificante (6, 7, 12), cuya T_g es de unos 35°C, por lo que la suspensión se prepara en caliente (55–80°C) y se inyecta en un molde metálico refrigerado, utilizando presiones inferiores a 0,7 MPa. El descenso de la temperatura por debajo de la T_g produce la solidificación inmediata de la suspensión, lo que permite reducir el tiempo de residencia en el molde a escasos segundos. Una lubricación adecuada del molde posibilita la extracción de la pieza sin dañar, que se deja secar al aire como en el conformado por colaje. Tras el secado, la pieza se somete a un ciclo de cocción único sin necesidad de tratamientos específicos de extracción de ligantes, dada la baja concentración de éstos utilizada, en torno al 1% (6, 7).

La figura 2 compara esquemáticamente la secuencia general de los procesos LPIM y HPIM, pudiéndose constatar la

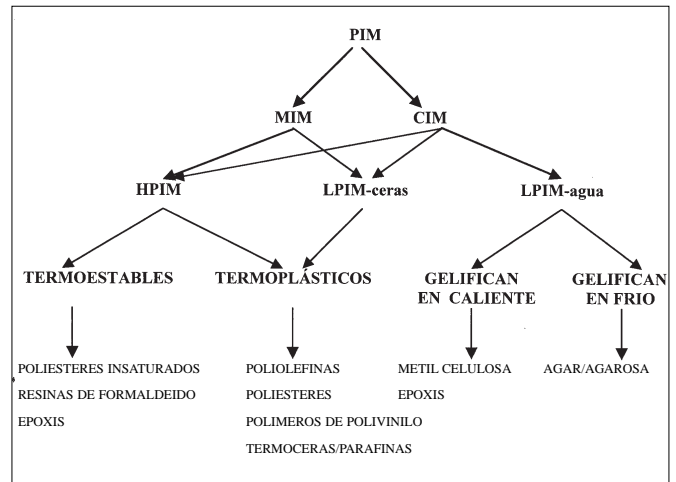


Fig. 1. Tipos de procesos de moldeo por inyección de polvos (PIM), tanto metálicos (MIM) como cerámicos (CIM).

variación existente en el tipo de componentes de la mezcla, así como la eliminación respecto al proceso de HPIM de las etapas de granulación y eliminación del ligante, que cambia por una sencilla etapa de secado convencional en LPIM en agua (1, 6).

La tabla 1 presenta un resumen de los valores de los distintos parámetros de trabajo para cada uno de los procesos presentados en la figura 2. Como se puede observar, los valores correspondientes a la temperatura de la mezcla a inyectar, así como la presión de inyección del proceso LPIM, son sensiblemente inferiores a los correspondientes a HPIM, lo que simplifica enormemente el equipamiento necesario para el procesamiento (3, 8).

El método tiene una alta sensibilidad a los defectos microestructurales introducidos durante el moldeo y requiere una cuidadosa preparación de la suspensión a inyectar. Rak et al. (6, 12) estudiaron la obtención de piezas de alúmina por LPIM a partir de suspensiones con contenidos en sólidos del 72,5 % en peso, utilizando agarosa como gelificante, en una concentración del 1 % en peso. Las piezas pueden ser secadas y calentadas sin procesos especiales de eliminación del ligante (11). Las piezas obtenidas en este caso tenían una densidad relativa del 94–97 %.

Los mayores problemas que se presentan en los procesos LPIM en agua están relacionados con la falta de homogeneidad y estabilidad de las suspensiones a las temperaturas de inyección, que provoca fenómenos de segregación e incremento de la viscosidad, originando defectos en la pieza obtenida, tales como aire atrapado, pliegues, laminaciones y porosidad residual (6, 10, 12). Los trabajos de Lu Cum et al (15) demuestran que, a medida que aumenta la temperatura, se requiere una mayor cantidad de dispersante para estabilizar la suspensión. Sin embargo, en la bibliografía de LPIM no se ha tenido en cuenta este fenómeno, sino que se ha realizado una somera caracterización reológica a temperatura ambiente y no a la de inyección.

La tabla 2 presenta composiciones típicas de los procesos de inyección procedentes de la bibliografía. Se puede observar claramente cómo varían las cantidades y tipos de aditivos, que hacen que el proceso sea muy atractivo para la producción en serie. Sin embargo, el rápido incremento de la viscosidad con la adición del gelificante y el

difícil control reológico a la temperatura de trabajo, unido al elevado costo del aditivo, se vuelven parámetros críticos que han limitado, por el momento, su aplicación industrial.

PARTE EXPERIMENTAL

Los materiales utilizados han sido: alúmina Alcoa CT-3000 SG (Alemania), como defloculante un polielectrolito de ácido carbónico, DOLAPIX CE 64, de la casa Zschimmer &

Schwarz (Alemania) y como gelificante o aglomerante la AGAROSA D-1 LE, de la empresa Hispanagar (España).

Se prepararon suspensiones al 75 % y 80 % en peso con concentraciones de defloculante entre 0,3% y 1,5% respecto al peso seco del polvo cerámico. Con la finalidad de determinar el mejor sistema de molienda -mezclado para una más efectiva adsorción del dispersante y utilizando el mismo procedimiento experimental, se usaron los siguientes procesos: 1) Molino de bolas, 2) Molino centrífugo, 3) Mezclador de alta velocidad.

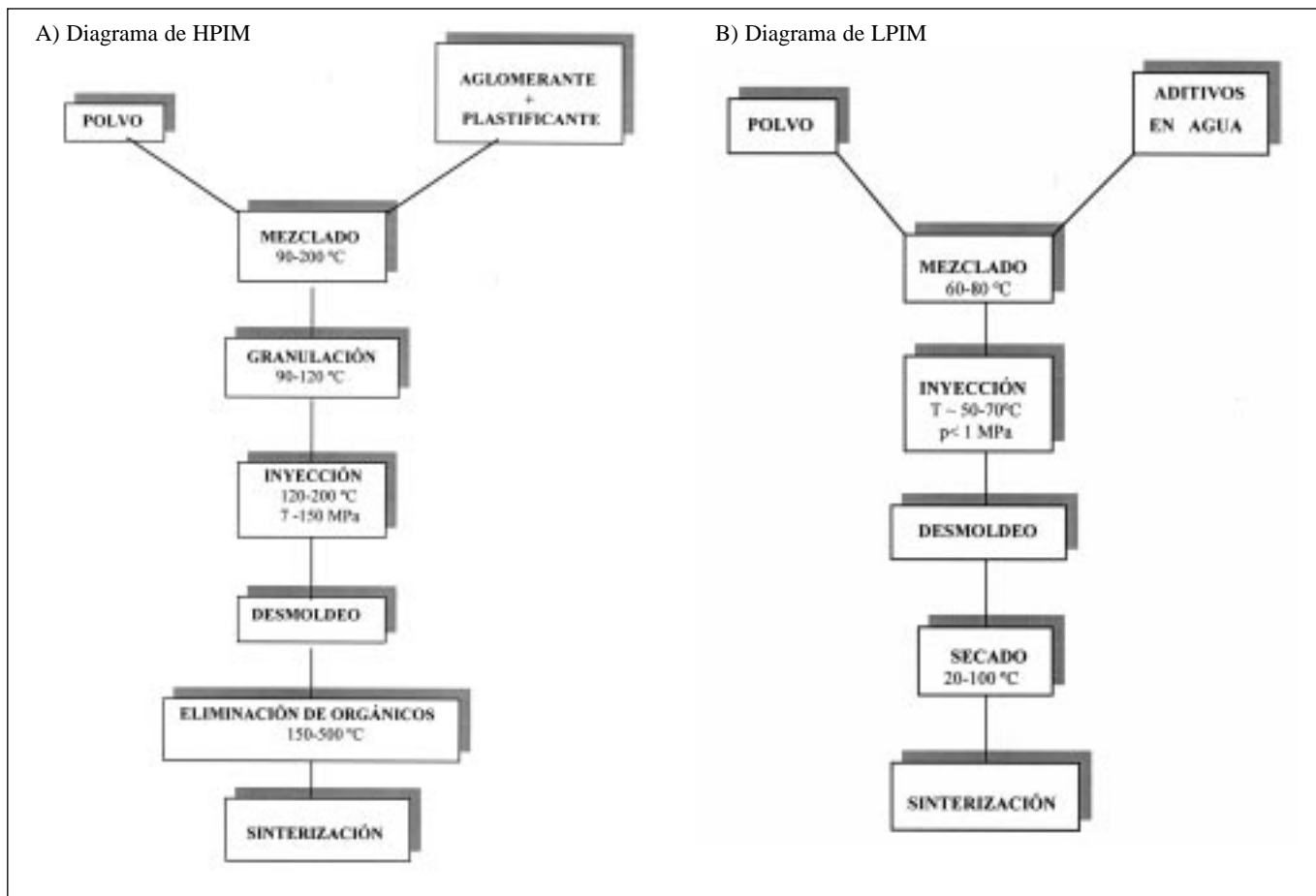


Fig. 2. Diagrama de flujo correspondiente al proceso HPIM y LPIM con termoplásticos tradicionales (a) y al proceso LPIM en agua (b).

TABLA I.
VALORES CORRESPONDIENTES A LOS PRINCIPALES PARÁMETROS DE TRABAJO DE LOS PROCESOS PRESENTADOS EN LA FIGURA 2. (2, 3, 5-7, 9, 12, 14)

VARIABLE DEL PROCESO	HPIM	LPIM (en Ceras)	LPIM (en agua)
TEMPERATURA DE MEZCLADO (°C)	90 - 200	<120	50-70
TEMPERATURA DE GRANULACIÓN (°C)	90 - 120	—	—
TEMPERATURA DE INYECCIÓN (°C)	120 - 200	<100	60 - 80
PRESIÓN DE INYECCIÓN (MPa)	15 -150	<1	0,3 - 0,7
TEMPERATURA DE SECADO (°C)	—	—	20 - 100
TIEMPO DE SECADO (h)	—	—	24
TEMPERAT. DE ELIMIN. DE ORGÁNICOS (°C)	150 - 500	150 - 500	—
TIEMPO DE ELIMINAC. DE ORGÁNICOS (h)	70 - 100	9 - 100	—

TABLA 2.

INTERVALO DE COMPOSICIONES BÁSICAS USADAS PARA LOS PROCESOS HPIM, LPIM EN CERAS Y LPIM EN AGUA PARA Al_2O_3 y $*SiC$ (1, 3, 4, 6, 7, 9, 12, 14).

PROCESO	HPIM		LPIM (En Ceras)	LPIM (En Agua)
	TERMOESTABLE	TERMOPLASTICO	TERMOPLASTICO	GELIFICANTE (Tg<40°C)
% POLVO	60 - 83 75 *	72 - 89	84 - 88	65 - 73
% AGLOMERANTE	37 - 40 22 *	28 - 11	16 - 12	1,5 - 3
% AGUA	—	—	—	32 - 24
% OTROS	3 *	—	—	1 - 2,5

A partir del polvo de agarosa, se preparó una disolución de la misma al 10% en peso. Puesto que la temperatura de gelificación de la agarosa es 36,4 °C, con objeto de disolverla se mezcló con agua a temperaturas comprendidas entre 40 y 60°C, procediendo a eliminar los grumos con un mezclador de alta velocidad. Tras el enfriamiento y gelificación de la disolución, se trituró en un molino de aspas y se adicionó a la suspensión de alúmina en una proporción del 1% en peso de agarosa respecto al polvo de alúmina.

La caracterización reológica de las suspensiones se realizó mediante la determinación de las curvas de flujo obtenidas con un reómetro RHEOSTRESS RS50 (Haake, Alemania) a diferentes temperaturas. Considerando el volumen de llenado y el tiempo de inyección, se ha estimado que la velocidad de cizalla que sufre la suspensión durante la inyección es del orden de 100 s⁻¹. Este valor es el que se ha tomado para la representación de las curvas de viscosidad, tras acotar el gradiente de velocidad de 50 s⁻¹ a 300 s⁻¹, y el esfuerzo de cizalla de 0 - 20 Pa.

Para preparar la mezcla a inyectar es necesario calentar previamente la suspensión de alúmina que contiene el defloculante, a temperaturas superiores a 40 °C, para de este modo evitar que la agarosa gelifique. Una vez calentada la suspensión de alúmina, se fue añadiendo lentamente la agarosa sobre una placa calefactora, manteniendo la temperatura próxima a 60 °C. Posteriormente, para evitar la posible presencia de aglomerados, se sometió la mezcla a una nueva etapa de desagregación con el mezclador de alta velocidad, durante 4 minutos, a la máxima velocidad.

El moldeo fue realizado en una máquina Modelo MIGL-28 de la firma Peltsman Corporation (USA), diseñada para el moldeo de piezas cerámicas de diferentes mezclas a base de parafinas o ceras como aglomerantes y producción de series limitadas de piezas de pequeño tamaño. En nuestro caso se obtuvieron probetas de 10x10x60 mm. Se estudió la influencia de diferentes parámetros del proceso como son las temperaturas en las distintas zonas: temperatura del conducto y del orificio de salida, el tiempo de inyección y la viscosidad de la mezcla utilizada.

Las piezas obtenidas se secaron sobre una lámina de acetato de polivinilo a temperatura ambiente (18 °C), girándolas cada cierto tiempo para proporcionar un secado lo más homogéneo posible. Esta etapa se llevó a cabo durante una semana, siendo controladas las pérdidas de peso durante

todo este periodo. La caracterización de las piezas en verde se realizó mediante determinación de la contracción a partir de medidas dimensionales y de la densidad por el método de inmersión en mercurio. Su microestructura se estudió por microscopía electrónica de barrido sobre superficie de fractura, utilizando un equipo Zeiss (Alemania), modelo DSM-950 con un poder de resolución de 70 Å.

RESULTADOS Y DISCUSION

Con objeto de encontrar las condiciones de máxima homogeneidad en composición y distribución que permitan reducir la viscosidad y obtener una mayor estabilidad de la suspensión y mejores condiciones de flujo durante la inyección, se estudiaron las propiedades reológicas en función de la temperatura de las suspensiones con distintas concentraciones de defloculante y preparadas con diferentes sistemas de molienda - mezclado.

Las curvas obtenidas en todos los casos reflejan un comportamiento pseudoplástico, por lo que la viscosidad no es constante sino que varía con la velocidad, de forma que se debe seleccionar un valor de velocidad de cizalla para comparar las viscosidades a esa velocidad. A tal fin se seleccionó un valor de 100 s⁻¹, como se ha expuesto anteriormente.

La figura 3 muestra las curvas de variación de viscosidad con la temperatura de suspensiones al 75 % peso de sólidos en función de la concentración de dispersante, para los distintos métodos de molienda - mezclado. En todos los casos se ha observado que cuando la concentración de dispersante es baja, la viscosidad aumenta considerablemente con la temperatura, independientemente de la forma de preparación de la suspensión. Este incremento de viscosidad con la temperatura se va reduciendo a medida que aumenta la concentración de dispersante, hasta un valor en el que prácticamente no sufre modificación alguna. En consecuencia, el aumento de temperatura produce importantes modificaciones en el comportamiento de adsorción del defloculante, de forma que es necesaria una concentración mayor para conseguir una dispersión máxima. Este hecho es de gran trascendencia, ya que una suspensión estable a temperatura ambiente puede no serlo en las condiciones de inyección.

Para el estudio de la reología de la agarosa en función de la temperatura, se seleccionó una disolución al 2 % en peso de la misma, ya que éste sería el límite superior para

el procesamiento que se aborda en este trabajo. En la figura 4 se muestra la variación de la viscosidad en función de la temperatura. En dicha figura se observa que a la temperatura de 35 °C, muy próxima al punto de gelificación, la disolución tiene una viscosidad muy elevada. Sin embargo, a medida que la temperatura aumenta, la viscosidad va disminuyendo hasta alcanzar un valor de 36 mPa.s a 70 °C. Esta es la propiedad que hace interesante a la agarosa para su empleo en el moldeo por inyección, puesto que sirve para dar consistencia a la suspensión de la alúmina a temperatura ambiente, y a las temperaturas de inyección presenta una baja viscosidad que facilita el moldeo.

Las curvas de flujo que se presentan en la figura 5, correspondientes a suspensiones de alúmina de distintas concentraciones en sólidos con 1% de defloculante y 1% de agarosa, fueron obtenidas a temperaturas de 55 °C y 70 °C, por lo que se seleccionaron estas temperaturas para los ensayos de inyección.

Cabe destacar el gran aumento de la viscosidad que se produce en la mezcla a las temperaturas de inyección, superior a los valores registrados tanto para la disolución de agarosa, como para las suspensiones de alúmina en condiciones análogas. Este fenómeno puede ser producido por la evaporación de agua durante la preparación de la mezcla, que conduce a dispersiones más concentradas y a la competitividad por el agua que se debe originar entre el polvo de alúmina y la agarosa.

En la tabla 3 se muestran, a modo de comparación, las viscosidades de la suspensión de alúmina al 75% sólidos con 1% de defloculante y de la mezcla final con agarosa a una velocidad de cizalla de 100 s⁻¹, preparadas en molino de bolas. Asimismo, se muestran los valores correspondientes a una disolución de agarosa al 2% peso.

Durante la etapa de inyección resulta bastante difícil el control de la viscosidad de la mezcla, debido a la imposibilidad de extraer la muestra del tanque. Sin embargo, medidas realizadas después de la inyección mostraron un incremento significativo de la viscosidad, lo que se atribuye a la evaporación de agua a las temperaturas de trabajo, ya que se ha observado abundante condensación en las paredes del tanque.

La tabla 4 recoge las variables del proceso y las características finales de algunas muestras obtenidas en distintos experimentos de moldeo. Las temperaturas del tanque y del conducto de alimentación del molde se hicieron variar en un intervalo de 55 a 70 °C, no observándose ningún cambio importante en las propiedades finales. Sin embargo el proceso de inyección se realiza mejor a 70 °C debido a que la evaporación del agua que se presenta a esa temperatura incrementa la velocidad de gelificación evitando pérdidas de material por las juntas del molde.

Por otra parte, también se pudo comprobar que el tiempo de inyección no tiene ninguna influencia significativa en las características de la pieza, por lo que se estableció un tiempo de 5 s, suficiente dadas las dimensiones del molde. La operación total de inyección y extracción de la pieza, en estas condiciones, consume un tiempo de 30 s.

En todos los casos, los valores de densidad de las piezas en verde y las contracciones determinadas son adecuados para la obtención de materiales densos de alúmina tras su sinterización. Las muestras preparadas a partir de suspensiones al 80% en sólidos, muestras 5 y 6 de la Tabla 4, presentaron una mayor densidad en verde y coherentemente, unos valores

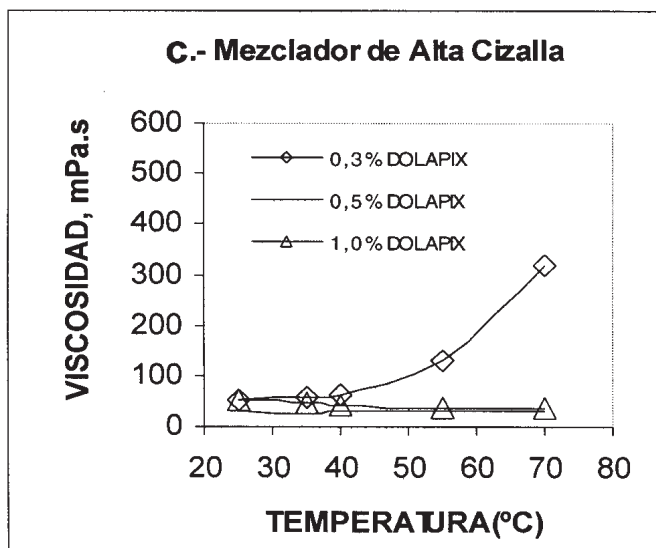
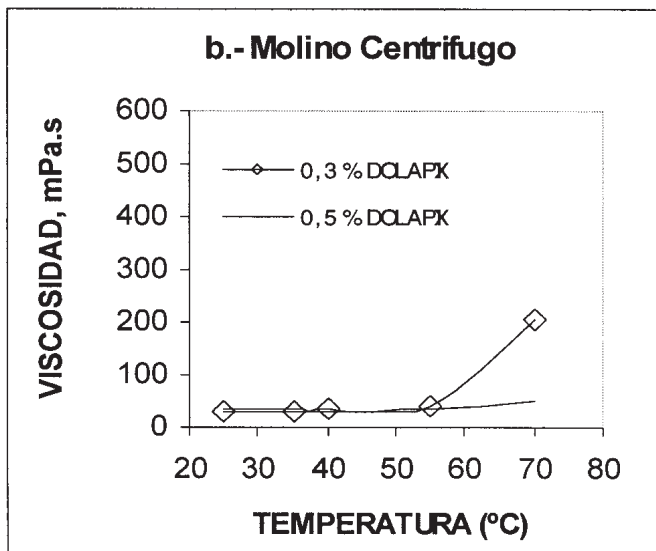
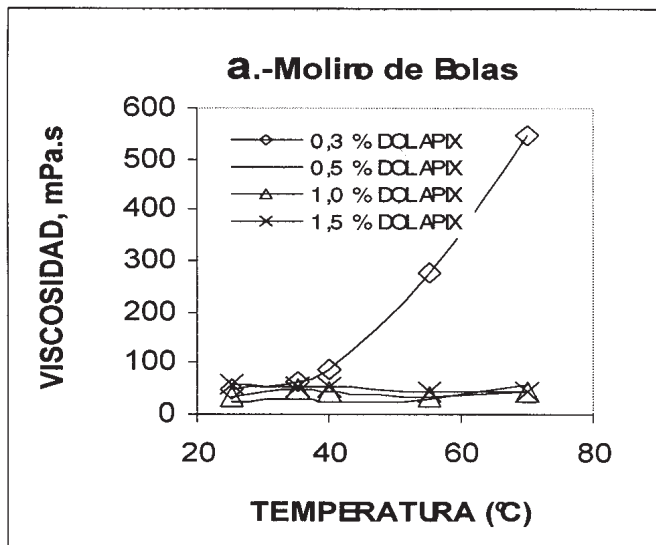


Fig. 3.- Variación de la viscosidad con temperatura en función de la concentración de dispersante y según el método de mezcla

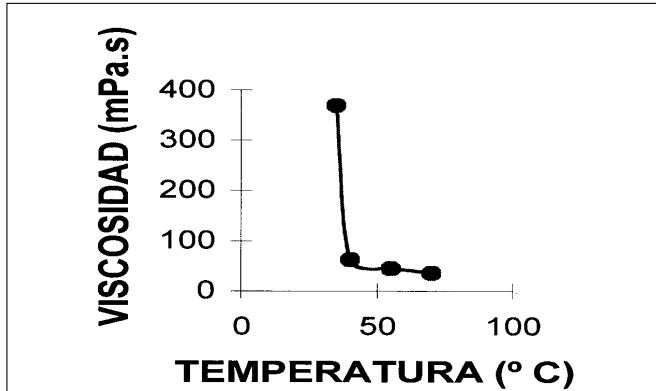


Fig. 4.- Variación de viscosidad de una disolución de agarosa al 2%.

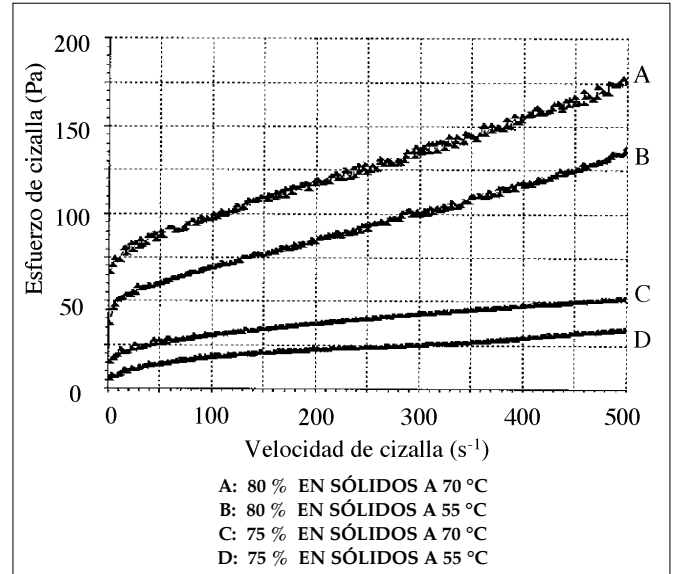


Fig. 5.- Curvas de flujo correspondientes a las mezclas con 1% de dispersante y 1% de agarosa a las temperaturas de ensayo seleccionadas

menores de pérdida de peso y de contracción lineal. Sin embargo, es necesario resaltar que, en este caso, la evaporación de agua que tiene lugar provoca un mayor y más rápido incremento de la viscosidad, lo que causa la obturación del orificio de inyección.

En la figura 6 se presenta la microestructura en verde de las muestras 2 y 6, en las que se puede observar un alto grado de homogeneidad de las mismas, si bien es posible apreciar algún aglomerado de agarosa, lo que implica la necesidad de optimizar el sistema de preparación e incorporación del agente gelificante a la mezcla.

Respecto al secado de las piezas obtenidas, se pudo comprobar que la pérdida de humedad ocurre durante las primeras 24 horas, lo que confiere a este proceso mucha más perspectiva en cuanto al ahorro de tiempo, unido al ahorro energético. Por otra parte, tras el secado, la consistencia en

verde de las muestras es muy alta, dada la elevada resistencia del gelificante, por lo que las piezas pueden ser mecanizadas con mayor facilidad que en el caso de las obtenidas por otras técnicas de conformado.

CONCLUSIONES

1.- Se ha comprobado de forma experimental la posibilidad de conformar piezas cerámicas mediante moldeo por inyección a baja presión en agua. Por este procedimiento, se han obtenido piezas de Al_2O_3 homogéneas, con una densidad en verde del 52% de la teórica, con tiempos de inyección de 5s y secadas al aire en períodos inferiores a 24h, lo que acorta y abarata sensiblemente el proceso respecto al uso de ceras y parafinas.

TABLA 3.

VALORES DE VISCOSIDAD A 55 Y 70°C DE LA SUSPENSIÓN DE ALÚMINA, DE LA MEZCLA CON AGAROSA Y DE LA DISOLUCIÓN DE AGAROSA AL 2% PESO (VELOCIDAD DE CIZALLA 100 s⁻¹)

Temperatura (°C)	η mezcla (mPa.s)	η suspensión (mPa.s)	η agarosa (mPa.s)
55	130	34	45
70	296	33	36

TABLA 4.

VALORES DE LAS DISTINTAS VARIABLES DEL PROCESO Y DE LAS PROPIEDADES DE LAS MUESTRAS OBTENIDAS POR INYECCIÓN.

Muestra	Contenido sólidos (%p)	Temperatura tanque (°c)	Pérdida de peso (%)	Contracción de secado (%)	Densidad en verde (% t)
1	75	70	3.40	9.1	52.32
2	75	70	3.53	9.2	52.50
3	75	60	3.60	9.5	52.20
4	75	55	3.17	10.40	51.3
5	80	55	2.50	6.55	53.50
6	80	55	2.00	6	54.25

2.- Se ha comprobado que de las distintas variables del proceso, solamente tienen fuerte influencia sobre el resultado final, la temperatura de la mezcla a inyectar, el valor de la viscosidad correspondiente, la temperatura del canal de inyección, las condiciones de mezclado dentro del tanque y el control de la evaporación del agua de la mezcla. Por el contrario, la presión aplicada no afecta a las propiedades de la pieza, siempre que sea suficiente para llenar el molde uniformemente.

3.- Se ha demostrado que el control del proceso exige un estudio riguroso del comportamiento reológico de las suspensiones a utilizar en función de la temperatura, ya que influye de forma crítica en las condiciones de defloculación de la sus-

pensión, de forma que, al aumentar la temperatura se precisa una mayor concentración de defloculante para alcanzar la estabilidad coloidal de la suspensión.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo se ha realizado en el marco de un proyecto CICYT (MAT 97 – 0676). A. J. Millán agradece al CONICIT (Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Tecnológicas de Venezuela) por la concesión de Beca.

BIBLIOGRAFÍA

1. C. Kooij, N. Noort, A.S. Verdier, H.L. Schram. "Ceramic Injection Molding (CIM)", pp.487-492 en *Fourth Euro Ceramics Vol. 1: Basic Science-Developments in Processing of Advanced Ceramics, Part I*. Ed. C. Galassi. Gruppo Editoriale Faenza Editrice S. A., Faenza, Italia 1995.
2. B. C. Mutsuddy. "Equipment Selection for Injection Molding". *Am. Ceram. Soc. Bull.*, **68** (10) 1796-1802 (1989).
3. A. Odriozola, I. Ochoa, M. Gutierrez. "Moldeo por Inyección de Cerámicas". *Bol. Soc. Esp. Ceram. Vid.*, **33** (5) 267 – 271 (1994).
4. R. M. German, K. F. Hens. "Key Issues in Powder Injection Molding". *Am. Ceram. Soc. Bull.*, **70** (8) 1294 – 1302 (1991).
5. B. C. Mutsuddy, R. G. Ford. "Ceramic Injection Molding". Ed. Chapman & Hall. First edition. Cambridge, USA 1995.
6. Z. S. Rak, F. W. Hamburg. "Manufacturing of Alumina Products by Low and High Pressure Injection Moulding". *Ceramica Acta* **7** (2) 5-13. 1995.
7. A. J. Fanelli, R. D. Silvers, W. S. Frei, J. V. Burlew and G. B. Marsh. "New Aqueous Injection Molding Process for Ceramic Powders". *J. Am. Ceram. Soc.* **72** (10) 1833-1836 (1989).
8. M. Sajko, T. Kosmac. "Microstructure and Properties of Low-Pressure Injection-Moulded Reaction-Bonded Alumina Ceramics". *J. Mater. Sci.*, **32** 2647-54 (1997).
9. J. A. Mangels. "Low-Pressure Injection Molding". *Am. Ceram. Soc. Bull.*, **73** (5) 37-41 (1994).
10. S. Novak, K. Vidovic, M. Sajko, T. Kosmac. "Surface Modification of Alumina Powder for LPIM". *J. Eur. Ceram. Soc.*, **17** (2-3) 217-24 (1997).
11. T. Kosmac, S. Novak, and M. Sajko. "A New Setting Concept for Aqueous Injection Moulding". *J. Eur. Ceram. Soc.*, **17** (2-3) 427-32 (1997).
12. Z. S. Rak and P.J. van Tilborg. "Aqueous Injection Moulding Process", pp. 409 – 413 en *Euro Ceramics II Vol. 1: Basic Science and Processing of Ceramics*. Ed. G. Ziegler, H. Hausner, Berlin, Alemania 1991.
13. J. E. Schuetz. "Methylcellulose Polymers as Binders for Extrusion of Ceramics". *Am. Ceram. Soc. Bull.*, **65** (12) 1556-1093 (1986).
14. T. J. Whallen and C. F. Johnson. "Injection Molding of Ceramics". *Am. Ceram. Soc. Bull.*, **60** (2) 216-220 (1981).
15. L.C. Guo, Y. Zhang, N. Uchida and K. Uematsu. "Influence of Temperature on Stability of Aqueous Alumina Slurry Containing Polyelectrolyte Dispersant". *J. Eur. Ceram. Soc.*, **17** (2-3) 345-350 (1997).

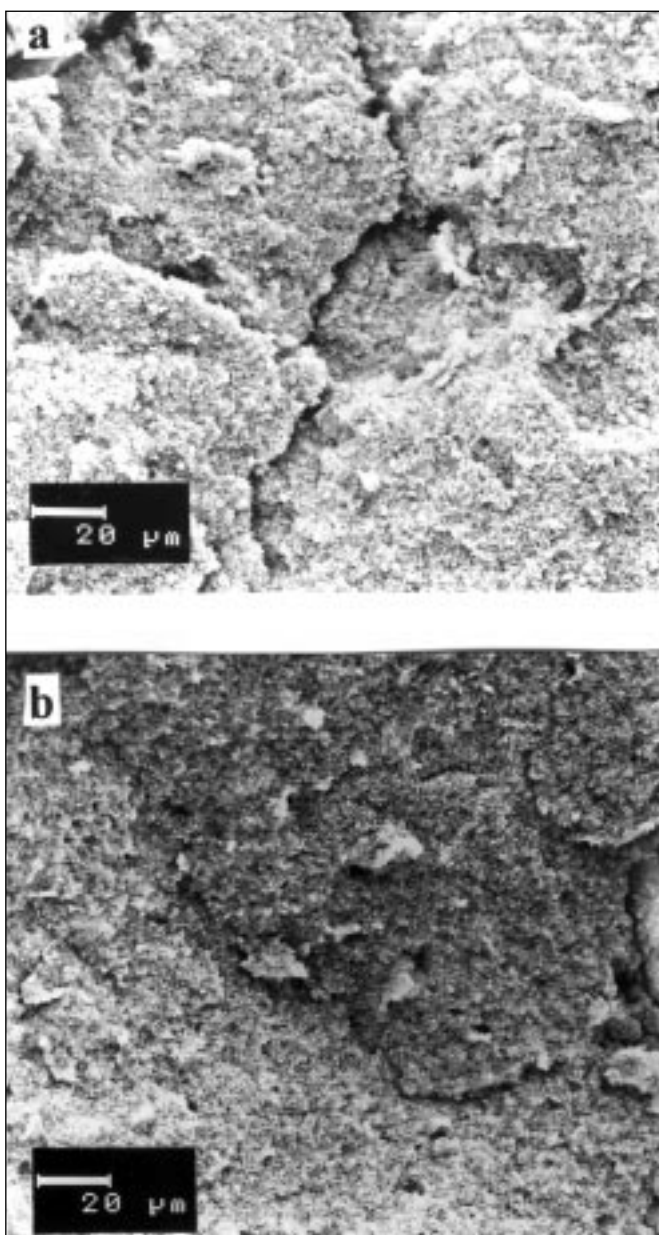


Fig. 6.- Microestructura de las muestras en verde, realizada sobre superficies de fractura: a) Muestra 2 preparada a partir de suspensiones al 75 % en sólidos e inyectada a 70°C, y b) Muestra 6 preparada a partir de suspensiones al 80 % en sólidos e inyectada a 55°C.