



Diseño de una matriz para la producción de monolitos de cordierita

J. Eduardo Estrada-Pérez^{1*}, Antonio Gutiérrez-Valverde¹, Jennipher Pérez-Cabrera¹, José Luis Contreras-L¹,
Zeferino Damián-Noriega¹, Naomi N. González-Hernández¹, Arturo Pallares-García¹

¹Universidad Autónoma Metropolitana Azc., CBI-Energía. Av. San Pablo 180, Col. Reynosa, CDMX 02200,
México.

Autor de correspondencia: eduardo.estrada2307@gmail.com

Recibido 11 de mayo de 2020; aceptado 17 de junio de 2020

RESUMEN

En este trabajo se realizó un estudio sobre el efecto de la metilcelulosa (MC) y la carboximetilcelulosa (CMC) como agentes plastificantes utilizados en el proceso de extrusión de monolitos de cordierita ($2\text{MgO}\cdot 2\text{Al}_2\text{O}_3\cdot 5\text{SiO}_2$). Los óxidos precursores de la cordierita utilizados fueron MgO , Al_2O_3 y SiO_2 comerciales, con los cuales se prepararon ocho mezclas con la siguiente composición 11-13% wt de MgO , 46-47% wt de SiO_2 y 34-36% wt de Al_2O_3 , donde el porcentaje de los agentes plastificantes fue del 1% wt al 7% wt, con el objetivo de obtener una pasta adecuada para ser extruida. La extrusión de las mezclas se llevó a cabo utilizando una extrusora de tipo pistón con un embolo de 50.8 mm y un dado de 124 celdas por pulgada cuadrada (cpsi) y 101 orificios, diseñado y construido en este trabajo. Finalmente, se evaluó el efecto del plastificante en la obtención de monolitos por este método.

PALABRAS CLAVE: Cordierita, monolitos, diseño, impresión 3D, extrusora.

ABSTRACT

In this work, a study on the effect of methylcellulose (MC) and carboxymethylcellulose (CMC) was conducted as plasticizing agents, used in the process of extruding cordierite monoliths ($2\text{MgO}\cdot 2\text{Al}_2\text{O}_3\cdot 5\text{SiO}_2$). The precursor cordierite oxides used were MgO, commercial Al_2O_3 and SiO_2 , with which eight mixtures were prepared with the following composition 11-13% wt of MgO, 46-47% wt of SiO_2 and 34-36% wt of Al_2O_3 , where the percentage of plasticizing agents was 1% wt to 7%, wt with the aim of obtaining a paste suitable for extruding. The extrusion of the mixtures was carried out using a piston-type extruder with a 50.8mm embolism and a dice of 124 cells per square inch (cpsi) and 101 holes, designed and constructed in this work. Finally, the effect of the plasticizer on obtaining monoliths by this method was evaluated.

KEY WORDS: Cordierite, monoliths, design, 3D print, extruder.

INTRODUCCIÓN

Los monolitos catalíticos de cerámicas o de cordierita, también conocidos como catalizadores estructurados, son utilizados comúnmente en la industria como absorbentes de agentes contaminantes presentes en un fluido líquido o gaseoso, con el objetivo de reducir la concentración de algún compuesto nocivo antes de ser descargado al ambiente. Los monolitos pueden ser utilizados en fuentes fijas, como en el tratamiento de efluentes líquidos o gaseosos, y como fuentes móviles, como los convertidores catalíticos de los autos, así como algunas aplicaciones medioambientales, como en la reducción de agentes contaminantes como NO_x y CO, hidrocarburos (Recalde, 2010.).

Los óxidos precursores de la cordierita utilizados fueron MgO, Al₂O₃ y SiO₂ comerciales para la obtención de una pasta adecuada, más la adición e incorporación de agua y aditivos. Para adquirir la forma deseada, es necesario controlar factores como el tamaño y forma del grano, influencia de la deformación plástica, proporción de sólidos y fase líquida (agua), tasa de deformación y compactación.

La adición de la fase líquida se encuentra entre 2% y 35% wt, dependiendo del proceso que se desea emplear

para dar la forma deseada al cerámico. (Händle, 1965).

MATERIALES Y MÉTODOS

Se realizó la preparación y extrusión de distintas muestras a diferente concentración de metilcelulosa (MC) y carboximetilcelulosa (CMC) como agentes plastificantes, los cuales se describen en la tabla 1.

Debido a que el tamaño de partícula de los óxidos utilizados en la preparación de cada una de las muestras puede influir en el aumento/disminución de la plasticidad de la pasta obtenida, se ha reportado en la literatura que el tamaño y distribución de tamaño de partícula de cada componente debe ser uniforme y estar alrededor de 5µm; si no se cumple lo anterior, la mezcla resultante no será homogénea y no se beneficiará la plasticidad al momento de la extrusión. (Händle, 2019).

Tabla 1. Composiciones realizadas en % peso (wt.).

Prueba	% wt.				
	MgO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	CMC	MC
1	15	37	48	-	-
2	14.7	36.7	47.6	1	-
3	14.7	36.7	47.6	-	1
4	14.3	36.3	47.4	2	-

5	14.3	36.3	47.4	-	2
6	14	36	47	3	-
7	14	36	47	-	3
8	13	36	47	4	-
9	13	36	47	-	4
10	12.7	35.6	46.7	5	-
11	12.7	35.6	46.7	-	5
12	13	35	46	6	.
13	13	35	46	-	6
14	12.67	34.67	45.66	7	-
15	12.67	34.67	45.66	-	7



Figura 1. Microscopio biológico.



Figura 2. Molino de bolas de alta velocidad.

Se realizó caracterización de los diferentes componentes que fueron empleados para la elaboración de una pasta con las propiedades adecuadas, verificando el tamaño de partícula de cada componente con un microscopio biológico modelo L1100B, ubicado en el laboratorio de catálisis de la UAM-Azc.

Para el proceso de caracterización de los óxidos presentes en la pasta de cordierita, se realizó la molienda de óxido de aluminio y del óxido de magnesio a distintos tiempos de molienda, mientras que, para modificar el tamaño de partícula, se utilizó un molino vibratorio de alta velocidad marca MIER/MILL modelo 8000M.

Tabla 2. Tamaño de partícula observado.

Compuesto	Tamaño [μm]	Micrografía	Compuesto	Tamaño [μm]	Micrografía
Al ₂ O ₃	1.65		SiO ₂	2.75	
MgO	0.5		CMC	1.5	
SiO ₂	2.75		MC	3.75	
CMC	1.5				

Simultáneamente, se llevó a cabo el diseño de un dado de 124 CPSI y 101 orificios (software inventor) para ser utilizado como matriz de moldeo, el cual se detalla en las figuras 1 y 2; fue impreso en una impresora 3D (modelo ROBO R1+ PLUS) en ácido poliláctico (PLA), que se observa en las figuras 3, 4 y 5. Posteriormente, se llevó a cabo la extrusión de las muestras mencionadas en la tabla 1.

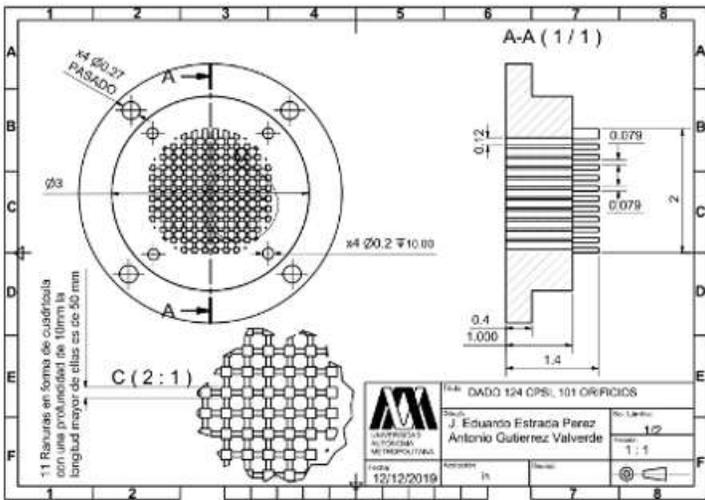


Figura 3. Diseño de matriz 124 cpsi.



Figura 4. Dado y anillo

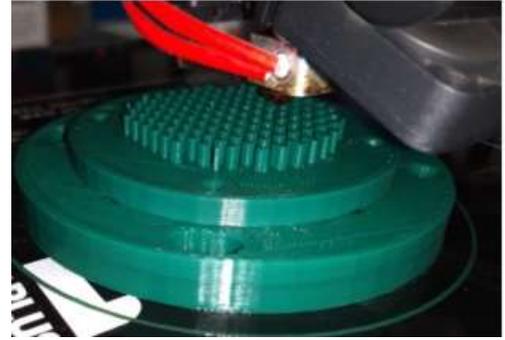


Figura 5. Dado en la cama de impresión

Se realizó el diseño y la construcción de una extrusora piloto de tipo pistón (figura 6 y figura 7, respectivamente), en la cual es acoplado el dado diseñado e impreso para las muestras realizadas. La extrusora tipo pistón utilizada para el proceso, se observa en la figura 7, la cual cuenta con una reducción interna a la salida del barril de 2 a 1 pulgada(s).

El dado diseñado (figura 3) es acoplado en la misma para la obtención de monolitos con un diámetro de 1 pulgada. Posteriormente, el dispositivo fabricado es instalado y sujetado en una prensa hidráulica con bastidor en H de 10 toneladas y accionamiento eléctrico. Este sistema es instalado en una prensa hidráulica de la marca Enerpac, de accionamiento eléctrico.

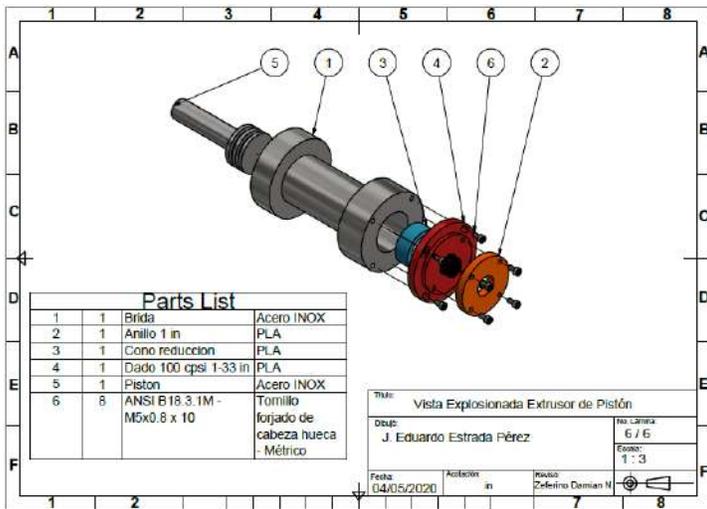


Figura 6. Ensamble extrusor de pistón.



Figura 8. Cabezal y matriz de la extrusora.



Figura 7. Extrusora de pistón.

RESULTADOS

Se evaluaron las diferentes muestras, lo cual se representa en la siguiente tabla.

Tabla 3. Resultados obtenidos en el proceso de extrusión de cada muestra.

Prueba	% wt.			Tamiz malla # 100	Retención de la geometría
	MC	CMC	Mezclado		
1	S/A	S/A	Si	Si	X
2	S/A	1	Si	Si	X
3	1	S/A	Si	Si	X
4	S/A	2	Si	Si	I
5	2	S/A	Si	Si	I
6	S/A	3	Si	Si	I
7	3	S/A	Si	Si	R
8	S/A	4	Si	Si	R
9	4	S/A	Si	Si	R
10	S/A	5	Si	Si	R
11	5	S/A	Si	Si	R
12	S/A	6	Si	Si	R
13	6	S/A	Si	Si	R
14	S/A	7	Si	Si	R
15	7	S/A	Si	Si	R

Como se puede observar en la tabla 3, los monolitos de las muestras 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13 y 14 son las únicas que lograron ser extrudadas. Además, los monolitos obtenidos presentaron una mínima deformación después de ser extruidos y dejarlos secar a condiciones ambiente, manteniendo así la geometría deseada, lo cual se debe al porcentaje de plastificante (MC y CMC) utilizado en la preparación de cada una de las mezclas. El prototipo de extrusor empleado fue apropiado para el peso de cada muestra realizada, siendo útil en todo momento. Se realizaron más de 20 dados impresos en 3D.

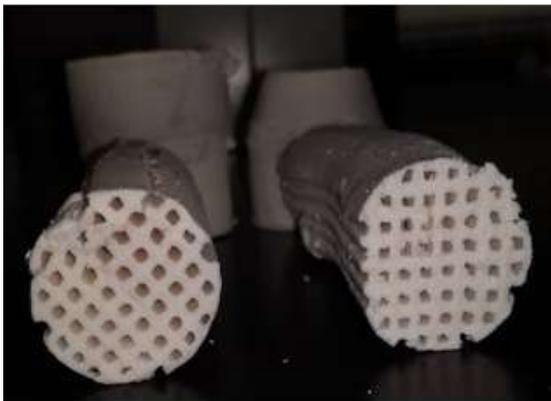


Figura 9. Monolito obtenido de 1 pul.

S/A (sin agregar)

R (retención)

I (sin retención)

X (no es posible la extrusión)

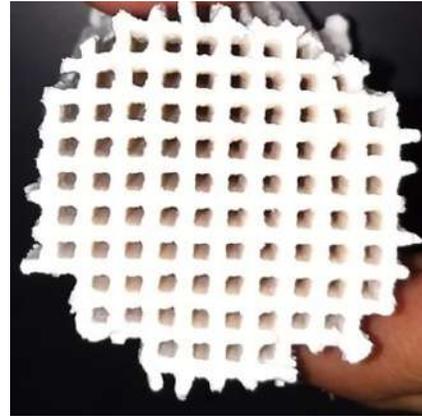


Figura 10. Monolito obtenido de 64 cpsi con 7% de CMC.

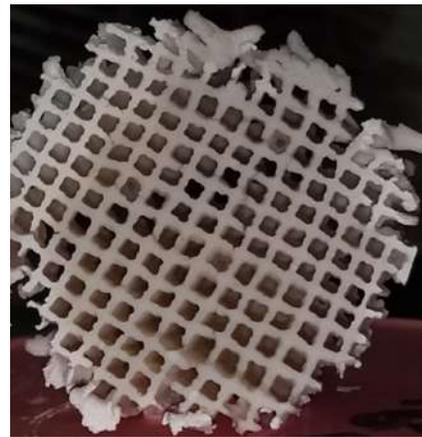


Figura 11. Monolito de 124 (cps).



Figura 12. Monolito obtenido de 40 cm.

CONCLUSIONES

Se observó que, en la obtención de un monolito cerámico, mediante una extrusora tipo pistón, la plasticidad y la

fluidez de la pasta se modifica al controlar el tamaño de partícula menor a 5µm en todos los componentes.

De igual manera, al variar el porcentaje de plastificante entre el 4% y 7 % wt (CM o CMC) y de agua (30-40%wt), se ve mayormente favorecida la plasticidad y fluidez de esta. Asimismo, se redujo el costo y tiempos al imprimir los dados en 3D, lo que es rentable a comparación de fabricarlos en algún metal.

La geometría de la matriz utilizada está restringida por la capacidad de la impresora 3D, donde se puede obtener un mínimo en el espesor de pared de 1 mm para los orificios de alimentación, esto modifica directamente la cantidad de celdas en el propio dado.

Por último, se observó que, al incrementarse la cantidad de plastificante (MC o CMC), la presión en el sistema disminuye, y en el caso de ausencia de plastificante, puede generar incrementos de presión y destruir el dado impreso en PLA.

BIBLIOGRAFÍA

- Händle, F. (2019). *The Art of Ceramic Extrusion*. Switzerland: Springer.
- Händle., F. (Septiembre 1965.). *Extrusion in ceramics*. Kisslingweg 10. 75417, Germany.: Springer Mühlacker,
- Recalde., M. O. (Mayo 2010.). *Diseño y construcción de una prensa para la fabricación de monolitos de hasta 50mm de alto*. Quito, Ecuador.