

# Estudio de absorción de agua en moldes de yeso y yeso-cemento para vaciado de suspensiones

Iván L. Samperio-Gómez<sup>A</sup>, Claudia A. Cortés-Escobedo<sup>B</sup>,  
Félix Sánchez-De Jesús<sup>A</sup>, Ana María Bolarín-Miró<sup>A</sup>,

<sup>A</sup> Área Académica de Ciencias de la Tierra y Materiales,  
Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo  
fsanchez@uaeh.edu.mx, anabolarin@msn.com

<sup>B</sup> Centro de Investigación e Innovación Tecnológica del IPN

## RESUMEN

El yeso es un material en la industria de la construcción y se utiliza de manera muy especial para la producción de moldes en el vaciado de suspensiones. En este trabajo se estudiaron diferentes mezclas yeso-cemento (blanco y gris), modificando sus proporciones en peso (70:30, 60:40 y 50:50) y su relación con diferentes porcentajes de agua:mezcla (40:60 y 50:50) para relacionarlo con sus propiedades: tiempo de fraguado, porosidad, densidad, absorción y morfología. Los resultados muestran cuantitativamente el efecto de los parámetros de procesamiento sobre las propiedades del molde de yeso o yeso-cemento, permitiendo establecer las condiciones de proceso adecuadas para cada aplicación.

## PALABRAS CLAVE

Yeso, absorción, vaciado de suspensiones, tiempo de fraguado.

## ABSTRACT

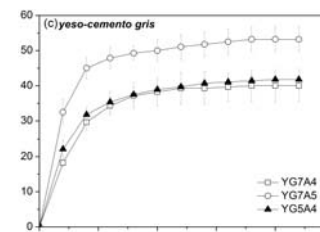
Plaster is a material with several applications, mostly in construction industry and especially in the production of mold for slip casting. Different mixtures of plaster-cement (white and gray) were studied in this work, by means of determination of the following properties: curing time, porosity, density, absorption and morphology; with modifications in weight ratio between each component (70:30, 60:40 y 50:50) and water content (40:60 y 50:50, water: powder mixture). Results show quantitative effect of processing parameter on the final properties of the plaster or plaster/cement mold, allowing establish adequate process conditions to each application.

## KEYWORDS

Plaster, absorption, slip casting, cure time.

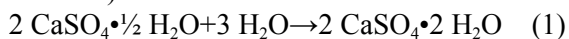
## INTRODUCCIÓN

Los moldes de yeso se han usado desde la antigüedad para conformar piezas cerámicas. Esa aplicación es todavía actual por el gran volumen de piezas que se obtienen mediante el método de vaciado de suspensiones, debido a que es un proceso sencillo, económico y flexible, en comparación con otros procesos



como el prensado isostático o la extrusión para la producción de piezas cerámicas.<sup>1-5</sup> El vaciado de suspensiones consiste en vaciar una suspensión de partículas cerámicas en agua en el interior de un molde de yeso, que servirá de soporte mientras se desarrolla la operación de drenado al absorber el molde el agua contenida en la suspensión cerámica hasta alcanzar una consistencia suave pero firme. Una vez que se absorbe el agua de la suspensión en el yeso, la pieza conformada (en verde) se separa y se somete a un proceso de sinterización.<sup>6-9</sup> Un yeso cerámico es al que le han sido ajustadas sus propiedades para controlar la absorción de agua, lo que está relacionado con la porosidad del molde y esto a su vez está relacionado con el tiempo de fraguado y con la relación agua/polvo (A/P) en la suspensión, lo que permite preparar pastas que satisfagan las necesidades propias de un proceso particular de vaciado.<sup>10-11</sup>

El yeso cocido es un conglomerante no estable en presencia de humedad, constituido por sulfato de calcio con media molécula de agua ( $\text{CaSO}_4 \cdot \frac{1}{2} \text{H}_2\text{O}$ ) cuando provienen de cocción a temperaturas superiores a 170°C, como es el empleado en este trabajo.<sup>9</sup> Para ser empleado como molde, el yeso debe fraguar o cristalizar. La reacción química que tiene lugar en el fraguado se muestra a continuación (ecuación 1):



Para obtener yeso fraguado, es necesario mezclar polvo de yeso cocido ( $\text{CaSO}_4 \cdot \frac{1}{2} \text{H}_2\text{O}$ , hemihidratado) con agua. En el momento de la mezcla se forma, alrededor de las partículas de yeso, una solución saturada respecto al hemihidratado y fuertemente sobresaturada respecto al dihidratado ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ), formado por hidratación, estable y de menor solubilidad.<sup>9</sup> Así comienza la cristalización del yeso, bien espontáneamente o a partir de núcleos de dihidrato que han permanecido sin modificar durante el proceso de cocción. Se disuelven entonces nuevas cantidades del hemihidrato continuando este proceso hasta su hidratación y cristalización total en forma de dihidrato.<sup>9</sup> La mezcla tiene consistencia semifluida y puede ser vaciada en un molde de cualquier forma, conforme la reacción avanza, más cristales de hemihidrato reaccionan para formar cristales de dihidrato, la viscosidad de la masa empieza a aumentar rápidamente hasta el punto

que la mezcla ya no puede fluir en la impresión. En este punto el material ha alcanzado el tiempo inicial de fraguado y ya no debe manipularse. La reacción química termina cuando el yeso puede ser separado de la impresión sin distorsionarse o fracturarse, considerando éste como el tiempo de fraguado. Cuanto mayor sea la proporción A/P, mayor será el tiempo de fraguado y menor resistencia mecánica tendrá el producto de yeso.<sup>12-15</sup> El tiempo de fraguado, es el tiempo que transcurre desde la adición del polvo al agua hasta que solidifica la pieza.

El cemento es una mezcla de diversos componentes y en función de dicha composición se obtienen diferentes tipos, por ejemplo, el cemento Portland (gris) contiene mayor proporción de silicato dicálcico ( $2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ ) y silicato tricálcico ( $3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ ) y en menor proporción aluminato tricálcico ( $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$ ), brownmillerita (aprox.  $4\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3, \text{Fe}_2\text{O}_3$ ),  $\text{CaO}$ ,  $\text{MgO}$ , y  $\text{SiO}_2$ , mientras que el cemento aluminoso (blanco) contiene mucho más cantidad de alúmina, aproximadamente en una proporción  $40\text{Al}_2\text{O}_3, 40\text{CaO}, 7\text{SiO}_2, 7\text{Fe}_2\text{O}_3, 5\text{FeO}$  y 5 óxidos más,<sup>16</sup> lo cual se debe asociar al contenido de óxidos de hierros y de manganeso.<sup>17</sup> Se fabrica conforme a las especificaciones de la norma ASTM C150.<sup>18</sup>

Este trabajo tiene como objetivo estudiar el efecto de diferentes mezclas yeso-cemento (blanco y gris), modificando sus proporciones en peso (70:30, 60:40 y 50:50) y su relación con diferentes porcentajes de agua:mezcla (40:60 y 50:50) sobre algunas de sus propiedades: tiempo de fraguado, porosidad, densidad, absorción y morfología, las cuales afectan el proceso de vaciado de suspensiones.

## DESARROLLO EXPERIMENTAL

30 g de cada una de las mezclas mostradas en la tabla I se emplearon para obtener probetas de yeso. En un recipiente con agua se espolvoreó la mezcla de polvos y se dejó en reposo por 1 min, posteriormente se agitó la mezcla durante 1 min y se vertió en los moldes de madera. Éstos se dejaron secar a temperatura ambiente por 24 hrs, posteriormente se secaron a una temperatura de 50 °C por una hora hasta peso constante. El volumen del molde fue de 14 cm<sup>3</sup>.

A las probetas una vez fraguadas y completamente secas (tratadas durante 1 h a 50 °C y posterior enfriamiento hasta 25 °C) se les realizó el análisis de absorción de agua, el cual consiste en pesar la probeta en seco y sumergirla durante 2 seg en agua desionizada y posteriormente determinar su peso en húmedo hasta que éste ya no aumente.

Se determinó el tiempo de fraguado de cada una de las mezclas estudiadas (tabla I) por medio del método Vicat.<sup>19</sup> Paralelamente, se determinó la densidad mediante el método de Arquímedes.<sup>20</sup>

Por último, se observó la morfología de las probetas obtenidas mediante microscopía electrónica de barrido, usando un JEOL 1300 a 20 kV, la observación se realizó sobre un corte transversal de la probeta con el fin de observar el tipo de partículas obtenidas después del fraguado.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En las figuras 1a-c se muestran los resultados obtenidos de absorción de agua de cada una de las probetas preparadas según la composición mostrada en la tabla I, expresando dicha absorción como el porcentaje en volumen de agua absorbida respecto al volumen del molde, para cada una de las composiciones estudiadas. El comportamiento general que presentan todas las composiciones es similar, mostrando dos etapas: la primera,

Tabla I. Probetas de yeso, yeso-cemento blanco y yeso-cemento gris.

Rreferencia	Relación en masa agua: polvos	Relación en masa yeso: cemento
	Yeso	
YA4	40:60	100:0
YA5	50:50	100:0
	Cemento Blanco	
YB7A4	40:60	70:30
YB7A5	50:50	70:30
YB5A4	40:60	50:50
YB5A5	50:50	50:50
	Cemento Gris	
YG7A4	40:60	70:30
YG7A5	50:50	70:30
YG5A4	40:60	50:50
YG5A5	50:50	50:50

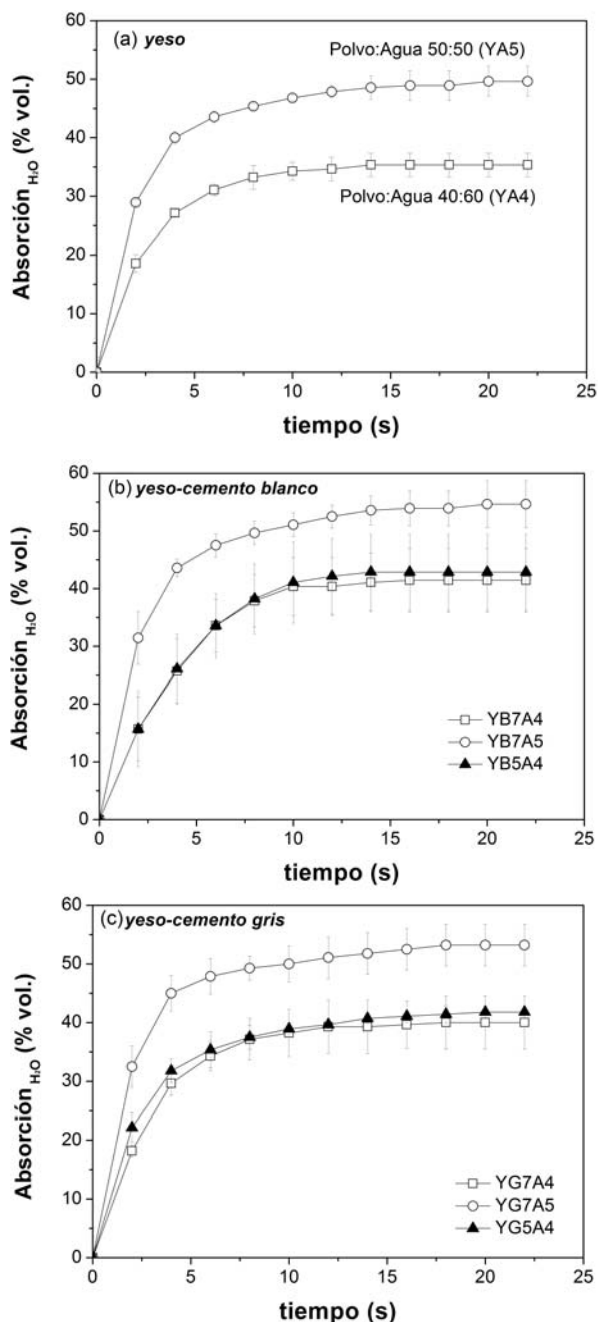


Fig. 1. Absorción de agua de las probetas con diferentes relaciones polvo:agua y composiciones: (a) yeso, (b) yeso-cemento blanco y (c) yeso-cemento gris.

correspondiente a un incremento muy rápido de la absorción de agua durante los primeros segundos de inmersión y posteriormente una segunda etapa, donde la absorción se estabiliza por debajo de un valor asintótico, que corresponde a la máxima capacidad de absorción de cada una de las mezclas estudiadas. Se presentan los resultados de rapidez de

absorción en la primera etapa así como la máxima capacidad de absorción expresada en porcentaje en volumen de agua absorbida respecto al volumen total del molde obtenido, en la tabla II.

Es importante destacar la relevancia de la rapidez con la que comienzan a absorber agua cada una de las probetas, ya que esta primera etapa de absorción es crucial para la textura de los cerámicos finales a obtener. Lo anterior debido a que si la absorción en la primera etapa es muy rápida, en la superficie del cerámico final habrá una mezcla de tamaños de partícula, ya que no hay tiempo de una reordenación de las partículas. Por otro lado, si la absorción en la primera etapa es lenta, las partículas menos cargadas en la suspensión, que generalmente son las más grandes, son las que podrían depositarse en una primera etapa, para formar parte de la superficie del cerámico final.

Los resultados presentados en la tabla II, corresponden al análisis de absorción experimentales presentados en la figura 1. Permiten establecer que aquellas probetas preparadas con una relación de polvo:agua de 50:50 fueron las que presentaron mayor absorción en todos los casos. Los rangos de absorción de todas las probetas se encuentran entre un valor mínimo de 35% vol. para la composición YA4 y un máximo de 55% vol. para la composición YB7A5, respectivamente.

Paralelamente, se observó que para una relación de yeso:cemento (tanto blanco como gris) 50:50 con una relación de polvo:agua de 50:50 (YB5A5 y YG5A5) las probetas requirieron mucho tiempo de secado; aunado a lo anterior, presentaron una estructura débil y su conformado no fue suficiente como para resistir

Tabla II. Datos de absorción para cada muestra.

Referencia	Rapidez de absorción (% vol./s)	Máxima absorción $V_{H_2O}$ (cm <sup>3</sup> )	% Absorción max. $V_{H_2O}/V_{molde}$ (adim)
YA4	6.79	5±0.3	35±2
YA5	10.00	7±0.4	50±2.5
YB7A4	6.43	5.8±0.8	41±5.5
YB7A5	10.89	7.7±0.6	55±4
YB5A4	6.52	6±0.9	43±7
YG7A4	7.41	5.6±0.6	40±5
YG7A5	11.25	7.5±0.5	53±4
YG5A4	7.95	5.9±0.1	42±1

el proceso de desmoldado, razón por la que no se llevaron a cabo las pruebas de absorción.

Adicionalmente, en los resultados de absorción mostrados en la tabla II, se puede observar como las probetas YB7A4 e YB5A4 son las que absorben a menor velocidad, durante la primera etapa, pero continúan absorbiendo en la segunda etapa, tardando más tiempo en alcanzar su valor asintótico o capacidad máxima de absorción. Por otro lado, la probeta YA4 absorbe más en la primera etapa, pero luego absorbe mucho menos, debido a que se satura rápidamente.

Para complementar el estudio de absorción, se presenta en la figura 2 la comparación de las probetas que presentaron mejor absorción en los sistemas de yeso y yeso con cemento blanco o gris, donde se observa que las probetas que están compuestas únicamente por yeso presentan una menor absorción a cualquier tiempo mientras que las de yeso-cemento gris presentan una mayor absorción. Los resultados presentados en la tabla II, confirman esta aseveración.

Los resultados de tiempo de fraguado inicial y final de cada una de las composiciones se presentan en la tabla III. Adicionalmente, en esta tabla se presenta la densidad de las probetas preparadas. De acuerdo a los resultados presentados en la tabla, los moldes que fraguan más rápido presentan una menor densidad, por lo cual absorben más agua a comparación de los otros que al requerir más tiempo de fraguado hacen que se aglomeren mejor las partículas. Los resultados obtenidos confirman los resultados anteriores, para una relación de yeso:

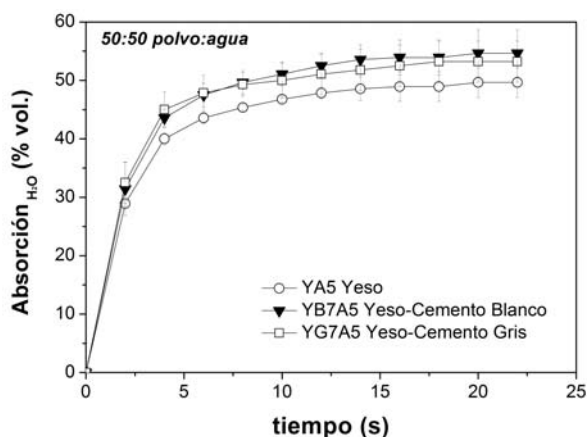


Fig. 2. Absorción de agua de las probetas con diferentes composiciones: (a) yeso, (b) yeso-cemento blanco y (c) yeso-cemento gris.

cemento (tanto blanco como gris) de 50:50 con una relación de polvo:agua de 50:50 (YB5A5 y YG5A5) las probetas requirieron mucho tiempo de secado, presentaron una estructura débil y su conformado no fue suficiente como para resistir el proceso de desmolde, es por ello que no se reportan datos en la tabla III. Paralelamente, se puede observar que las piezas preparadas con una proporción de polvo:agua 60:40 (YA4, YB7A4, YB5A4, YG7A4 e YG5A4) presentan una mayor densidad en comparación con las preparadas con una proporción de polvo:agua 50:50 (YA5, YB7A5 e YG7A5).

La menor densidad de las piezas finales fue obtenida con una mezcla de yeso con cemento gris en una proporción de 70:30 y con una relación de polvo:agua de 60:40. Esta probeta mostró una de las más bajas absorciones de agua, solamente mayor a la probeta preparada únicamente con yeso relación de polvo:agua de 60:40. Y la mayor densidad fue obtenida también con una mezcla de yeso:cemento gris en una proporción 50:50 y una relación polvo: agua de 60:40, con una absorción similar a la que mostró menor densidad en la pieza final.

En la figura 3 se presenta la micrografía obtenida mediante microscopía electrónica de las probetas que sólo contienen yeso, en esta figura se observa una morfología acicular característica del yeso y la formación de cristales de tamaños de 5 a 10 micrómetros, pero además, particularmente, para la probeta con mayor cantidad de agua (YA5), se observa la formación de láminas de mayor tamaño, que pueden estar asociadas con prolongados tiempos de fraguado.

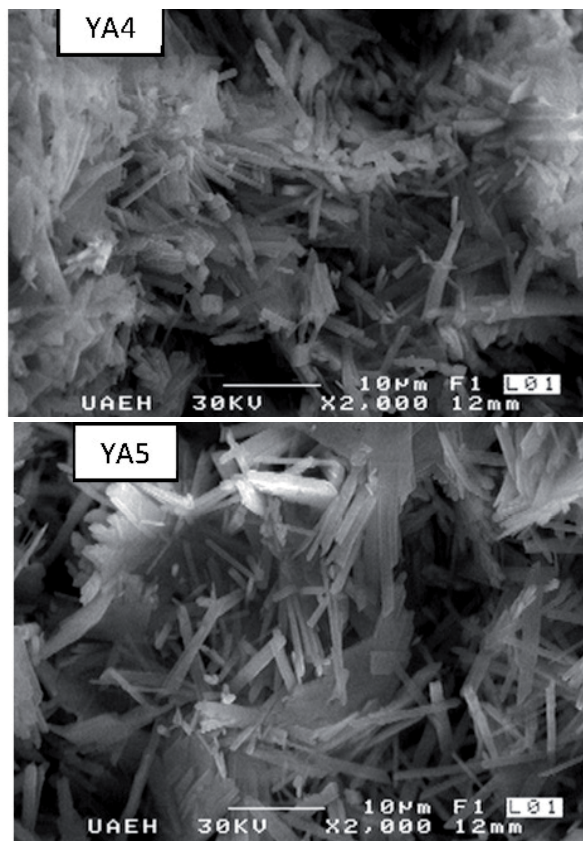


Fig. 3. Micrografía de probetas fabricadas con yeso.

Paralelamente, en la figura 4 se presentan las micrografías de las probetas obtenidas a partir de mezclas de yeso con cemento blanco, donde se observa que las probetas con menor contenido de yeso presentan menor formación de agujas (YB5A4) y además las que contienen mayor cantidad de agua presentan mayor cantidad de cristales de  $\text{CaSO}_4$  (YB7A5).

Finalmente, en la figura 5 se presentan las micrografías de las probetas utilizando cemento gris.

Tabla III. Tiempo de fraguado y densidades de las mezclas de yeso y yeso-cemento.

Referencia	Tiempo inicial (s)	Penetración inicial (s)	Tiempo final (s)	Penetración final (s)	Densidad ( $\text{g}/\text{cm}^3$ )
YA4	450	3	1140	39.5	1.0751
YA5	600	5	2280	39.5	0.8397
YB7A4	270	7	540	39.5	1.2211
YB7A5	360	5	1320	39.5	0.9160
YB5A4	210	9	900	39.5	1.1948
YB5A5	390	6	--	--	--
YG7A4	480	7	990	39.5	1.2222
YG7A5	630	3	2130	39.5	0.9015
YG5A4	390	5	840	39.5	1.2496
YG5A5	660	7	--	39.5	--

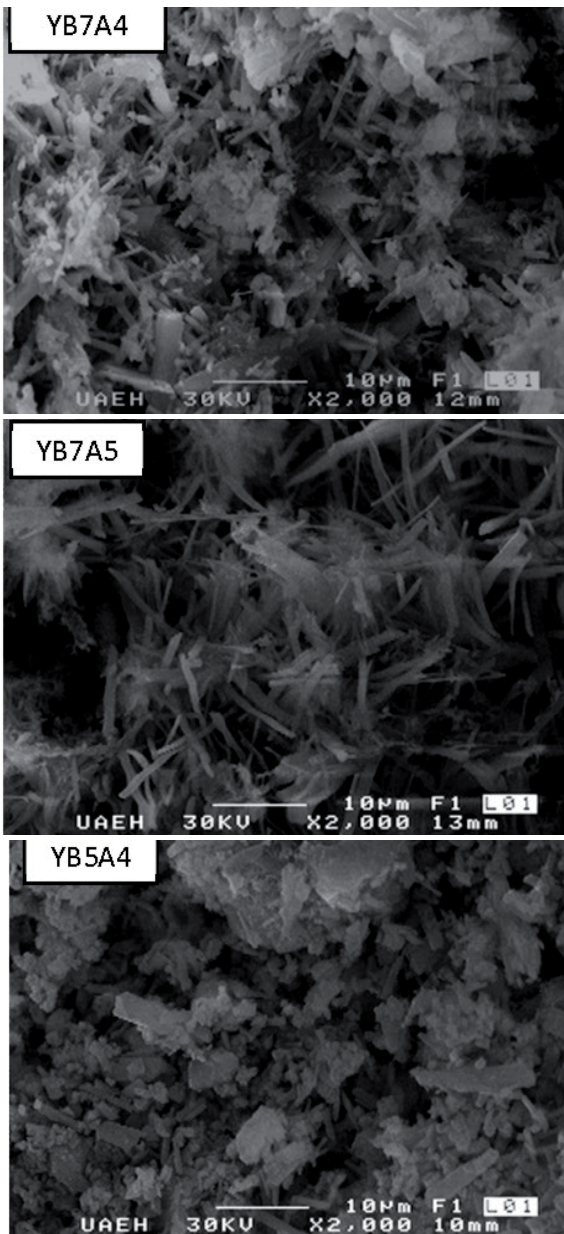


Fig. 4. Micrografía de las probetas fabricadas con yeso-cemento blanco.

En estas imágenes se observa una menor formación de agujas y la formación de cristales más gruesos y aglomerados. En general, la morfología de las probetas es un indicativo de los mecanismos de fraguado, es decir, una mayor cantidad de agua, permitirá un fraguado más lento y por lo tanto, la formación de cristales más grandes, mientras que un menor contenido de yeso, da lugar a la formación de aglomerados. Por otro lado, el mecanismo de fraguado tiene un efecto directo, tanto en la porosidad, como en sus propiedades mecánicas y de absorción de

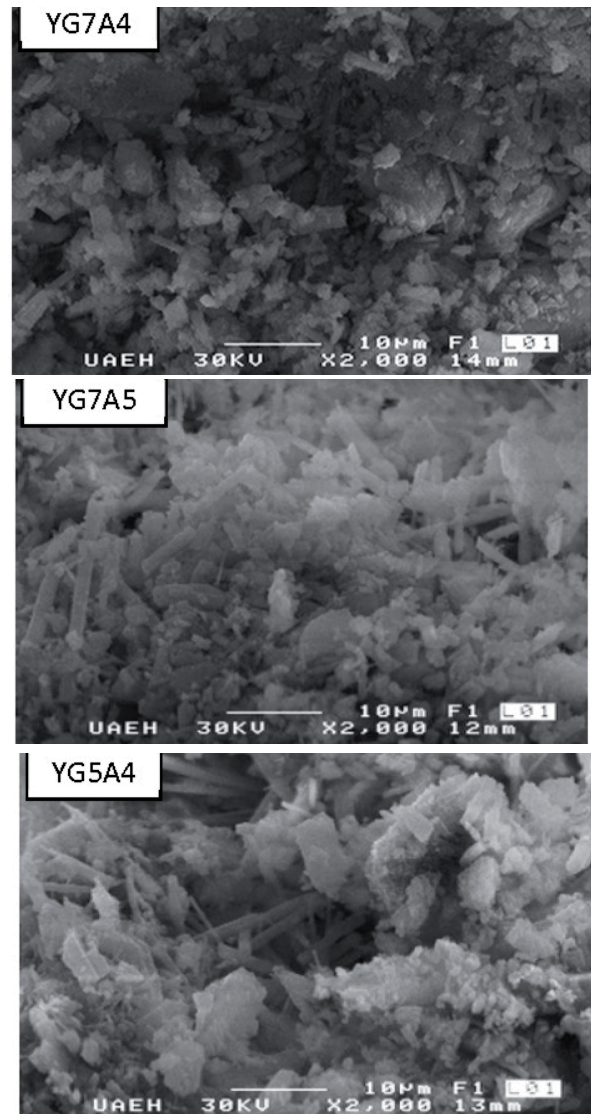


Fig. 5. Micrografía de las probetas fabricadas con yeso-cemento gris.

agua. De tal forma que, de acuerdo con los resultados obtenidos, debe permitirse una cristalización rápida, para la formación de aglomerados, que permitan tener una alta porosidad, pero manteniendo estabilidad estructural mecánica macroscópica.

## CONCLUSIONES

De acuerdo con los resultados obtenidos, las probetas que presentan mayor absorción así como un tiempo de fraguado apropiado son aquellas obtenidas a partir de mezclas de yeso-cemento, con cualquier tipo de cemento, blanco o gris, donde el componente mayoritario es el cemento (70% en los polvos) y con un porcentaje de agua del 50% en la suspensión.

En general, todas las probetas obtenidas a partir de esta relación de polvo:agua, mostraron una mayor absorción de agua. Por otro lado, las probetas con altos niveles de absorción, presentan una mayor cantidad de aglomerados, promovida por un fraguado rápido, con poca cantidad de yeso, da lugar a una mayor absorción.

## AGRADECIMIENTOS

Este trabajo fue desarrollado con apoyo del proyecto CONACyT-México, fondo Ciencias Básica, clave No. 130413.

## REFERENCIAS

1. E. M. Múzquiz, J. G. Osuna, A. Solís y S. Solís, Influencia de los aniones Cl-1, Br-1 y SO4-2 sobre el tiempo de fraguado y propiedades del yeso cerámico, *Bol. Soc. Quím. Méx.*, 3, 2, 73-78 (2009).
2. E. Vejmelková, M. Keppert, Z. Kersner, P. Rovnaníková, R. Cerný, Mechanical, fracture-mechanical, hydric, thermal, and durability properties of lime-metakaolin plasters for renovation of historical buildings, *Const Build Mater*, 31, 22-28, (2012).
3. P. Padevet, P. Tesárek, T. Plachý, Evolution of mechanical properties of gypsum in time, *Int J Mech Sci*, 5, 1, 1-9, (2011).
4. P. Chindaprasirt, K. Boonserm, T. Chairuangsi, W. Vichit-Vadakan, T. Eaimsin, T. Sato, K. Pimraksa, Plaster materials from waste calcium sulfate containing chemicals, organic fibers and inorganic additives, *Const Build Mater*, 25, 3193-3203, (2011).
5. M. Lanzón, P.A. García, Effect of citric acid on setting inhibition and mechanical properties of gypsum building plasters, *Const Build Mater*, 28, 506-511, (2011).
6. J. H. Deng, X. C. Huang, Y.J. Li, Experimental research on the mechanical properties of gypsum breccias with water content, *J. Shanghai Jiaotong Univ. (Sci)*, 15, 2, 250-256, (2010).
7. Z. Chen S. Sucech, K. T. Faber, A hierarchical study of the mechanical properties of gypsum, *J. Mater Sci.*, 45, 4444-4453, (2010).
8. R. A. Guevara, C. A. Gutiérrez, J. L. Rodríguez, J. López, M. León, Reología de suspensiones de circón con adición de KCl y su efecto en las propiedades mecánicas de monolitos, *XI Iberomet/CONAMET/SAM* (2010).
9. R. Moreno, J. S. Moya, J. Requena, Colaje de óxidos cerámicos II: reología, *Bol. Soc. Esp. Ceram. V.*, 25, 1, 3-9, (1986).
10. R. Moreno, J. S. Moya, J. Requena, Colaje de óxidos cerámicos I: fundamentos, *Bol. Soc. Esp. Ceram. V.*, 24, 3, 165-171, (1985).
11. R. Moreno, J. S. Moya, J. Requena, Obtención de cuerpos densos de alúmina por colaje, *Bol. Soc. Esp. Ceram. V.*, 26, 2, 93-97, (1987).
12. G. Tzouvalas, G. Rantis, S. Tsimas, Performance criteria for the use of FGD Gypsum in cement and concrete production, *Springer* 373-378 (2006).
13. R. Ylmén, U. Jäglid, B. Steenari, I. Panas, Early hydration and setting of Portland cement monitored by IR, SEM and Vicat techniques, *Cem. Concr. Res.*, 39, 433-439, (2009).
14. H. Wong, A. Kwan, Packing density of cementitious materials: Part 1: measurement using a wet packing method, *Mater Struct*, 41, 689-701, (2008).
15. Carvajal, R. Moreno, Estudio de algunas propiedades de los moldes de escayola para el colaje de materiales no arcillosos, *Bol. Soc. Esp. Ceram V.*, 27, 1, 11-15, (1988).
16. F.A. Cardoso, A. K. Agopyan, C. Carbone, R. G. Pileggi, V. M. John, Squeeze Flow as a tool for developing optimized gypsum plasters, *Const Build Mater*, 23, 1349-1353, (2009).
17. M. Pawlak, The influence of composition of gypsum plaster on its technological properties, *Archives of Foundry Engineering*, 10, 4, 55-60, (2010).
18. Standard test methods for physical of gypsum, gypsum plasters and gypsum concrete, *ASTM C 472-99*, (2009)
19. Standard Test Methods for Time of Setting of Hydraulic Cement by Vicat Needle, *ASTM C 191-08*, (2010).
20. Standard Test Methods for Density of Compacted or Sintered Powder Metallurgy (PM) Products Using Archimedes' Principle, *ASTM B 962-08*, (2008).
21. Métodos de muestreo y prueba de materiales, Tiempo de fraguado del cemento por el método vicat, *M-MMP-2-02-006*, (2004).