



## ESTUDIO DE LA ABSORCIÓN DE AGUA EN MOLDES, CON DIFERENTE COMPOSICIÓN DE YESO Y YESO-CEMENTO, PARA EL VACIADO DE SUSPENSIONES

I.L. Samperio-Gómez<sup>a</sup>, C.A. Cortés-Escobedo<sup>b</sup>, A. M. Bolarín-Miró<sup>a</sup>, F. Sánchez-De Jesús<sup>a</sup>, Hernández-Cruz L.<sup>a</sup>

<sup>a</sup>Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo-AACTyM, Hidalgo. [fsanchez@uaeh.edu.mx](mailto:fsanchez@uaeh.edu.mx), [abolarin@uaeh.edu.mx](mailto:abolarin@uaeh.edu.mx).

<sup>b</sup>Centro de Investigación e Innovación Tecnológica-IPN, México D.F., [claudia.alicia.cortes@gmail.com](mailto:claudia.alicia.cortes@gmail.com).

### RESUMEN.

El yeso se ha empleado para la producción de diversos objetos ornamentales desde la antigüedad. Desde entonces y hasta la actualidad, se han buscado materiales con alta porosidad y resistencia mecánica para emplearlos como moldes en procesos de vaciado de suspensiones en el sector industrial. En este trabajo se estudiaron diferentes mezclas yeso-cemento (blanco y gris), modificando sus proporciones en peso (70:30 y 50:50) y su relación con diferentes porcentajes de agua:polvo (40:60 y 50:50) para relacionarlo con sus propiedades finales. Se determinó el tiempo de fraguado de la mezcla por el método Vicat así como la densidad mediante un picnómetro. Mediante microscopía electrónica de barrido se observó la morfología de la superficie de los compactos de yeso-cemento obtenida después del fraguado. Adicionalmente, se realizaron pruebas de vaciado de suspensión (alúmina) sobre los moldes, evaluando las características físicas de los compactos de alúmina: densidad y resistencia mecánica. Los resultados muestran el efecto de los parámetros de procesamiento sobre las propiedades del molde de yeso y a su vez, sobre el compacto de alúmina vaciado, permitiendo establecer las condiciones de proceso adecuadas para cada aplicación final del cerámico.

### INTRODUCCIÓN.

Desde la antigüedad se han utilizado moldes de yeso para producir piezas cerámicas, actualmente el uso de moldes de yeso en la industria cerámica es sencilla, económica y flexible en comparación con otros procesos complejos y costosos requeridos en muchas industrias. El uso del yeso para la elaboración de moldes requiere una mínima inversión en utillaje y es muy útil en la fabricación de series cortas de piezas de forma compleja. Las propiedades del molde determinan en buena medida el proceso de vaciado y, por tanto, las propiedades del material obtenido [1, 7]. Los moldes son utilizados en el proceso de vaciado de suspensión, este último es un método que consiste en vaciar una suspensión cerámica en un molde de yeso, el cual servirá como soporte mientras se desarrolla la operación de drenado al absorber el molde de yeso el agua contenida en la suspensión cerámica y durante su posterior contracción hasta alcanzar una consistencia suave pero firme. Posteriormente la pieza (en verde) es extraída del molde de yeso y se somete a un proceso de sinterización [8, 9].

A los yesos que se les cambian sus propiedades se les considera como "Yeso Cerámico", con la finalidad de obtener mayor o menor absorción, esto se relaciona con la porosidad del molde, y a su vez, está relacionado con el tiempo de fraguado y con la relación agua/polvo (A/P) en la suspensión [10-11].

Se considera tiempo de fraguado al tiempo transcurrido desde la adición del polvo al agua hasta que solidifica la pieza. La reacción química que tiene lugar en el fraguado es la siguiente:





En este proceso se genera calor y se produce una expansión como consecuencia del rápido crecimiento de los cristales durante el fraguado. Esta expansión hace que el yeso, sea un material muy adecuado tanto para el moldeo de piezas irregulares como para la elaboración de moldes. Cuanto mayor sea la proporción A/P, mayor será el tiempo de fraguado y más débil será el producto de yeso [12].

En este trabajo se estudiaron diferentes mezclas yeso-cemento (blanco y gris), modificando sus proporciones en peso (70:30 y 50:50) y su relación con diferentes porcentajes de agua:polvo (40:60 y 50:50) para relacionarlo con sus propiedades finales. Se determinó el tiempo de fraguado de la mezcla por el método Vicat así como la densidad mediante un picnómetro. La microscopía electrónica de barrido permitió observar la morfología de la superficie y las fracturas de los compactos de yeso-cemento obtenidas después del fraguado.

## 2. DESARROLLO EXPERIMENTAL.

Las probetas de yeso se prepararon a partir de 30 gramos de cada una de las mezclas de acuerdo con las relaciones mostradas en la Tabla 1. En un recipiente con agua se esparció la mezcla de polvos y se dejó en reposo por 1 min, posteriormente se agitó la mezcla durante 1 min y luego se vertió en moldes de madera. Durante 24 horas se dejaron a temperatura ambiente, posteriormente se secaron a una temperatura de 50 °C durante una hora hasta peso constante.

**Tabla 1.** Probetas de yeso, yeso-cemento blanco y yeso-cemento gris.

Probeta	Relación en masa Agua:polvos	Relación en masa Yeso:Cemento
<b>Yeso</b>		
YA4	40:60	100:0
YA5	50:50	100:0
<b>Cemento Blanco</b>		
YB7A4	40:60	70:30
YB7A5	50:50	70:30
YB5A4	40:60	50:50
YB5A5	50:50	50:50
<b>Cemento Gris</b>		
YG7A4	40:60	70:30
YG7A5	50:50	70:30
YG5A4	40:60	50:50
YG5A5	50:50	50:50

A las probetas secas 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 determinar su peso en húmedo hasta que éste ya no aumente. Se determinó el tiempo de fraguado por medio del método Vicat (Figura 3) a las mezclas de la Tabla 1. Se colocó la mezcla en el recipiente del equipo y se ajustó la aguja en cero y se dejó caer. Cuando la aguja penetró entre 38 y 30 mm se tomó la lectura del tiempo de fraguado inicial. Se continuó penetrando hasta que la aguja solo penetró medio milímetro, que es el tiempo de fraguado final.

Se calculó la densidad utilizando un picnómetro de 10 ml, sumergiendo la pieza de yeso en parafina para tapar la porosidad existente, y determinando el volumen con agua desionizada.

Por último, se observó la superficie del corte en un microscopio óptico, con la finalidad de conocer la morfología y la porosidad de la probeta.

## 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.

En la figura 1 se muestran los resultados obtenidos de la absorción de cada una de las probetas preparadas según la tabla 1. En la figura 1(a) se presentan los resultados de absorción de agua de las probetas preparadas únicamente con yeso, pero con una relación en masa de agua:polvo de 50:50 (YA5) y 60:40 (YA4); en la figura 1(b) se presenta la absorción de agua de las probetas preparadas con mezclas de yeso:cemento blanco en una relación en



peso de 70:30 con una relación de polvo:agua de 60:40 (YG7A4) y de 50:50 (YG7A5) y la probeta preparada con una relación yeso:cemento blanco 50:50 y con una relación agua:polvo de 60:40 (YB5A4); en la figura 4(c) se presenta la absorción de agua de las probetas preparadas con mezclas de yeso:cemento gris en una relación en peso de 70:30 con una relación de agua:polvo de 60:40 (YB7A4) y de 50:50 (YB7A5) y la probeta preparada con una relación yeso:cemento gris 50:50 y con una relación agua:polvo de 60:40 (YG5A4). De estas figuras se observa que aquellas probetas preparadas con una relación de agua:polvo de 50:50 fueron las que presentaron mayor absorción en todos los casos (círculos llenos en figuras 1(a), 1(b) y 1(c)). Sin embargo, se observó que para una relación de yeso:cemento (tanto blanco como gris) 50:50 con una relación de agua:polvo 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 desmolde, razón por la que no se realizaron las pruebas de absorción. Finalmente, en la figura 1(d) se presenta 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 absorción menor mientras que las de yeso-cemento gris presentan una mayor absorción.

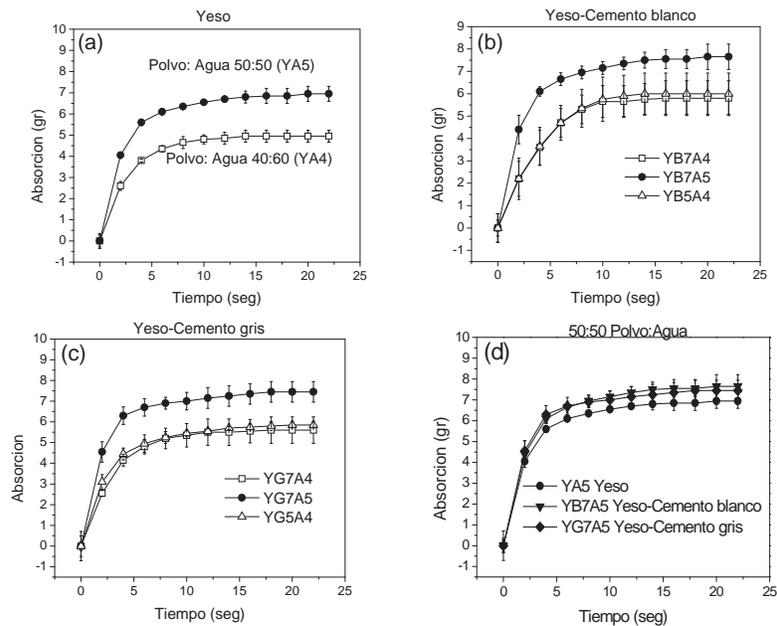


Figura 1. Prueba de absorción de las probetas.

Es importante destacar también 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. Si la absorción es muy rápida, en la superficie del cerámico final habrá una mezcla de tamaños de partícula pequeño y grande, ya que no hay tiempo de un reacomodo. Por otro lado, si la absorción es lenta, las partículas menos cargadas en la suspensión, las más grandes, son las que podrían depositarse en la superficie del cerámico final. En la figura 1 se puede observar como las probetas YB7A4 e YB5A4 son las que absorben más lento el agua antes de los 4 seg y continúan absorbiendo. Por otro lado, la probeta YA4 absorbe más en la primera etapa, pero luego absorbe mucho menos.

Los resultados de tiempo de fraguado inicial y final de cada una de las composiciones se presentan en la tabla 2. Además, en esta tabla se presenta la densidad de las probetas preparadas y la densidad del cerámico vaciado final (alúmina). 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. En

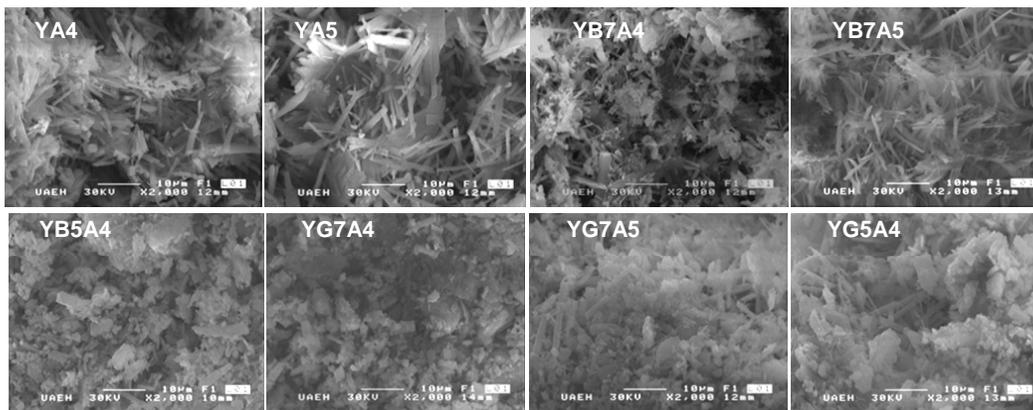


la misma también se puede observar la densidad de cada una de las probetas de yeso y yeso con cementos.

**Tabla 2.** Tiempo de fraguado y densidades.

MUESTRA	TIEMPO INICIAL (min)	PRENETRACION INICIAL (mm)	TIEMPO FINAL (min)	PENETRACION FINAL (mm)	DENSIDAD (g/cm <sup>3</sup> )	DENSIDAD ALUMINA (g/cm <sup>3</sup> )
YA4	7:30	3	19:00	39.5	1.0751	1.9573
YA5	10:00	5	38:00	39.5	0.8397	2.1734
YB7A4	4:30	7	9:00	39.5	1.2211	2.0349
YB7A5	6:00	5	22:00	39.5	0.9160	2.2152
YB5A4	3:30	9	15:00	39.5	1.1948	2.1845
YB5A5	6:30	6	--	--	--	--
YG7A4	8:00	7	16:30	39.5	1.2222	1.7410
YG7A5	10:30	3	35:30	39.5	0.9015	1.9863
YG5A4	6:30	5	14:00	39.5	1.2496	2.3008
YG5A5	11:00	7	--	--	--	--

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 agua:polvo 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 agua:polvo de 60:40. Y la mayor densidad fue obtenida también con una mezcla de yeso:cemento gris en una proporción 50:50 y en una relación agua:polvo de 60:40, con una absorción similar a la que mostró menor densidad en la pieza final. Finalmente a las piezas fabricadas según la tabla 1 que mostraron buena consolidación se les observo en el microscopio electrónico de barrido para conocer su morfología.



**Figura 2.** Morfología de las piezas fabricadas de acuerdo a la tabla 1.

De acuerdo a la figura 2 se puede observar que las probetas preparadas sólo con yeso YA4 e YA5 presentan una morfología tipo aguja mientras las demás figuras presentan dos tipos de morfología, una es tipo aguja y otra en forma de aglomerados. Las agujas representan al yeso mientras que los aglomerados a los dos tipos de cementos (gris y blanco). También con la ayuda del microscopio electrónico de barrido se observaron las piezas que se realizaron por el método de vaciado de suspensión de alúmina en las probetas fabricadas de acuerdo a la tabla 1. Se ha observado que las probetas que fueron fabricadas con mayor cantidad de agua (relación 50:50 agua:polvo) presentan mayor formación de cristales en su estructura y esto se



ve reflejado en la densidad de las piezas cerámicas vaciadas, las cuales presentan una distribución de cristales más homogénea.

#### 4. CONCLUSIONES.

De acuerdo con los resultados obtenidos, la probeta que presenta mayor absorción y un tiempo de fraguado apropiado es aquella obtenida a partir solo de yeso, con una proporción de polvo:agua de 50:50. En general, todas las probetas obtenidas con esta relación de agua:polvo, mostraron una mayor absorción de agua. La rapidez en la absorción de agua parece no tener influencia directa en la densificación de los cerámicos finales, dado que las probetas que mostraron mayor y menor densificación en la pieza final presentaron rapidezces de absorción de agua similares. Finalmente, las piezas finales con partículas más pequeñas y menor formación de aglomerados en la superficie se encontraron para moldes obtenidos con absorciones más lentas: con una relación yeso:cemento blanco 50:50 y con una relación polvo:agua de 40:60 (YB5A4)

#### AGRADECIMIENTOS

Este trabajo fue desarrollado con apoyo de los proyectos FOMIX-CONACyT-HGO clave 129910, y CONACyT, fondo Ciencias Básica 2010, proyecto clave No. 139292. Adicionalmente se agradece el apoyo del Fondo PIFI 2011.

#### BIBLIOGRAFÍA.

1. E. M. Múzquiz, J. G. Osuna, A. Solís y S. Solís. "Influencia de los aniones  $\text{Cl}^{-1}$ ,  $\text{Br}^{-1}$  y  $\text{SO}_4^{-2}$  sobre el tiempo de fraguado y propiedades del yeso cerámico". Bol. Soc. Quím. Méx., Vol 3, 2, 2009, pp. 73-78.
2. E. Vejmelková, M. Keppert, Z. Kersner, P. Rovnaníková, R. Cerný. "Mechanical, fracture-mechanical, hydric, termal, and durability properties of lime-metakaolin plasters for renovation of historical buildings". Construction and Building Materials, Vol. 31, 2012, pp. 22-28.
3. P. Padevet, P. Tesárek, T. Plachý. "Evolution of mechanical properties of gypsum in time". International Journal of Mechanics, Vol. 5, 1, 2011, pp. 1-9.
4. P. Chindapasirt, 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". Construction and Building Materials, Vol. 25, 2011, pp. 3193-3203.
5. M. Lanzón, P.A. García. "Effect of citric acid in setting inhibition and mechanical properties of gypsum building plasters". Construction and Building Materials, Vol. 85, 2011, pp. 506-511.
6. J. H. Deng, X. C. Huang, Y.J. Li. "Experimental research on the mechanical properties of gypsum breccias with water content". J. Shangahi Jiaotong Univ. Vol. 15, 2, 2010, pp. 250-256.
7. Z. Chen S. Sucech, K. T. Faber. "A hierarchical study of the mechanical properties of gypsum". J. Mater Sci., Vol. 45, 2010, pp. 4444-4453.
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 monólitos". Iberomet XI.
9. R. Moreno, J. S. Moya, J. Requena. "Colaje de óxidos cerámicos II: reología". Boletín de la Sociedad Española de Cerámicos y Vidrios, Vol. 25, 1, 1986, pp. 3-9.
10. R. Moreno, J. S. Moya, J. Requena. "Colaje de óxidos cerámicos I: fundamentos". Boletín de la Sociedad Española de Cerámicos y Vidrios, Vol. 24, 3, 1985., pp. 165-171.
11. R. Moreno, J. S. Moya, J. Requena. "Obtención de cuerpos densos de alúmina por colaje". Boletín de la Sociedad Española de Cerámicos y Vidrios, Vol. 26, 2, 1987, pp. 93-97.
12. R. Ylmén, U. Jäglid, B. Steenari, I. Panas. "Early hydration and setting of Portland cement monitored by IR, SEM and Vicat techniques". Cement and Concrete Research, Vol. 39, 2009, pp. 433-439.