

Document downloaded from:

<http://hdl.handle.net/10251/48910>

This paper must be cited as:

J.C.Ochoa; Bonilla Salvador, MM.; Borrachero Rosado, MV.; Paya Bernabeu, JJ. (2013). Efecto de un aditivo extraído de la planta Agave americana sobre las propiedades físicas y mecánicas de un yeso. *Materiales de Construcción*. 63:79-92. doi:10.3989/mc.2013.05111.



The final publication is available at

<http://dx.doi.org/10.3989/mc.2013.05111>

Copyright Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC)

Efecto de un aditivo extraído de la planta *Agave americana* sobre las propiedades físicas y mecánicas de un yeso

Effect of an admixture from *Agave Americana* on the physical and mechanical properties of plaster

J.C. Ochoa^(*), M. Bonilla^(**), M.V. Borrachero^(**), J. Payá^(**)

Resumen

Se estudiaron algunas propiedades físicas y mecánicas de pastas de yeso de construcción adicionadas con un aditivo de origen orgánico, producto de las hojas de la planta *Agave americana*. Se evaluó el comportamiento plástico de la pasta mediante ensayos de consistencia y se determinó, para cada dosificación, su relación agua/yeso (a/y). Se evaluó la incidencia del aditivo en los tiempos de fraguado. La transformación química del hemihidrato a yeso dihidrato se estudió mediante una novedosa técnica basada en un analizador de humedad por luz halógena. Se midieron las resistencias mecánicas a flexotracción y a compresión. Los resultados del estudio muestran que, para una misma consistencia, se mejoran las resistencias mecánicas. Los tiempos de fraguado de la pasta se aumentaron lo que ayudaría mejorar los tiempos de aplicación del yeso y a disminuir las retracciones plásticas. Las modificaciones de estas propiedades físicas no afectan considerablemente las resistencias mecánicas finales.

Abstract

Physical and mechanical properties of a plaster paste added with an organic additive, of the leaves of *Agave americana*, were studied. Plastic consistency behavior was evaluated and the water/gypsum (w/g) ratio was determined for each dosage of the admixture. Admixture effect on setting was evaluated too. The chemical transformation of the hemihydrated form to gypsum (dihydrated form) was studied using a novel technique based on a moisture analyzer by halogen light. Flexural and compressive strengths were measured. The results show that, for the same consistency, accordingly mechanical strengths were improved too. The setting times were increased which would enhance the application time of plaster and would reduce plastic shrinkage, common problems in this type of material. The changes in these physical properties not substantially affect the final mechanical strengths.

Keywords: *plaster gypsum, Agave americana, organic additives, plaster setting time, consistency*

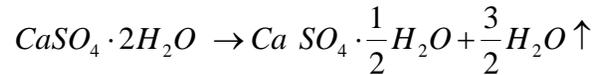
^(*) Universidad Nacional de Colombia Sede Medellín

^(**) Universitat Politècnica de València. Instituto de Ciencia y Tecnología del Hormigón ICITECH

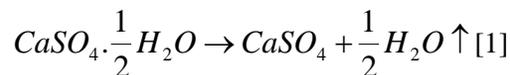
Persona de contacto/Corresponding author: jcochoa@unal.edu.co

1. Introducción

El yeso es un sulfato de calcio hidratado de origen natural ($CaSO_4 \cdot 2H_2O$). Es un mineral que se presenta combinado con óxidos de hierro y aluminio, con carbonatos de calcio y magnesio, entre otros. El yeso tiene una propiedad única que lo hace valioso para la construcción. Cuando se calienta (o calcina) de 100 a 150°C, pierde tres cuartas partes de su agua de combinación, transformándose en hemihidrato.



A temperaturas superiores a 150°C y 180°C pierde el resto de agua de hidratación restante resultando un sulfato de calcio anhidro:



El yeso utilizado en las edificaciones es producto de la deshidratación del yeso dihidrato ($CaSO_4 \cdot 2H_2O$). Dependiendo de la temperatura de deshidratación, la presión de vapor dentro del horno, el control de calentamiento, la finura y densidad del yeso de origen, se obtienen diferentes productos (2).

Los usos más frecuentes del yeso en la construcción son como recubrimiento, enlucido y material para la fabricación de paneles. En cualquiera de sus usos presenta dos problemas fundamentales: su baja resistencia a agentes exteriores y su corto tiempo de fraguado. Para mejorar su resistencia a agentes exteriores, se usa aditivos como resinas epoxídicas, polímeros, cementos, escorias y otros productos resistentes al agua. La resistencia mecánica de un yeso hemihidrato adicionado con cemento Pórtland y escorias de alto horno, en un ambiente externo a tres años de exposición, es similar a la de un yeso hemihidrato en un ambiente interior ya que se mejora la compacidad de la pasta e incrementa la resistencia al ataque por agua [2]. La mezcla de polímeros solubles en agua, generalmente un éter de celulosa, por ejemplo metil celulosa (MC) o metil celulosa modificada (MMC), mejora la resistencia a compresión del yeso (>5 MPa) [3]. Sin embargo, el yeso de recubrimiento modificado con látex, presenta menores resistencias mecánicas [4]. La inclusión de un látex flexible, SBR, en la matriz de yeso, mostró el desarrollo de una red polimérica (PN) que se entreteje con la matriz cerámica y logra incrementar la elasticidad o el comportamiento a la flexión del material al mismo tiempo que se obtiene una baja densidad [5].

Otra alternativa para mejorar la durabilidad del yeso es la impregnación con resinas epoxídicas. Se ha demostrado que un yeso impregnado tiene valores de absorción cercanos a cero al final de 7 días de inmersión en agua y conserva su resistencia a compresión [6].

Los yesos utilizados como recubrimiento o enlucido requieren de un buen control del tiempo de fraguado y de una buena consistencia, para facilitar su aplicación y disminuir su retracción. El uso de retardantes, polímeros solubles en agua, agentes aireantes y superplastificantes mejoran la consistencia de la pasta (>150 mm) y el tiempo de fraguado (>1.5 h). Estos aditivos proporcionan una alta retención de agua y aumentan la consistencia, también la adhesión y la plasticidad del sistema. La aplicación de aditivos aireantes también es importante para la estabilización de los poros generados en el amasado y proveen trabajabilidad y una superficie suave y lustrosa. Estos aditivos también incrementan el volumen de la pasta y el aislamiento térmico y acústico [3]. El látex acrílico a base de agua, en grandes dosificaciones, tiende a retardar el proceso de hidratación y reducir la relación agua/yeso [6]. La incorporación de látex como el

acetato de polivinilo (PVA), el caucho estireno-butadieno (SBR) y el polimetilmetacrilato (PMMA) incrementan el tiempo de fraguado [4]. El ácido cítrico actúa con mayor efectividad retardante. La fibra de tabaco también puede ser tan buen retardante como el ácido cítrico [7].

El "yeso aligerado" es frecuentemente utilizado en la fabricación de paneles. Los yesos aligerados se logran por la incorporación de aditivos y agregados ligeros, orgánicos e inorgánicos, tales como perlita expandida o vermiculita. Las burbujas de aire en el yeso de construcción buscan mejorar las prestaciones como aislamiento térmico aunque se disminuyen las resistencias mecánicas [8]. El método de la espuma a base de gas utiliza sulfato de aluminio, alumbre de potasio o bicarbonato de amonio para la producción química de burbujas de aire en la pasta de cemento. El sulfato de aluminio es el que mayor cantidad de espuma genera. El alumbre de potasio, lauril sulfato de sodio y el bicarbonato de amonio reducen la densidad del yeso entre el 30% y el 35%. El bicarbonato de sodio es utilizado como generador de gas, CO₂, para la producción de espuma inorgánica a base de yeso y la subsecuente modificación de algunas de sus propiedades. La adición de 1% por peso de bicarbonato de sodio, a la pasta de yeso, disminuye la conductividad térmica (K), la densidad y las resistencias mecánicas a flexión y compresión [9]. La adición de ácido cítrico y carboximetil celulosa, a estas sustancias, ayuda a disminuir la densidad. El esfuerzo a compresión en los yesos de baja densidad cae por debajo de 10 N/mm² [10]. Algunas investigaciones buscan mejorar tanto las propiedades mecánicas como las aislantes. Una de las estrategias para lograrlo es fabricar una matriz de yeso de alta densidad y agregados de baja densidad. El material más favorable encontrado en este propósito contiene 5%, sobre la masa de yeso, de perlita expandida. Se logra con esta mezcla un conductividad térmica de 0.12 W m⁻¹ K⁻¹ y un esfuerzo a la compresión de 2.0 MPa con una densidad aparente igual a 547 kg m⁻³ [11]. La incorporación de cenizas volantes, finas y gruesas, las cenizas de fondo y las tierras diatomeas reducen la conductividad térmica e incrementa la protección al fuego [7]. La escayola reforzada con fibras de polipropileno y aligerada con perlas de poliestireno expandido permite reducir la densidad y mejorar la resistencia a flexión sobre la escayola sin ningún tipo de adición [8]. En morteros de cemento Pórtland y de cal también se han utilizado extractos de origen vegetal para modificar sus propiedades [12-13]

Las plantas de la familia *Agavaceae* son plantas suculentas de origen americano. En muchos países de Centro y Suramérica su fibra se utiliza para la elaboración de empaques, vestidos, calzados y artesanías, y su licor (extracto líquido) es depositado en cuencas hídricas con un alto impacto contaminante. En el proceso de extracción de la fibra se desecha una gran cantidad de su jugo que, en algunos casos, representa el 70% del peso de su hoja. En la mayor parte las ocasiones, este residuo es vertido directamente a suelos o ríos, produciendo una contaminación importante. Este residuo se asimila a otros compuestos orgánicos de plantas como los cactus [13], o de vegetales como la remolacha que tienen similares efectos en las propiedades del yeso.

El objetivo de esta investigación fue la reutilización de este residuo vegetal en conglomerantes basados en yeso y la evaluación de su incidencia en algunas propiedades de la pasta de yeso en estado fresco y endurecido. El uso de este residuo como aditivo en materiales conglomerantes ayudaría a mitigar el impacto ambiental que genera y daría valor agregado al cultivo y comercialización de este tipo de plantas suculentas.

2. Materiales y métodos.

Para los ensayos correspondientes se utilizó un yeso grueso de construcción, hemihidrato, que se utiliza para pasta de agarre en la ejecución de tabicados, en revestimientos interiores y como conglomerante auxiliar de origen comercial y que se clasifica como tipo B1 (yeso para la construcción) según la norma española [14]. Las características físicas de este yeso se muestran en la Tabla 1.

Tabla 1. Características físicas del yeso

Table 1. Physical properties of plaster

Como aditivo orgánico se utilizó el extracto de la especie *Agave americana* (pitiera) que es la planta suculenta más conocida en España junto con la *Opuntia sp.* Se trata de una planta que pertenece a la familia Agavaceae. Mide de 2 a 3m de ancho, las hojas son gruesas, lanceoladas de color azulado y se hallan bordeadas de espinas. Pueden llegar a medir más de 1.75 m de largo y 30 cm de ancho. Los constituyentes se conocen en forma cualitativa, son básicamente agua, celulosa, materia orgánica (sacarosa, proteínas, nitrógeno, fósforo, calcio, potasio, saponinas y sapogeninas) y minerales.

Las hojas se recogieron en los términos municipales de Paterna y de Bétera, en la provincia de Valencia – España. Fueron empacadas en bolsas de polietileno y transportadas hasta el laboratorio, donde en el transcurso de las siguientes 24 horas fueron procesadas. El aditivo orgánico tuvo un contenido en agua del 92%. El residuo sólido contenía un 91% de materia orgánica. La licuadora utilizada permitió separar la fibra más larga y exprimir el licor. El líquido obtenido de cada sección se pesó, para conocer el rendimiento relativo al peso de la hoja, se envasó en pequeños botes con 25g, cada uno, y se congeló inmediatamente. Allí permaneció, a una temperatura promedio de -14°C , hasta que fue utilizado. El mayor porcentaje de extracto, respecto al peso total de la hoja, se obtiene de la base de la hoja (aprox. 70%), por concentrarse allí el tejido carnoso y el agua. Las secciones media y la punta, aportan menos cantidad de extracto. Para este estudio se adicionó 1, 3 y 5% de aditivo a las pastas de yeso.

La relación agua/yeso (a/y) se determinó mediante el método de ensayo-error, de la norma UNE EN-13279-2 [15], que consiste en rellenar con la pasta un cono truncado, se levanta y golpea en la mesa de sacudidas, hasta que se forme una galleta de un diámetro determinado (165 ± 5 mm).

Los tiempos de fraguado, inicial y final, se midieron siguiendo la norma UNE EN-13279-2 [15]. Se determinó la profundidad de la penetración de la aguja o del cono de Vicat dentro de una pasta de yeso a medida que progresa el fraguado.

Para medir las resistencias mecánicas se fabricación probetas de 40mm x 40mm x160 mm. El curado se efectuó durante cinco (5) días en cámara húmeda (humedad relativa $90\% \pm 5\%$) y dos (2) días en estufa a $40^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$.

El cálculo de la cantidad de hemihidrato que contiene el yeso en polvo y la cantidad que se transforma en dihidrato se llevó a cabo a partir de los datos obtenidos con el analizador halógeno de humedad Mettler Toledo HR73-P. Este aparato permite calentar una muestra sólida pulverulenta (mediante una fuente de halógenos), a una temperatura determinada, hasta que no se detecta pérdida de peso apreciable (agua en el caso de dihidrato y hemihidrato). Para cada tiempo de reacción, la muestra fraguada se machacó en un mortero con acetona, se filtró y el sólido recogido se secó en estufa a 60°C durante 30 minutos. El calentamiento se realizó desde 25°C hasta 180°C . En este estudio se utilizaron muestras en polvo de aproximadamente 5 g de peso y se midió la pérdida de peso cada 30 segundos hasta que ésta fuera inferior al 0.02% del peso de la muestra. El registro no permite identificar la descomposición intermedia desde dihidrato a hemihidrato: la pérdida de peso se atribuye al agua combinada químicamente en el dihidrato

formado y en el hemihidrato sin reaccionar. Este método se ha validado previamente [16] comparando los resultados obtenidos por análisis termogravimétrico.

3. Resultados y Discusión

3.1. Influencia del aditivo en la relación agua/yeso y en la consistencia de la pasta

En primer lugar se determinó la influencia en la relación a/y. Se realizaron varias amasadas de tal manera la incorporación del aditivo permitía que se disminuyera el agua para mantener constante la consistencia, cuantificada como el diámetro de la galleta en la mesa de sacudidas $165 \pm 5\text{mm}$.

En la Tabla 2 se observa como a medida que se aumenta el porcentaje de aditivo, 1%, 3% y 5%, se disminuye la cantidad de agua requerida para alcanzar la misma consistencia. Con el 1% se aprecia una disminución considerable del agua de amasado respecto a la muestra control. A partir de allí las disminuciones son menos importantes cuantitativamente, hasta llegar a diferencias mínimas como en el caso del 3% y el 5%.

Tabla 2. Efecto del aditivo en la relación a/y. Consistencia constante $165 \pm 5\text{ mm}$

Table 2. Effect of admixture in a/y ratio. Constant consistency $165 \pm 5\text{ mm}$

Para determinar el efecto del plastificante en la consistencia se efectuaron amasadas, conservando la misma relación a/y 0.48, y se midió el diámetro de la galleta en la mesa de sacudidas.

En la Tabla 3 se presenta la influencia del aditivo en la consistencia de la pasta. Se observa que, a la misma relación a/y, y con 1% (muestra 1b) de aditivo, la plasticidad de la pasta se incrementa un 11% aproximadamente respecto de la muestra control (165 mm), y al pasar de 1 a 3% de aditivo, el incremento en la plasticidad es del 19%. Con la adición del 5% no fue posible determinar la plasticidad porque la fluidez fue tal que desbordó el tablero de la mesa. Ésta y la anterior medida nos demuestran que adiciones mayores del 3% del aditivo en la pasta de yeso no aportan beneficios al material para esa relación a/y (0.48). Este incremento fue superior al encontrado en otros estudios donde se utilizó 0.15% de superplastificante comercial y una relación a/y (0.45), donde se obtuvieron incrementos en la consistencia del 6% aproximadamente [3].

Tabla 3. Efecto del aditivo en la consistencia del yeso. Relación a/y constante 0.48

Table 3. Effect of admixture in gypsum consistency. Constant a/y ratio 0.48

3.2. Influencia del aditivo en los tiempos de fraguado del yeso

Para este ensayo se utilizaron las mismas dosificaciones del ensayo de consistencia que aparecen en las Tablas 2 y 3.

Los resultados obtenidos se observan en la Figura 1. En el gráfico se muestran los tiempos inicial y final de fraguado de las pastas de yeso, 2a, 3a y 4a de la Tabla 3, que se prepararon con igual consistencia que la de la muestra control (1a) y las muestras 2b, 3b y 4b de la Tabla 4 que corresponden a las muestras y las pastas con igual relación a/y. Se observa que los tiempos de inicio y final de fraguado, tanto para las pastas de igual consistencia como para las de igual relación a/y, aumentan a medida que se incrementa el porcentaje de extracto. Los tiempos de fraguado de las pastas con igual relación a/y son mayores que los de las pastas de igual consistencia debido, posiblemente, a la mayor cantidad de agua presente en la

muestra. Comparativamente, el uso de ácido cítrico en dosificaciones entre 0.05% y 0.15% permite el aumento del tiempo de fraguado de 1 a 7 horas, sin embargo produce una reducción de la trabajabilidad y en la resistencia a compresión entre 11.3 y 8.02 MPa [3].

Figura 1. Tiempos de fraguado inicial y final a igual consistencia e igual relación a/y

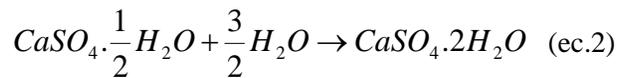
Figure 1. Initial and final setting times with the same consistency, and a/y ratio

Adicionalmente, se llevó a cabo una determinación de la composición del yeso mediante un analizador de humedad que se describió en capítulo experimental. El método consistió en calentar la muestra muy rápidamente (por lámpara de halógenos), a una temperatura de 180°C, durante un tiempo suficiente para que la pérdida de masa detectada fuera despreciable.

A partir de los resultados obtenidos se determinó el grado de conversión del yeso hemihidrato a dihidrato. Para ello, previamente, fue secada en la estufa, a 60°C, una muestra de yeso para eliminar la humedad. A continuación fue sometida al calentamiento en la balanza de halógenos, obteniendo el dato de pérdida total (Pérdida Total para Yeso). En estas condiciones, este dato de pérdida total es debido, únicamente, a la cantidad de agua químicamente combinada en el hemihidrato presente en la muestra de yeso (ec.1):



Durante la hidratación del yeso se produce la reacción (ec.2):



La reacción no se completa totalmente durante el tiempo de fraguado, sino que sólo parte del hemihidrato ha reaccionado con el agua para formar el dihidrato. El resto del hemihidrato sin reaccionar, lo hace más lentamente (después del fraguado), con el exceso de agua que queda en la pasta. Por ello, con el analizador de humedad por halógenos se puede determinar, también, el porcentaje de dihidrato y hemihidrato que contiene una muestra de yeso fraguada, con el tiempo de curado.

Para la aplicación de este método y con el propósito de identificar la acción del aditivo vegetal en el proceso de hidratación de las pastas de yeso, se analizaron mezclas a diferentes tiempos de curado (0.5, 1, 3 y 24 horas), y se utilizaron la mismas dosificaciones de los estudios de consistencia y tiempos de fraguado, Tablas 2 y 3.

El grado de conversión se evaluó determinando el agua químicamente combinada tanto para la forma hemihidrato como para la forma dihidrato. La primera columna de la tabla 4 define la muestra de la pasta, la segunda la pérdida de agua combinada en la pasta de yeso, la tercera el porcentaje de dihidrato presente en la pasta hidratada (D), la cuarta el porcentaje de hemihidrato (H) y la quinta el grado de conversión (α).

Se observa que a 0.5 y 1 hora el grado de conversión de las muestras con 3 y 5% de aditivo es menor que la de la muestra control. Con 3 y 24 horas el valor es bastante similar. Lo que significa que el poder retardante del aditivo en el yeso se manifiesta considerablemente en las primeras horas de hidratación. También observamos que la formación de dihidrato se sigue incrementando con el tiempo.

En la Tabla 5 se relacionan los datos obtenidos del porcentaje de dihidrato formado a las 0.5, 1, 3 y 24 horas de hidratado el yeso, con pastas de igual consistencia que la muestra control y por ende con una variación en la relación a/y. El comportamiento del grado de conversión es similar al de las pastas fabricadas con igual relación a/y, sin embargo los valores de conversión son menores lo que indica una menor hidratación de la pasta debido, seguramente, a la mayor concentración de las sustancias activas en el extracto de la planta. A pesar de que con igual relación a/y, hay un retraso en el fraguado mayor que en las pasta fabricadas a igual consistencia, eso no indica que el porcentaje de conversión final de hemihidrato a dihidrato sea menor. En general podemos decir que el aditivo funciona como un retardante de la formación de los cristales de yeso dihidrato, en la primera hora.

Tabla 4. Grado de conversión de hidratación de la pasta de yeso a igual relación a/y (0.48)

Table4. Conversion degree of hydration of gypsum to the same a/y ratio (0.48)

Tabla 5 . Grado de conversión de hidratación de la pasta de yeso a igual consistencia que la pasta control

Table 5. Conversion degree of hydration of gypsum with the same consistency of control sample

3.3. Influencia del aditivo en las resistencias mecánicas a flexo-tracción y compresión

Para este ensayo se elaboraron probetas prismáticas a igual consistencia y a igual relación a/y de tal manera que se pudiera apreciar la variación en las resistencias mecánicas debida a la incorporación del aditivo. Las dosificaciones utilizadas son las mismas que se presentan en las tablas 2 y 3.

En **la Figura 2**, se exponen los datos de las resistencias a flexo-tracción y compresión en probetas de pastas de yeso a igual consistencia. En el gráfico 2a se observan las resistencias a flexo-tracción de las probetas preparadas con igual consistencia que la muestra control (muestras 1a, 2a, 3a y 4a en **Tabla 2**). Observamos que hay un leve incremento de la resistencia cuando adicionamos 1 y 3% de aditivo. Con un 5% la resistencia se iguala a la resistencia de la probeta control. Este incremento de la resistencia está relacionado directamente con la densidad de las probetas con aditivo.

El gráfico 2b muestra las resistencias a compresión de las probetas preparadas con igual consistencia que la muestra control. Se observa el mismo comportamiento de la resistencia a flexo-tracción. La reducción en la dosificación de agua cuando se incrementa la cantidad de aditivo no viene acompañada de un aumento importante de la densidad, lo que significa que existe una cierta oclusión de aire activada por el aditivo orgánico.

Figura2. Resistencias mecánicas: a) resistencia a flexo-tracción o densidad a igual consistencia vs. porcentaje de aditivo; b) resistencia a compresión o densidad a igual consistencia vs. porcentaje de aditivo

Figure 2. Mechanical strengths: a) flexural strength or density with same consistency vs. percent of admixture, b) compressive strength or density whit same consistency vs. percent of admixture

En la **Figura 3**, se ilustran los datos de las resistencias a flexo-tracción y compresión de probetas con pastas de yeso a igual relación a/y. En el gráfico 3a se muestran los datos correspondiente a las resistencias a flexo-tracción y la densidad de las probetas de yeso preparadas con igual relación a/y que la muestra control. Corresponden a las muestras 1a, 2b, 3b y 4b de la **Tabla 3**. El incremento del extracto produce una disminución de la resistencia a flexotracción, aunque con 3% y 5% la diferencia es muy pequeña. Este comportamiento se asocia al descenso de la densidad, aproximadamente 17%, o sea al aumento de la porosidad de la probeta, lo que sugiere que el aditivo produce un incremento del aire ocluido en la pasta. Esta disminución en la densidad se podría calificar de moderada comparado con otros

aditivos como el sulfato de aluminio, el lauril sulfato de sodio, el bicarbonato de amonio o el de sodio que reducen la densidad del yeso entre el 30% y el 35% [9].

En el gráfico 3b se muestran los datos correspondientes a las resistencias a compresión de las probetas de yeso preparadas con igual relación a/y que la muestra control. La tendencia es similar a la de la resistencia a flexo-tracción: cuando adicionamos aditivo la resistencia a compresión disminuye. Sin embargo, es destacable el hecho de que la adición de 1% de aditivo da lugar a un descenso significativo en la densidad pero la resistencia a compresión se mantiene con respecto al control. Ello significa que la presencia de pequeñas cantidades de aditivo produce un material con una distribución y tamaño de poros adecuado. Cuando se incrementa la cantidad del extracto la disminución en la resistencia mecánica se podría atribuir a una mayor cantidad de macroporos.

Figura 2. Resistencia mecánica a flexo-tracción y compresión en pastas de yeso a igual relación a/y: a) resistencia a flexo-tracción a igual relación a/y; b) resistencia a compresión a igual relación a/y

Figure 3. Mechanical resistance to flexural and compressive strengths in plaster pastes with the same a/y ratio: a) resistance to flexural strength to the same a/y ratio and b) compressive strength to the same a/y ratio.

Comparativamente, observamos que la diferencia entre la resistencia a compresión en una pasta de yeso a igual consistencia y la otra a igual relación a/y, con porcentajes de aditivo de 1%, es muy pequeña, pero logramos buenos aumentos con buena consistencia de la pasta. La diferencia se hace notoria cuando utilizamos 3 y 5% de aditivo. Ver Figura 4a y 4b.

Figura 3. Resistencias mecánicas: a) comparación entre resistencia a flexo-tracción a igual consistencia e igual relación a/y; b) comparación entre resistencia a compresión a igual consistencia e igual relación a/y

Figure 4. Mechanical strengths: a) comparison between flexural strength with the same consistency and the same a/y ratio b) comparison between compressive strength with the same consistency and the same a/y ratio

4. Conclusiones

Del estudio realizado se deducen las siguientes conclusiones:

1. Con 1% de aditivo se logra disminuir el agua de amasado aproximadamente 11% respecto a la muestra control, y se logra conservar la misma consistencia. Con 3 y 5% el agua se disminuye en 16 y 17%, aproximadamente. Esto indica que a partir de 3%, el efecto del aditivo empieza a no ser significativo. Como consecuencia de la disminución del agua de amasado, se incrementan las resistencias mecánicas con 1 y 3% de aditivo. Con 5% se conserva prácticamente igual a la muestra control.
2. Si conservamos la misma relación a/y de la muestra control encontramos que con 1% de aditivo se incrementa la consistencia de la pasta aproximadamente en un 14%, y con el 3% de aditivo en 36%. La consecuencia de este incremento de plasticidad se observa en la disminución de las resistencias mecánicas porque el efecto espumante del aditivo se incrementa con la mayor cantidad de agua y se aumenta la porosidad de la pasta.
3. El tiempo inicial y final de fraguado se incrementa a medida que se aumenta la cantidad de aditivo. Con 5% de aditivo se logra aumentar en más de 1.5 horas el tiempo final de fraguado lo que coincide con estudios de otros aditivos retardantes como látex o el ácido cítrico. El índice de

conversión de la hidratación de la pasta corrobora que a 1 hora de fraguado, con 3 y 5% de aditivo, el porcentaje de dihidrato producido es menor que el de la muestra control.

4. La adición del extracto de la planta mejora considerablemente la plasticidad de la pasta, al tiempo que retrasa los tiempos iniciales y finales de fraguado. La mejora de estas propiedades ayudaría en la aplicación de yesos de construcción, y a su aspecto final.

Agradecimientos

J.C Ochoa agradece a la Fundación Carolina por la beca asignada para la realización de esta investigación; a la Universidad Nacional de Colombia por el tiempo cedido y al Instituto de Ciencias y Tecnología del Hormigón ICITECH de la Universitat Politècnica de València por los recursos humanos y materiales.

Referencias

- (1) Hornbostel, C.: *Materiales para la construcción. Tipos, usos y aplicaciones*, Limusa S.A y C.V, 2002
- (2) Camarini, G.; De Milito, J.A.: "Gypsum hemihydrate–cement blends to improve renderings durability", *Construction and Building Materials*, in press, (2011). doi: 10.1016/j.conbuildmat.2011.04.048
- (3) Arikan, M.: "The optimization of a gypsum-based composite material". *Cement and Concrete Research*, vol. 32, n° 11, (2002), pp. 1725–8. doi:10.1016/S0008-8846(02)00858-X
- (4) Colak, A.: "Physical and mechanical properties of polymer-plaster composites" *Materials Letters*, vol. 60, n° 16, (2006), pp.1977–82. doi:10.1016/j.matlet.2005.12.062
- (5) Rubioavalos, J.; Manzanoramirez, A.; Lunabarcenas, J., Perezrobles, J. Alonsoguzman, E. Contrerasgarcia, M.; Gonzalezhernandez, J.: "Flexural behavior and microstructure analysis of a gypsum-SBR composite material", *Materials Letters*, vol. 59, n° 2-3, (2005), pp.230–3. doi:10.1016/j.matlet.2004.07.054
- (6) Çolak, A.: "Characteristics of acrylic latex-modified and partially epoxy-impregnated gypsum", *Cement and Concrete Research*, vol. 31, n° 11, (2001), pp. 1539–47. doi:10.1016/S0008-8846(01)00575-0
- (7) Chindaprasirt, P.; Boonserm, K. Chairuangstri, T.; Vichit-Vadakan, W.; Eaimsin, T.; Sato, T; Pimraksa, K.: "Plaster materials from waste calcium sulfate containing chemicals, organic fibers and inorganic additives", *Construction and Building Materials*, in press, (2011). doi: 10.1016/j.conbuildmat.2011.03.004
- (8) García Santos, A.: "PPF-reinforced, ESP-lightened gypsum plaster", *Materiales de Construcción*, vol. 59, n° 293, (2009), pp.105–24. doi:10.389/mc.2009.41107
- (9) Rubioavalos, J.; Manzanoramirez, A.; Yanezlimon, J.; Contrerasgarcia, M.; Alonsoguzman, E.; Gonzalezhernandez, J.: "Development and characterization of an inorganic foam obtained by using sodium bicarbonate as a gas generator", *Construction and Building Materials*, vol. 19, n° 7, (2005), pp. 543–9. doi:10.1016/j.conbuildmat.2004.12.001
- (10) Çolak, A.: "Density and strength characteristics of foamed gypsum", *Cement and Concrete Composites*, vol. 22, n° 3, (2000), pp. 193–200. doi:10.1016/S0958-9465(00)00008-1
- (11) Vimmrová, A.; Keppert, M.; Svoboda, L.; Černý R.: "Lightweight gypsum composites: Design strategies for multi-functionality", *Cement and Concrete Composites*, vol. 33, n° 1, (2011).

doi:10.1016/j.cemconcomp.2010.09.011

(12) Izaguirre, A.; Lanas, J.; Álvarez, J. I.: "Effect of a biodegradable natural polymer on the properties of hardened lime-based mortars", *Materiales de Construcción*, vol. 1, n° 302, (2011), pp. 257-274.

(13) Chandra, S.; Eklund, L.; Villareal, R.: "Use of cactus in mortars and concrete", *Cement and concrete research*, vol. 28, n° 1 (1998), pp. 41-51.

(14) UNE EN-13279-1: *Yesos de construcción y conglomerantes a base de yeso para la construcción. Parte 1: Definiciones y especificaciones* (2006)

(15) UNE EN-13279-2: *Yesos de construcción y conglomerantes a base de yeso para la construcción. Parte 2: Métodos de ensayo* (2006)

(16) Borrachero, M.V.; Payá, J.; Bonilla, M.; Monzó, J.: "Nuevos procedimientos de análisis termogravimétrico para la caracterización de materiales de construcción: aplicación a yesos". *VIII Congreso Nacional de Materiales*, (2004), pp 89-96.

Tabla 2/ Table 1

Características físicas del yeso

Physical properties of plaster

Yeso tipo YG	
Índice de pureza	75%
pH mínimo	6
Finura de molido	50%
Principio de fraguado	8 minutos
Final de fraguado	10 minutos
Resistencia mecánica mínima a flexotracción	2.0 MPa

Tabla 2/Table 2

Efecto del aditivo en la relación a/y. Consistencia constante 165 ± 5 mm

Effect of additive in a/y ratio. Constant consistency 165 ± 5 mm

Muestra	Yeso (g)	Aditivo			Agua de amasado (g)	Agua total (g)	a/y
		%	g*	H ₂ O			
1a	2500	0	0	0	1200.0	1200.0	0.480
2a	2500	1	25.0	24.5	1040.0	1065.0	0.426
3a	2500	3	75.0	69.0	937.5	1006.5	0.403
4a	2500	5	125.0	115.0	875.0	990.0	0.396

*El agua del aditivo es el 92% de la masa total

Tabla 3/Table 3

Efecto del aditivo en la consistencia del yeso. Relación a/y constante 0.48

Effect of additive in gypsum consistency. Constant a/y ratio 0.48

Muestra	Yeso (g)	Aditivo			Agua de amasado (g)	Agua total (g)	Consistencia (mm)
		%	g	H ₂ O			
1a	2500	0	0	0	1200	1200	165
2b	2500	1	25	24.5	1176	1200	189
3b	2500	3	75	69.0	1131	1200	225
4b	2500	5	125	115.0	1085	1200	N.D

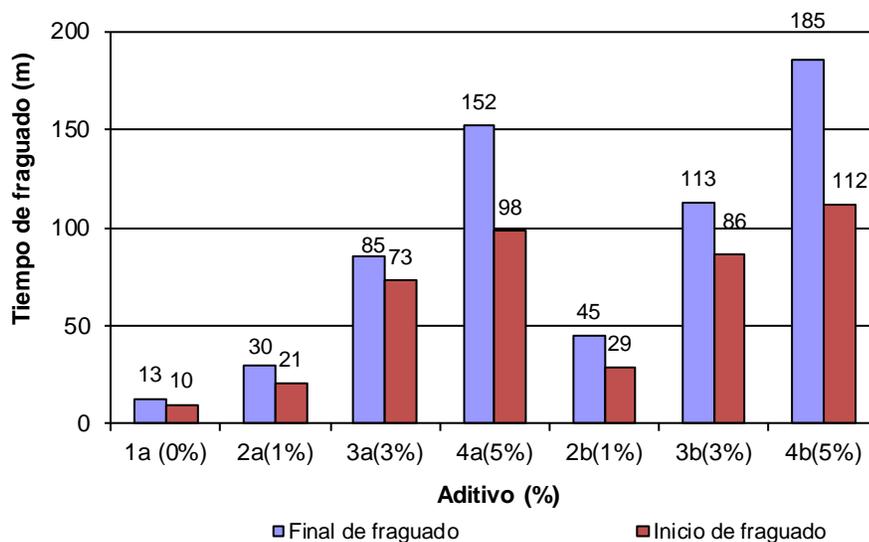


Figura 4. Tiempos de fraguado inicial y final a igual consistencia e igual relación a/y
 Figure 1. Initial and final setting times with the same consistency, and a/y ratio

Tabla 4/Table 4

Grado de conversión de hidratación de la pasta de yeso a igual relación a/y (0.48)

Conversion degree of hydration of gypsum to the same a/y ratio (0.48)

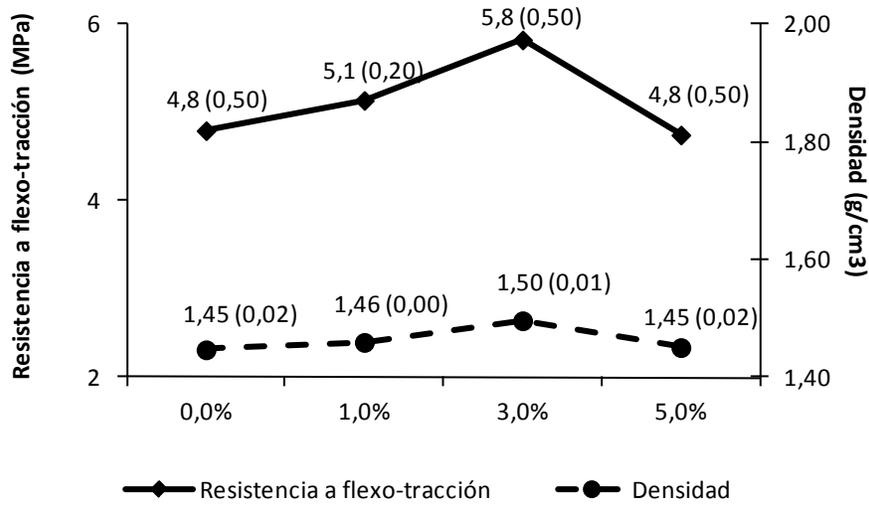
Horas	Muestra	Pérdida	D	H	α
0.5	1a	15.40%	68.60%	16.78%	0.775
	3b	12.64%	50.06%	34.85%	0.548
	4b	9.66%	30.03%	54.35%	0.38
1	1a	16.32%	74.78%	10.76%	0.854
	3b	14.05%	59.53%	25.62%	0.662
	4b	10.11%	33.06%	51.41%	0.352
3	1a	17.04%	79.62%	6.04%	0.917
	3b	16.74%	77.61%	8.01%	0.891
	4b	16.76%	77.74%	7.88%	0.893
24	1a	17.72%	84.19%	1.59%	0.978
	3b	17.57%	83.18%	2.57%	0.965

	4b	17.57%	83.18%	2.57%	0.965
--	----	--------	--------	-------	-------

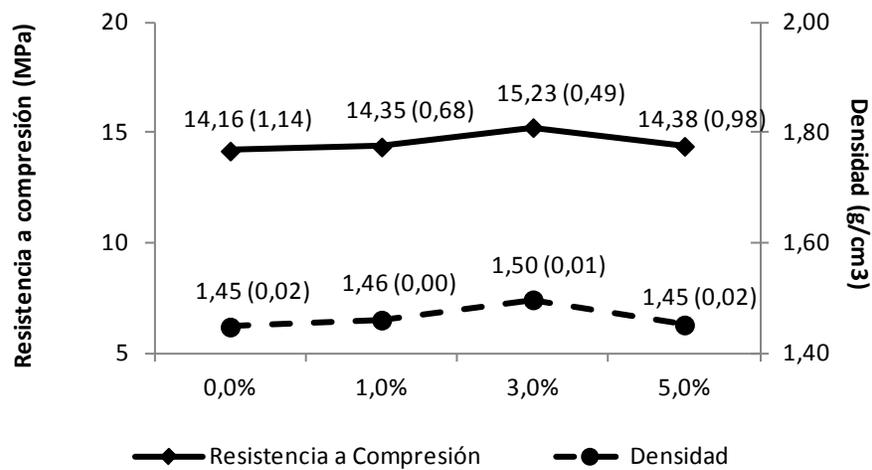
Tabla 5/Table 5

Grado de conversión de hidratación de la pasta de yeso a igual consistencia que la pasta control
 Conversion degree of hydration of gypsum with the same consistency of control sample

Horas	Muestra	Pérdida	D	H	α
0.5	1a	15.40%	68.60%	16.78%	0.775
	3a	12.32%	47.91%	36.94%	0.522
	4a	7.9%	18.21%	65.88%	0.189
1	1a	16.32%	74.78%	10.76%	0.854
	3a	13.08%	53.01%	31.97%	0.583
	4a	9.59%	29.56%	54.81%	0.313
3	1a	17.04%	79.62%	6.04%	0.917
	3a	16.57%	76.46%	9.12%	0.876
	4a	16.39%	75.25%	10.30%	0.860
24	1a	17.72%	84.19%	1.59%	0.978
	3a	17.49%	82.64%	3.10%	0.957
	4a	17.36%	81.77%	3.95%	0.946



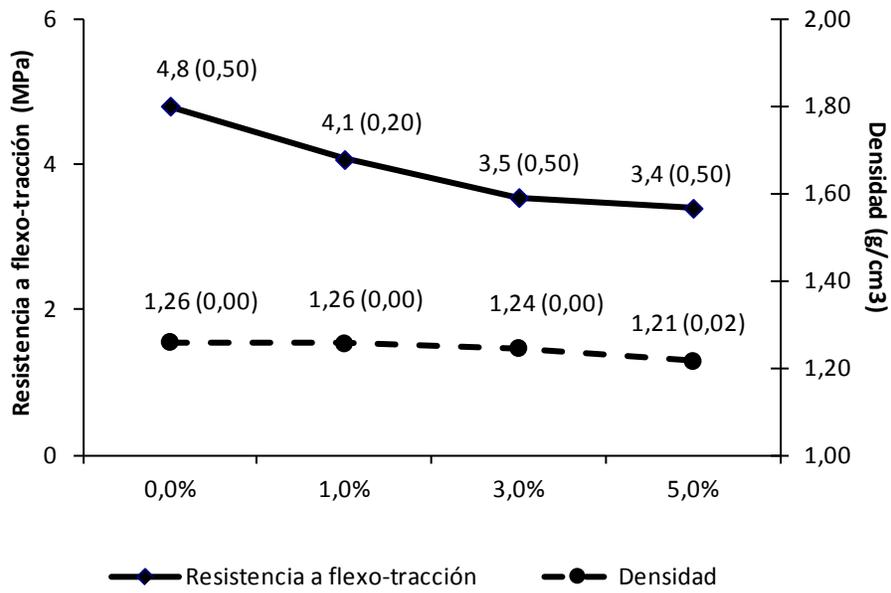
a)



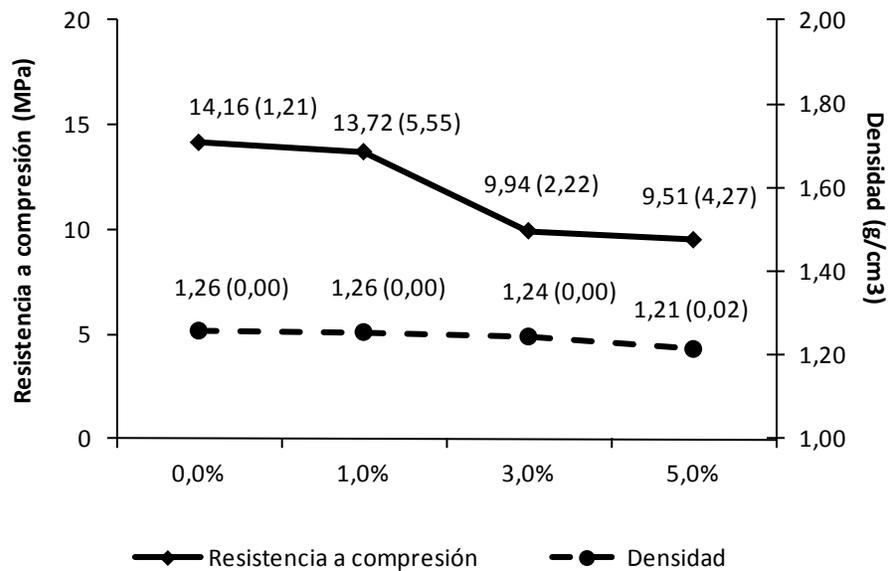
b)

Figura 2. Resistencias mecánicas: a) resistencia a flexo-tracción o densidad a igual consistencia vs. porcentaje de aditivo; b) resistencia a compresión o densidad a igual consistencia vs. porcentaje de aditivo

Figure 2. Mechanical strengths: a) flexural strength or density with same consistency vs. percent of admixture, b) compressive strength or density with same consistency vs. admixture percent



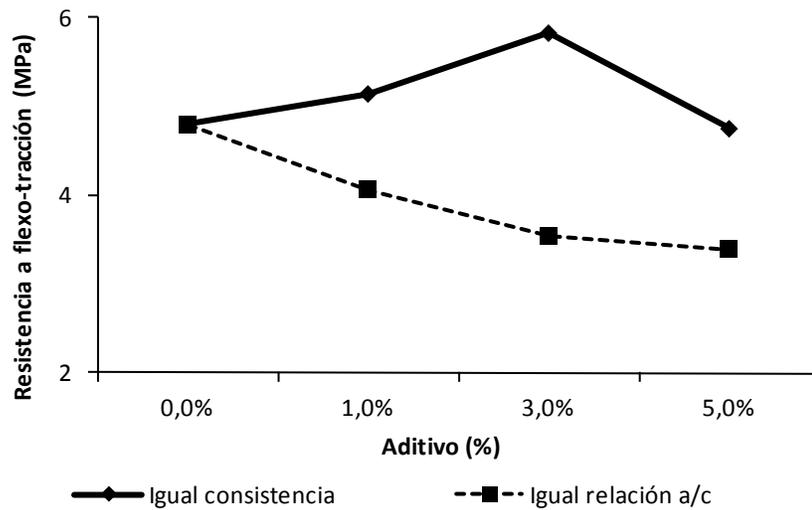
a)



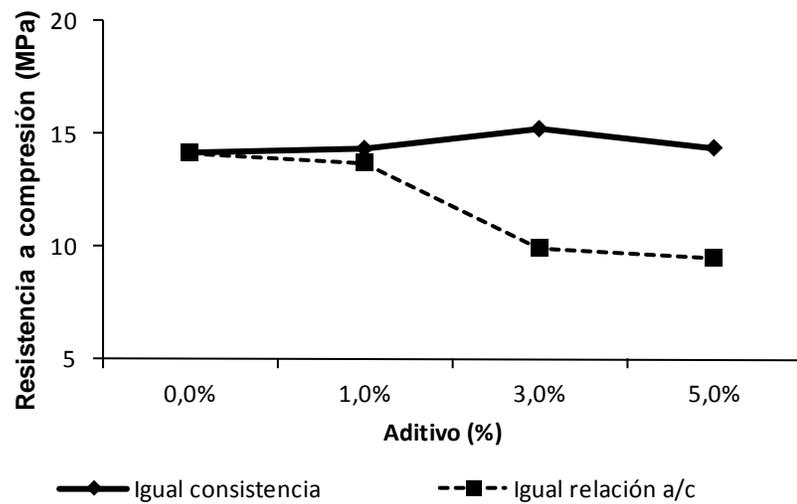
b)

Figura 5. Resistencia mecánica a flexo-tracción y compresión en pastas de yeso a igual relación a/y: a) resistencia a flexo-tracción a igual relación a/y; b) resistencia a compresión a igual relación a/y

Figure 3. Mechanical resistance to flexural and compressive strengths in plaster pastes with the same a/y ratio: a) resistance to flexural strength to the same a/y ratio and b) compressive strength to the same a/y ratio.



a)



b)

Figura 6. Resistencias mecánicas: a) comparación entre resistencia a flexo-tracción a igual consistencia e igual relación a/y; b) comparación entre resistencia a compresión a igual consistencia e igual relación a/y

Figure 4. Mechanical strengths: a) comparison between flexural strength with the same consistency and the same a/y ratio b) comparison between compressive strength with the same consistency and the same a/y ratio