

EFFECTO DEL FUEGO EN REVESTIMIENTOS DE YESO TRADICIONALES

FIRE EFFECT ON TRADITIONAL GYPSUM PLASTERS

Francisco José Castellón^a, Manuel Ayala^a y Marcos Lanzón^a

^aUniversidad Politécnica de Cartagena, Plaza Cronista Isidoro Valverde S/N, 30202, Cartagena.
franciscojose.castellon@upct.es, manuel.ayala@upct.es, marcos.lanzon@upct.es

How to cite: Francisco José Castellón, Manuel Ayala, y Marcos Lanzón. 2022. Efecto del fuego en revestimientos de yeso tradicionales. En libro de actas: II Simposio de Patrimonio Cultural ICOMOS España. Cartagena, 17 - 19 de noviembre de 2022. <https://doi.org/10.4995/icomos2022.2022.15820>

Resumen

El uso del yeso en el patrimonio arquitectónico ha sido muy variado, siendo muy importante su uso como material de revestimiento de otros elementos constructivos, ya que presenta importantes ventajas como transpirabilidad, adherencia, sensación de calidez y aislamiento térmico. Además, el yeso se considera un material excelente cuando se expone a fuego debido a que contiene agua en su composición química que hace que una cantidad importante de la energía térmica sea absorbida por el yeso reduciendo la transmisión de calor a los elementos que reviste y materiales cercanos. Es un material incombustible y no libera sustancias tóxicas por efecto del fuego. La cantidad de agua de amasado influye en las propiedades del yeso. A mayor relación agua/yeso (a/y) mayor trabajabilidad, menor densidad y menores resistencias. La influencia de la relación a/y en el efecto del fuego en revestimientos de yeso tradicionales no se conoce bien. El objetivo de este trabajo consiste en analizar el efecto que produce el fuego en revestimientos de yeso con diferente relación a/y, para lo cual se elaboraron probetas con relaciones 0.4 a/y y 0.7 a/y y se usaron medidas de temperatura con cámara termográfica y otras técnicas instrumentales (SEM, DRX y TG) para caracterizar la microestructura y composición de los yesos sometidos a la acción del fuego. En general, los estudios realizados no mostraron diferencias sustanciales entre las composiciones estudiadas si bien es cierto que el fuego produjo un considerable deterioro del conglomerante.

Palabras clave: yeso, revestimientos históricos, fuego, protección pasiva, deterioro.

Abstract

The use of gypsum in architectural heritage has been very varied, being very important its use as a coating material for other construction elements, since it has important benefits such as transpirability, adherence, warmth sensation and thermal insulation. In addition, gypsum is considered an excellent material when exposed to fire because it contains water in its chemical composition, which causes a significant amount of thermal energy to be absorbed by the gypsum, reducing heat transmission to the elements it covers and other nearby materials. Gypsum-based materials are non-combustible and do not release toxic substances due to the effect of fire. The amount of mixing water influences the properties of gypsum. The higher the water/gypsum (w/g) ratio, the higher the workability, the lower the density and the lower the strength. The influence of the w/g ratio on the effect of fire in traditional gypsum plasters is not well known. The objective of this work was to analyze the effect of fire on gypsum plasters with different w/g ratios, for which specimens with 0.4 w/g and 0.7 w/g ratios were prepared and temperature measurements with thermographic cameras and other instrumental techniques (SEM, XRD and TG) were used to characterize the microstructure and composition of gypsum plasters subjected to the action of fire. In general, the studies carried out did not show substantial differences between the studied compositions, although it is true that the fire produced a considerable deterioration of the binder.

Keywords: gypsum, heritage plasters, fire, passive protection, deterioration.

1. Introducción

El hombre utiliza como primeros materiales de construcción los que son relativamente fáciles de extraer de la naturaleza; piedra, madera y barro. Según indica Villanueva (2004) “La albañilería necesita un conglomerante adecuado para unir piezas y revestir paramentos. El yeso, por su facilidad de deshidratación parcial a baja temperatura, fue el candidato ideal para alcanzar este fin, convirtiéndose quizá en el primer material artificial.” (p. 6).

El uso del yeso a lo largo de la historia ha sido muy variado; guarnecidos (Catal-Huyuk IX milenio a.C.), moldeados (Jericó VI milenio a.C.), revocos y pasta de juntas (Pirámide de Keops, 2.800 a.C.), revestimientos de suelos y paredes y elementos singulares como el trono del rey Minos (Knossos, Creta 2.200 a.C.), estucos y guarnecidos (Grecia), trabajos en relieve (Roma clásica, Persia sasánida, árabes, estilo plateresco), piezas prefabricadas para construcción de arcos (ciudadela de Amman). Las yeserías son características del arte musulmán y tanto en el reino musulmán nazarí de Granada como en zonas cristianas como Aragón, Toledo y Sevilla, durante los siglos XIII al XV aparecen focos de gran interés (Villanueva, 1996). En París, en el siglo XIII, se utilizaba en revestimientos, forjados de pisos, en tabiquerías y chimeneas, incluso en excelentes revestimientos exteriores como los de la plaza de los Vosgos. La tradición del empleo en esta zona dio origen a la denominación "plaster of Paris". El estuco y la escayola aparecen durante el Renacimiento. En la actualidad, el uso del yeso ha quedado relegado al interior de los edificios.

El yeso es un material incombustible y un buen aislante térmico. El mecanismo que le confiere al yeso unas excelentes propiedades como elemento de protección pasiva frente al fuego se basa en su composición química ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$). Se trata de un material ignífugo por lo que no arde ni contribuye al fuego. Además, posee una elevada capacidad de absorción de energía térmica por evaporación de dos moléculas de agua de cristalización por cada molécula de yeso. Por tanto, dado que buena parte de esta energía se invierte en la evaporación del agua de cristalización, el yeso ralentiza el aumento de temperatura y protege los materiales subyacentes sobre los que se aplica. En el proceso de deshidratación, el agua se evapora gradualmente de yeso ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) a basanita ($\text{CaSO}_4 \cdot \frac{1}{2}\text{H}_2\text{O}$) y finalmente a anhidrita (CaSO_4). Es conocido que la cantidad de agua de amasado influye en las propiedades de los yesos. A mayor relación a/y, mayor será la porosidad del producto endurecido y menor será su densidad, influyendo por tanto en su microestructura (Lanzón & García-Ruiz, 2012; Zhang *et al.*, 2020). Además, la cantidad de agua de amasado afecta a las resistencias del yeso produciéndose una reducción a medida que aumenta la relación a/y (Andrews, 1948; Arredondo, 1991). Otras propiedades que se ven modificadas por efecto de la cantidad de agua de amasado son la densidad (Blachere, 1967; Collomb & Daligand, 1972; Collomb, 1974) y la dureza Shore C (Barriac, 1973), disminuyendo ambas conforme aumenta la relación a/y.

La influencia de la relación a/y en el efecto del fuego en revestimientos de yeso no se conoce bien. El objetivo de este trabajo consistió en analizar el efecto que produce el fuego en los revestimientos de yeso en función de su relación a/y.

2. Procedimiento experimental

2.1. Materiales

2.1.1. Yeso

Para la investigación se utilizó un yeso comercial ($\text{CaSO}_4 \cdot \frac{1}{2}\text{H}_2\text{O}$) suministrado por un fabricante local. Se trata de un yeso de construcción clasificado como B1 de acuerdo a la norma UNE-EN 13279-1 (2009). El material se suministra en sacos de papel de 17 kg y posee un índice de pureza del 90-92%.

2.2. Métodos

2.2.1. Amasado de las pastas de yeso, elaboración y curado de probetas

Para el amasado de las pastas de yeso se utilizó una amasadora planetaria automática de la marca Controls, en base a lo dispuesto en la Norma UNE-EN 196-1 (2018). Para la elaboración de todas las mezclas se utilizó agua de red.

Para la preparación de las probetas a ensayar se procedió según lo dispuesto en la Norma UNE-EN 13279-2 (2014). Se elaboraron probetas de 200mm x 200mm x 20mm para cada una de las composiciones. El relleno de moldes se realizó con la ayuda de una espátula para evitar la aparición de oquedades en las probetas. Se elevó 10 mm el molde desde su

extremo superior y se dejó caer para eliminar la aparición de burbujas de aire en el interior de las probetas. Este procedimiento se repitió cinco veces.

Las probetas se curaron durante 90 días en ambiente de laboratorio (23 ± 3 °C y $55\pm 10\%$ HR). Antes de realizar los ensayos, las probetas se mantuvieron en estufa a una temperatura de 40 °C hasta masa constante.

2.2.2. Ensayo de fuego

Para el desarrollo de los ensayos se expusieron las probetas a fuego directo a través de un soplete alimentado por gas propano. El soplete se ancló a un soporte móvil dotado de un recorrido graduado que se fue desplazando de forma consecutiva desde la posición 0 hasta la posición 5 y se mantuvo en cada posición 2, 3, 4, 5, 6 y 10 minutos respectivamente como muestra la Fig. 1. Las probetas se colocaron sobre un soporte de acero inoxidable y se aplicó el protocolo de fuego descrito anteriormente (Castellón *et al.*, 2022). La duración total de los ensayos de fuego fue de 30 minutos, registrándose imágenes termográficas de la cara no expuesta (CNE) con una cámara FLIR T400 para estudiar los mapas de perfiles de temperatura en dicha superficie. Las imágenes térmicas se registraron cada minuto con la cámara acoplada a un trípode en posición fija. Los ensayos de fuego se repitieron tres veces por composición (0.4 a/y y 0.7 a/y).

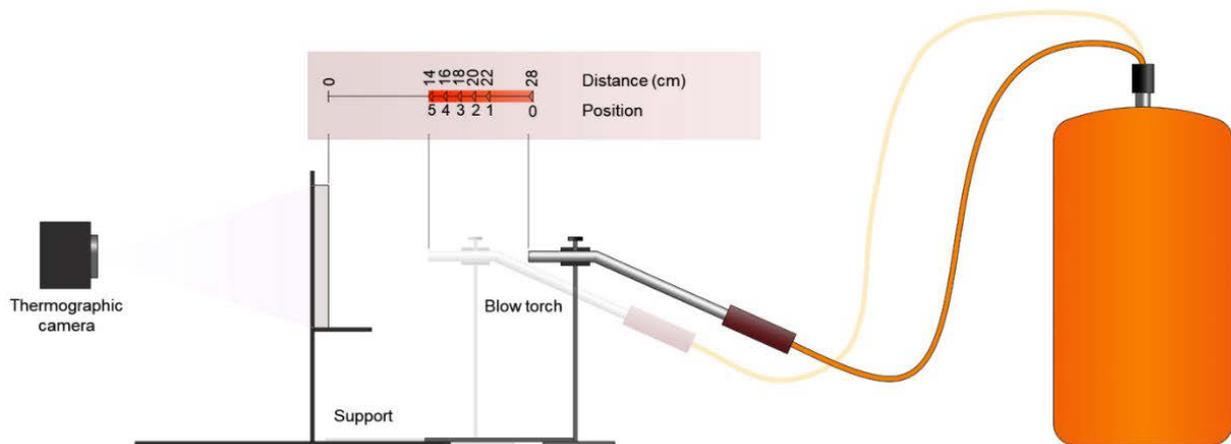


Fig. 1 Esquema componentes de ensayo de fuego

2.2.3. Análisis mediante microscopio de barrido electrónico (SEM)

Se obtuvieron imágenes SEM tanto de las muestras sin ensayar como de las ensayadas a fuego. En las probetas ensayadas a fuego se analizaron por SEM tanto la cara expuesta (CE) como la cara no expuesta (CNE). Para ello, se utilizó un microscopio de barrido electrónico Hitachi S-3500N con Electrones Retrodispersados (BSE) y la observación se llevó a cabo a un voltaje de 15 kV y un aumento de 2000.

2.2.4. Difracción de Rayos X (DRX)

El yeso ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) se transforma progresivamente por calentamiento en basanita ($\text{CaSO}_4 \cdot \frac{1}{2}\text{H}_2\text{O}$) y anhidrita (CaSO_4). Por lo tanto, la DRX proporciona información útil sobre la existencia de los minerales formados en función de la temperatura alcanzada en los yesos expuestos al fuego. Los análisis se realizaron en muestras sin ensayar a fuego y también en muestras extraídas de la CE y de la CNE de probetas ensayadas a fuego, tanto de 0.4 a/y como de 0.7 a/y. Las muestras se molieron suavemente en un mortero y las fases minerales se identificaron mediante la emisión de Rayos X de la línea K-alfa del Cu con un difractómetro de polvo Bruker D8 Advance para el análisis de polvo. El rango de ángulos de barrido seleccionado (2-theta) varió de 10° a 70° con una resolución de $0,05^\circ$.

2.2.5. Análisis térmico mediante Termogravimetría (TG)

Las muestras sin ensayar a fuego y las procedentes de la CE y CNE de los yesos sometidos al fuego se estudiaron mediante análisis TG para obtener información cuantitativa del grado de deshidratación de los minerales de $\text{CaSO}_4 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ presentes en los yesos. Las muestras se calentaron a 60 °C durante 24 horas para eliminar posibles restos de agua libre antes de realizar las mediciones de TG. Se utilizó un analizador termogravimétrico Mettler-Toledo TGA / DSC HT cuyo horno

horizontal permite variar la temperatura desde temperatura ambiente hasta 1600 °C con una precisión de $\pm 0,5$ °C. En el análisis se utilizaron crisoles de alúmina que contenían aproximadamente 10 mg de muestra, con una velocidad de calentamiento de 10 °C / min en atmósfera de N₂ a un caudal de 200 ml / min y O₂ a 50 ml / min.

3. Resultados y discusión

La transmisión de calor del yeso una vez fraguado y curado es mayor cuanto mayor es la densidad del mismo (UNE-EN 13279-1, 2009). Para el yeso 0.4 a/y se obtuvo una densidad aparente de 1.472 g/cm³ y para el yeso 0.7 a/y de 1.083 g/cm³. Se registraron temperaturas en la CNE mediante cámara termográfica durante los ensayos de fuego de 30 minutos. Las temperaturas máximas registradas (Fig. 2) fueron mayores para la relación 0.4 a/y que para la relación 0.7 a/y, salvo en el tramo final de los ensayos, donde las probetas con relación 0.7 a/y registraron generalmente temperaturas máximas ligeramente superiores a la relación 0.4 a/y, aunque las temperaturas medias mostraron valores inferiores (Fig. 3). La mayor porosidad del yeso 0.7 a/y podría ser la causa de una mayor alteración a largo plazo por exposición al fuego directo, aumentando así la difusión del calor en el tramo final de los ensayos desde la CE a la CNE.

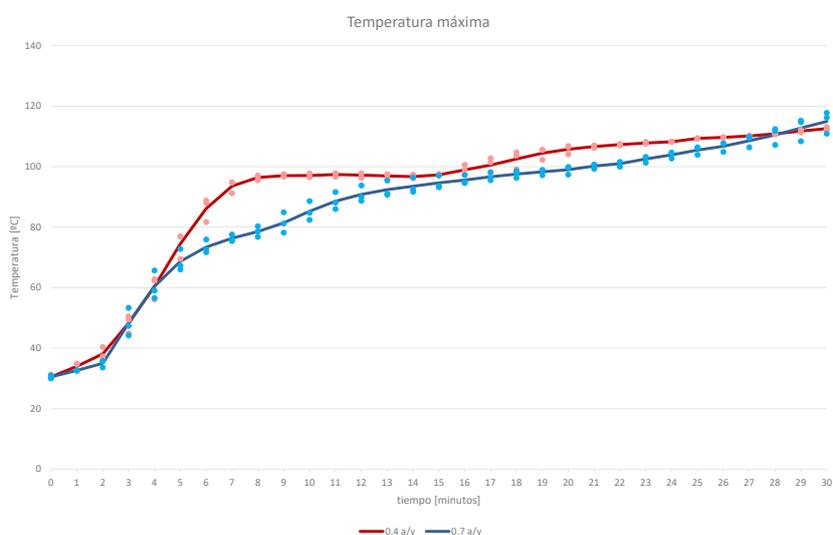


Fig. 2 Temperaturas máximas registradas en la CNE de probetas 0.4 a/y y 0.7 a/y

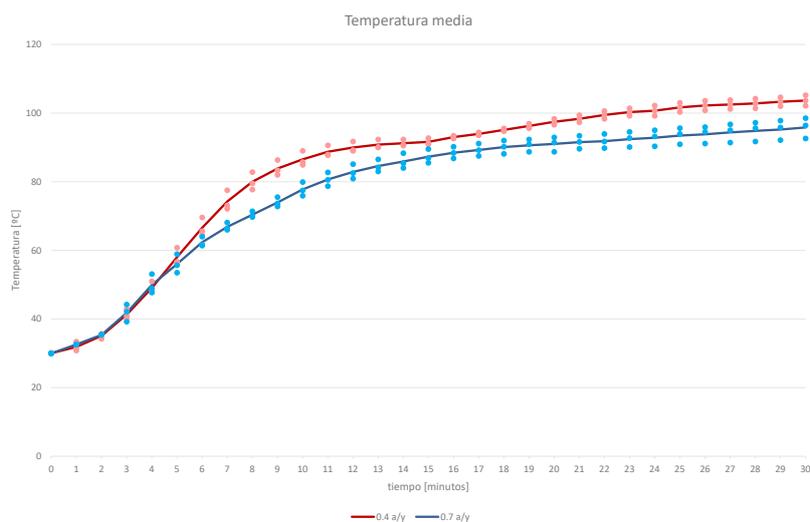


Fig. 3 Temperaturas medias registradas en la CNE de probetas 0.4 a/y y 0.7 a/y

La Fig. 4 muestra las imágenes obtenidas con la cámara termográfica al final del ensayo, es decir, transcurridos 30 minutos de exposición al fuego. Cada imagen contiene en la esquina superior derecha la composición de la probeta, y en la esquina

inferior derecha la temperatura máxima y la temperatura media registrada en la probeta. Estas imágenes muestran un mapa de temperatura de la CNE de varias probetas de yeso de 2 cm de espesor que podrían emplearse como revestimientos para protección pasiva de otros elementos constructivos y estructurales. Una vez finalizado el ensayo, se tomaron fotografías de la CE. La Fig. 5 muestra el mapa de fisuración de una probeta 0.4 a/y y de una probeta 0.7 a/y.

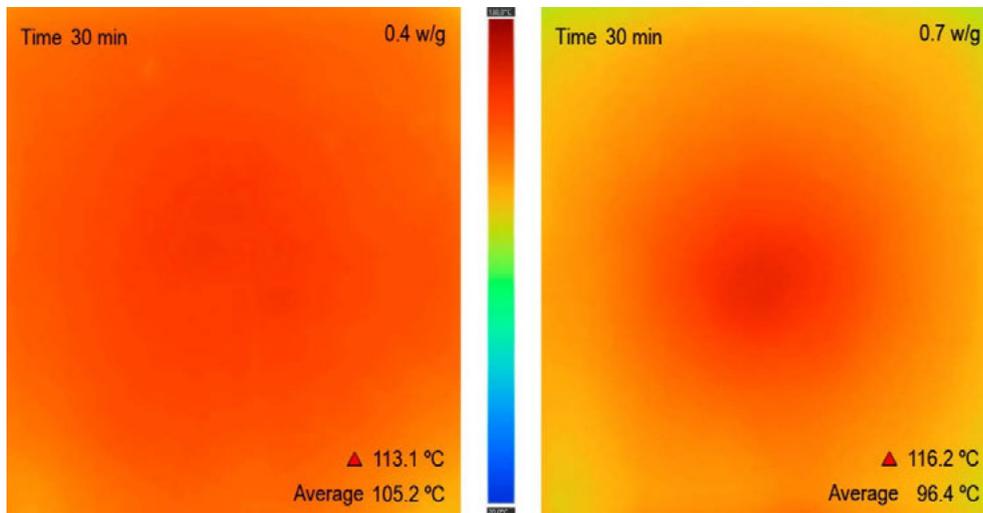


Fig. 4 Temperaturas registradas en CNE de probetas 0.4 a/y y 0.7 a/y tras ensayo de fuego de 30 minutos
(Rango de medición de temperatura de 20 °C a 130 °C)

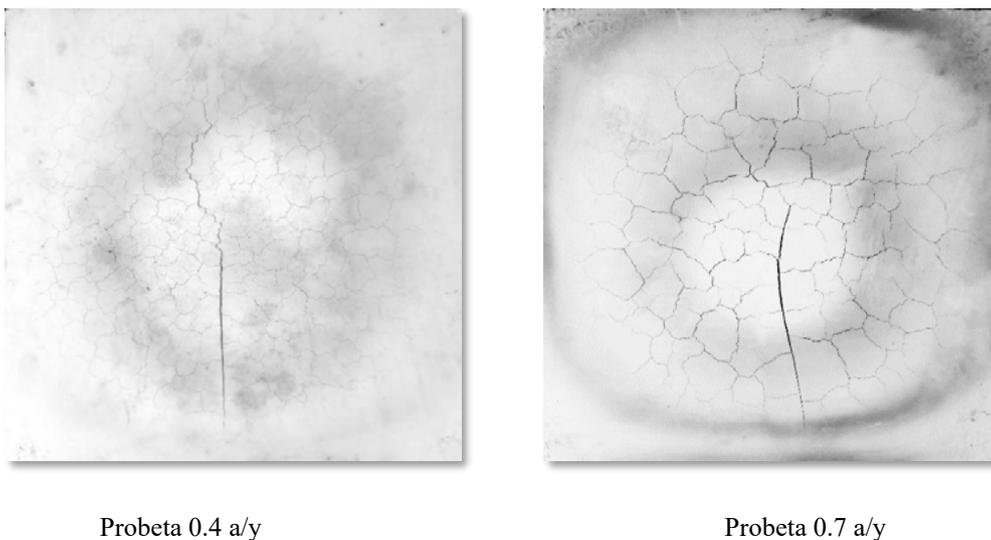
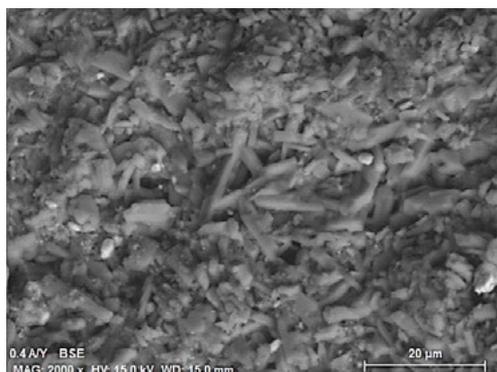


Fig. 5 Fisuración en CE de probetas de 0.4 a/y y 0.7 a/y tras ensayo de fuego de 30 minutos

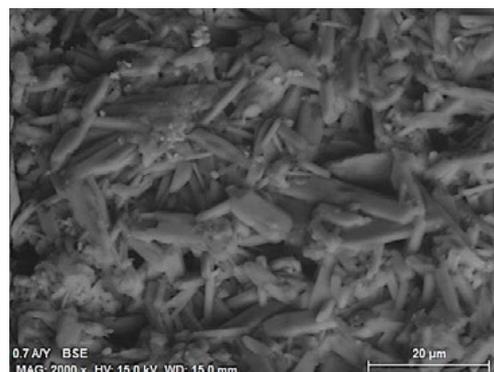
La relación que menos transmisión de calor experimentó en prácticamente todo el ensayo fue la 0.7 a/y. No obstante, en los minutos finales, debido a que probablemente su mayor porosidad produce una mayor alteración por exposición al fuego, se registraron temperaturas máximas algo mayores que para la relación 0.4 a/y, si bien la temperatura media fue inferior.

Como se puede observar, el patrón de fisuración difiere considerablemente, y responde de manera coherente a la distribución de calor mostrada por la cámara termográfica en la superficie de la probeta (Fig. 5). La probeta que tiene mayor relación a/y presenta menor cantidad de fisuras, pero más anchas que las que aparecen en la probeta que tiene menor relación a/y. Este hecho podría justificar también que aparezcan temperaturas mayores en la zona central de la probeta al final del ensayo para la relación 0.7 a/y.

Se observaron mediante microscopio de barrido electrónico (SEM) las muestras sin ensayar y las ensayadas a fuego, tanto por la CE como por la CNE (Fig. 6)



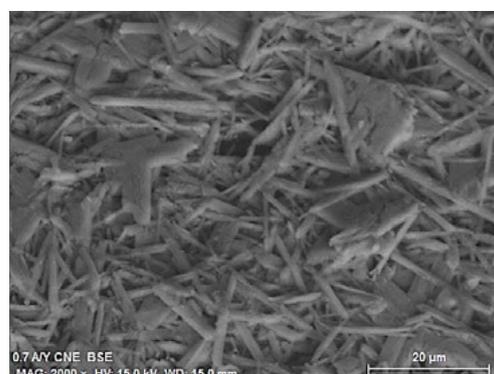
a. Sin ensayar a fuego. 0.4 a/y



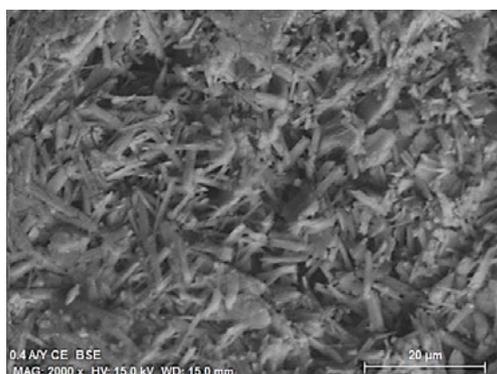
b. Sin ensayar a fuego. 0.7 a/y



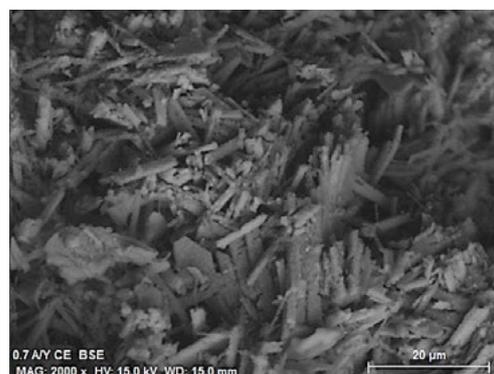
c. 30 min. exposicion al fuego. (CNE) 0.4 a/y



d. 30 min. exposicion al fuego. (CNE) 0.7 a/y



e. 30 min. exposicion al fuego. (CE) 0.4 a/y



f. 30 min. exposicion al fuego. (CE) 0.7 a/y

Fig. 6 Imágenes SEM de muestras 0.4 a/y y 0.7 a/y sin ensayar y ensayadas a fuego 30 minutos (CNE y CE)

Como se puede observar, en las muestras sin ensayar a fuego no se aprecian grandes diferencias entre las dos composiciones, salvo la presencia de cristales peor definidos en la muestra 0.4 a/y (Fig 6a y 6b). En las muestras ensayadas a fuego correspondientes a la CNE, los cristales de yeso son aun perfectamente reconocibles (Fig. 6c y 6d). Este resultado es coherente con los registros de temperatura obtenidos mediante la cámara termográfica, ya que la temperatura media de las probetas no superó los 110 °C. Por último, la microestructura de las muestras procedentes de la CE, revela grandes diferencias respecto a las anteriores (Fig. 6e y 6f). En primer lugar, se aprecian hábitos cristalinos distintos que sugieren formación de cristales relacionados con el yeso como anhidrita, debido a las elevadas temperaturas alcanzadas en le CE

por efecto del fuego, muy superiores a la deshidratación completa del yeso. Además, algunos cristales muestran marcas o indicios de fisuras como resultado del estrés térmico de los revestimientos expuestos a fuego, especialmente en las muestras 0.7 a/y.

Del análisis de los resultados de Difracción de Rayos X (DRX) se desprende que una vez curado y antes de ser ensayado a fuego, el yeso es rico en sulfato cálcico dihidratado ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) con pequeñas cantidades de basanita ($\text{CaSO}_4 \cdot \frac{1}{2}\text{H}_2\text{O}$) y anhidrita (CaSO_4) (Fig. 7a y 7b). En la CNE se aprecia un notable aumento de la señal de basanita con respecto a la situación de partida, lo que confirma el inicio de una leve alteración térmica del revestimiento (Fig. 7c y 7d). De hecho, el aumento de la señal de basanita va acompañado de un pequeño descenso de la señal del mineral yeso. Los resultados obtenidos en las muestras procedentes de la CE indican que tras 30 minutos de exposición al fuego, la práctica totalidad del yeso se convirtió en anhidrita (Fig. 7e y 7f).

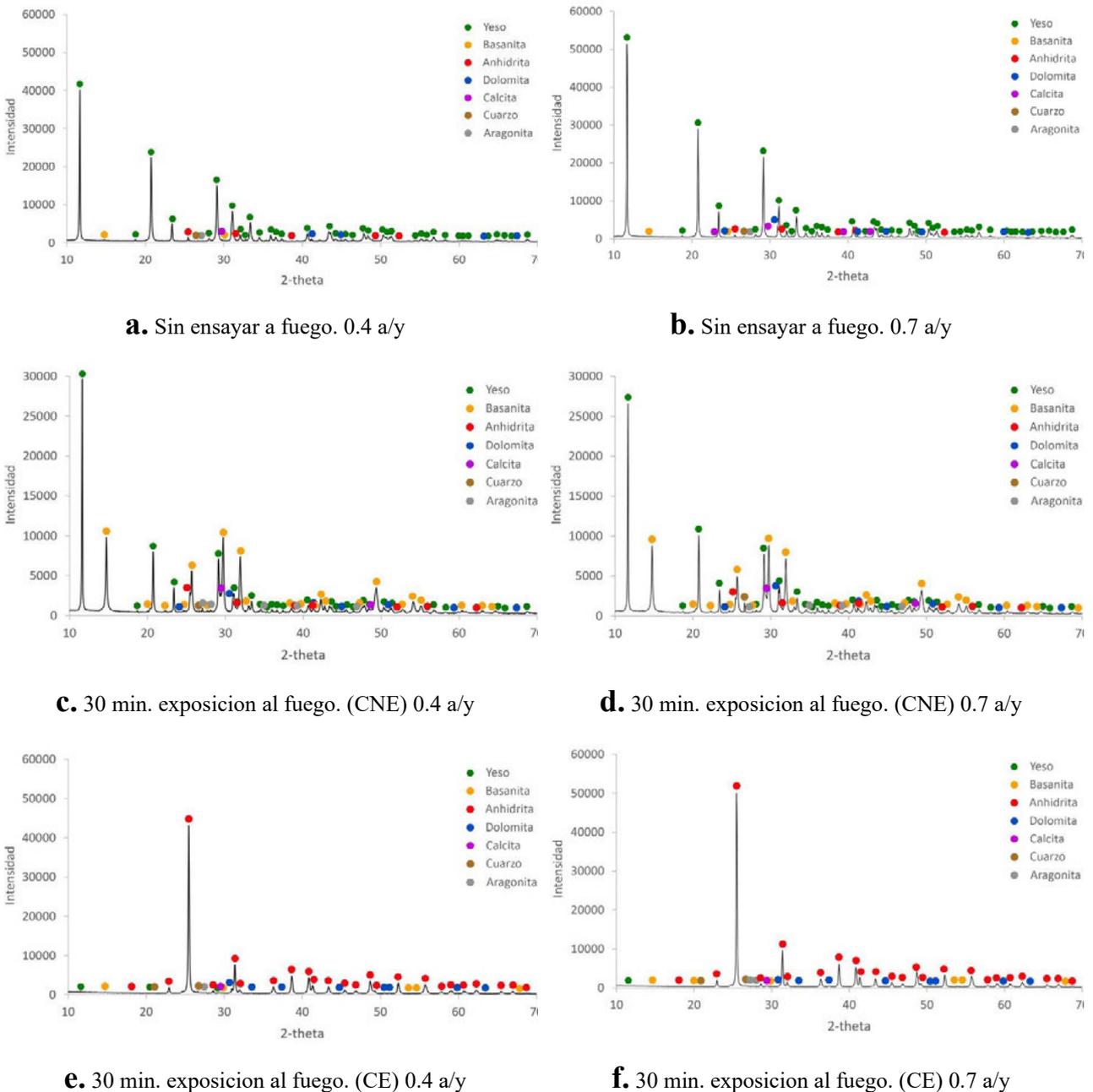


Fig. 7 DRX de muestras 0.4 a/y y 0.7 a/y sin ensayar y ensayadas a fuego 30 minutos (CNE y CE)

Por último, se realizó un análisis termogravimétrico (TG) de muestras sin ensayar y ensayadas a fuego, procedentes tanto de la CE como de la CNE. Este estudio permite analizar el nivel de hidratación de los yesos en función del grado de exposición a fuego (Gutiérrez-González *et al.*, 2012).

En muestras no sometidas a fuego (Fig. 8) los resultados obtenidos indican que, en el estado inicial, la primera pérdida de masa, alrededor de 130 °C, corresponde al paso de yeso dihidrato ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) a basanita ($\text{CaSO}_4 \cdot \frac{1}{2}\text{H}_2\text{O}$) y finalmente anhidrita (CaSO_4). Ambos procesos ocurren a temperaturas próximas y, por tanto, se manifiestan como un proceso único de pérdida de agua en el termograma. El estudio mediante TG de las muestras confirmó que el primer escalón, atribuido al agua de cristalización, es muy parecido en las muestras elaboradas con relaciones a/y 0.4 y 0.7. Ambas líneas son prácticamente análogas pues las variaciones porcentuales son equiparables para todos los rangos de temperatura. La segunda y tercera pérdida de masa de todos los termogramas corresponde a la descomposición térmica de carbonatos (calcita) en óxido de calcio y dióxido de carbono en torno a 650-700 °C y a la descomposición de anhidrita (CaSO_4) en óxido de calcio y óxido de azufre a temperaturas entre 1300-1350 °C.

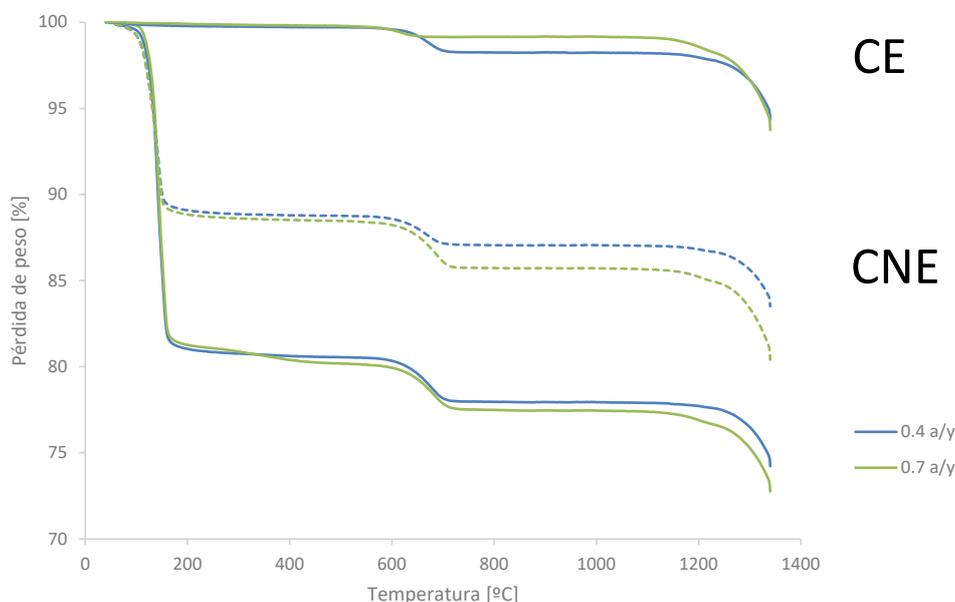


Fig. 8 TG de muestras 0.4 a/y y 0.7 a/y sin ensayar y ensayadas a fuego 30 minutos (CNE y CE)

En los termogramas resultantes de la CNE, transcurridos 30 minutos de ensayo, también se aprecian los tres escalones anteriormente descritos (Fig. 8). De nuevo, la primera pérdida de masa fue bastante similar para las dos composiciones.

Otra vez, los resultados fueron muy distintos en la CE. Transcurridos 30 minutos de ensayo, se destruyó prácticamente todo el yeso originalmente presente en la muestra pues desaparece casi por completo la pérdida de masa asociada al agua de cristalización del yeso ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) y basanita ($\text{CaSO}_4 \cdot \frac{1}{2}\text{H}_2\text{O}$). Por tanto, los resultados de DRX y TG confirman una transformación prácticamente cuantitativa de fases, total o parcialmente hidratadas del sulfato cálcico en anhidrita (CaSO_4).

4. Conclusiones

Los resultados obtenidos y la metodología propuesta pueden tener interés en el análisis de revestimientos históricos de yeso que hayan sufrido la acción del fuego. Los patrones de fisuración y las analíticas realizadas pueden dar mayor información sobre la confección de los materiales y el grado de afección del fuego, disponiendo así de mayor criterio para la intervención en patrimonio.

La metodología desarrollada utiliza técnicas instrumentales para determinar el efecto del fuego en la composición de los yesos. No obstante, la clasificación de la resistencia al fuego de los yesos o su contribución al fuego, tal como se define en las normas internacionales, queda fuera del alcance del presente estudio.

La relación que menos transmisión de calor experimentó en prácticamente todo el ensayo fue la 0.7 a/y. No obstante, en los minutos finales, debido a que probablemente su mayor porosidad produce una mayor alteración por exposición a fuego, se registraron temperaturas máximas algo mayores que para la relación 0.4 a/y, si bien las temperaturas medias fueron menores en todo el ensayo.

El patrón de fisuración generado por estrés térmico en las dos composiciones difiere considerablemente. La probeta 0.7 a/y presentó menor cantidad de fisuras, pero de mayor anchura que la probeta 0.4 a/y, hecho que podría estar relacionado con que las temperaturas en los minutos finales del ensayo fueran superiores en 0.7 a/y.

En general, los estudios realizados por SEM, DRX y TG no mostraron diferencias sustanciales entre las dos composiciones. No obstante, el análisis de los resultados pone de manifiesto que la propagación del calor desde la cara expuesta (CE) hasta la cara no expuesta (CNE) produjo un considerable deterioro del conglomerante.

Referencias

- Andrews, H. (1948). Gypsum and anhydrite plasters. *National Building Studies Bulletin*, n° 6, H.M.S.O.
- Arredondo, F. (1991). *Yesos y cales*. Madrid: Revista Obras Públicas. E.T.S. Ingenieros de Caminos. Servicio de Publicaciones.
- Barriac, P. (1973). Medida de la dureza de los yesos, en laboratorio y en obra. Ponencia en la XXII Sesión de la Comisión Científico-técnica de Eurogypsum. Stuttgart. *Boletín Informativo del Yeso*, n° 12.
- Blachere, G. (1967). *Saber construir*. Barcelona: Editores técnicos asociados, S.S.
- Castellón, F., Ayala, M., & Lanzón, M. (2022). Influence of tire rubber waste on the fire behavior of gypsum coatings of construction and structural elements. *Materiales de Construcción* 72 [345], e275. <https://doi.org/10.3989/mc.2022.06421>.
- Collomb. (1974). Las propiedades del yeso con respecto al aislamiento acústico. *Boletín Informativo del Yeso*, n° 14.
- Collomb, & Daligand. (1972). Comunicación a la Comisión Científico-técnica de Eurogypsum. Lyon. 1971. *Boletín Informativo del Yeso*, n° 4.
- Gutiérrez-González, S., Gadea, J., Rodríguez, A., Junco, C., & Calderón, V. (2012). Lightweight plaster materials with enhanced thermal properties made with polyurethane foam wastes. *Construction and Building Materials* 28, 653-658. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2011.10.055>.
- Lanzón, M., & García-Ruiz, P. (2012). Effect of citric acid on setting inhibition and mechanical properties of gypsum building plasters. *Construction and Building Materials* 28, 506-511. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2011.06.072>.
- UNE-EN 13279-1. (2009). Yesos de construcción y conglomerantes a base de yeso para la construcción. Parte 1: Definiciones y especificaciones. *AENOR*.
- UNE-EN 13279-2. (2014). Yesos de construcción y conglomerantes a base de yeso para la construcción. Parte 2: Métodos de ensayo. *AENOR*.
- UNE-EN 196-1. (2018). Métodos de ensayo de cementos. Parte 1: Determinación de resistencias. *AENOR*.
- Villanueva, L. (1996). *Yserías españolas. Propuesta de tipología histórica*. I Congreso Nacional de Historia de la Construcción, Madrid.
- Villanueva, L. (2004). Evolución histórica de la construcción con yeso. *Informes de la construcción* 56, 5-11. <https://doi.org/10.3989/ic.2004.v56.i493.434>.
- Zhang, Y., Yang, J., & Cao, X. (2020). Effects of several retarders on setting time and strength of building gypsum. *Construction and Building Materials* 240. 117927. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.117927>.