



Received: 13/06/2021

Accepted: 25/06/2021

Anales de Edificación

Vol. 7, Nº2, 13-20 (2021)

ISSN: 2444-1309

Doi: 10.20868/ade.2021.4898

Estudio Experimental sobre las Propiedades de los Morteros de Cemento y Chamota

Experimental Study on the Properties of Cement and Chamotte Mortars

Daniel Ferrández Vega^a; Alicia Zaragoza Benzal^a; Alberto Morón Barrios^a & Jorge Pablo Diaz Velilla^b

^a Departamento de Tecnología de la Edificación, Universidad Politécnica de Madrid. Avenida Juan de Herrera, 6, 28040, Madrid, España. E-mails: daniel.fvega@upm.es; alicia.zaragoza@alumnos.upm.es; amoroncsb@gmail.com

^b Departamento de Ingeniería de Organización, Administración de Empresas y Estadística, Universidad Politécnica de Madrid. Campus de Montegancedo, 28040 Madrid, España. E-mail: jdiaz@salesianoscarabanchel.com

Abstract— El creciente agotamiento de los recursos naturales y el aumento de la actividad industrial está llevando al sector de la construcción hacia la búsqueda de nuevos materiales más respetuosos con el medio ambiente. En este trabajo se ha realizado una campaña experimental para conocer las propiedades físicas y mecánicas de los morteros de cemento elaborados con chamota, con la intención de estudiar su viabilidad técnica en comparación con los morteros elaborados con árido natural. Los resultados muestran como el empleo de los residuos cerámicos triturados como sustitución del árido natural para la fabricación de morteros es viable. No obstante, las resistencias mecánicas finales de los morteros se ven reducidas al emplear áridos reciclados, así como, se presentan unas peores propiedades físicas que podrían limitar el empleo de estos morteros en obra.

Palabras Clave — Mortero de cemento, chamota, reciclaje, propiedades físico-mecánicas.

Abstract— The growing depletion of natural resources and the increase in industrial activity is leading the construction sector to search for new materials that are more respectful of the environment. In this work, an experimental program has been carried out to know the physical and mechanical properties of cement mortars made with chamotte, with the intention of studying its technical feasibility in comparison with mortars made with natural aggregate. The results show how the use of crushed ceramic waste as a substitute for natural aggregate for the manufacture of mortars is viable. However, the final mechanical resistance of the mortars is reduced when using recycled aggregates from chamotte, as well as worse physical properties that could limit the use of these mortars on site.

Index Terms— Cement mortar, chamotte, recycling, physical-mechanical properties.

D. Ferrández; A. Zaragoza y A. Morón son investigadores pertenecientes al Departamento de Tecnología de la Edificación de la ETSEM. Desarrollan su investigación en el campo de los nuevos materiales de construcción con incorporación de Residuos de Construcción y Demolición y en el ámbito de las nuevas tecnologías aplicadas a la edificación. Pertenecen al Grupo de Investigación en Monitorización e Innovación Tecnológica en Edificación.

J. P. Diaz es investigador del Grupo de Investigación en Monitorización e Innovación Tecnológica en Edificación y profesor de la ETSIINF. Actualmente, desarrolla su investigación en el campo de las energías renovables y la gestión de los recursos naturales para una edificación más sostenible. Es profesor del Departamento de Ingeniería de Organización, Administración de Empresas y Estadística de la UPM.

I. INTRODUCCIÓN

ESTE trabajo tiene como objetivo estudiar la viabilidad técnica de los morteros de cemento elaborados con áridos cerámicos procedentes de residuos de ladrillos de construcción, de tal forma que se realice una caracterización de las propiedades físicas y mecánicas más relevantes de estos materiales en aras de potenciar el reciclaje de estos productos de desecho tradicionalmente conocidos como chamota.

La generación de residuos y el agotamiento de las fuentes de recursos naturales es un tema de gran preocupación a nivel mundial (Shooshtarian, et al., 2022). Entre los años 1900 y 2010 se produjo un aumento de la tasa global de generación de residuos sólidos de 0.3 Mt/día a 3.5 Mt/día, y, según las fuentes actuales, las cifras obtenidas en 2010 se verían duplicadas en 2025 y triplicadas en 2100 (Hoornweg and Bhada-Tata, 2012). Esto ha llevado a la sociedad actual a plantearse la necesidad de cambiar el modelo de consumo actual, evolucionando hacia la aplicación de la hoy conocida como economía circular. Este modelo implica incorporar bucles cerrados en los ecosistemas industriales, aplicando el principio de las 3R (reducir-reutilizar-reciclar) y evitando la generación masiva de desechos, para convertir estos residuos generados en nuevos recursos dentro del proceso productivo (Zang, et al., 2022).

La industria de la construcción produce a nivel mundial más de 10 mil millones de toneladas de Residuos de Construcción y Demolición (RCD) anualmente (Liu, et al., 2021). En el caso concreto de la Unión Europea (UE), los RCD suponen cerca del 35% del volumen total de residuos generados según fuentes del EUROSTAT, superando al resto de actividades industriales desarrolladas en la UE (Cristiano, et al., 2021). Esto ha llevado a los países de la UE a marcar una firme línea de actuación que viene recogida en el “European Green Deal” presentado por la Comunicación de la Comisión del 11 de diciembre de 2019 (Lozano-Cutanda y Alli.Turrillas, 2020). En este documento se incluyen entre otras líneas de actuación, la necesidad de realizar un uso eficiente de los recursos en la construcción, así como, garantizar que se produzcan menos residuos, lo que se encuentra en línea con el objetivo marcado por la Directiva 2009/98/CE para la prevención y recuperación de los RCD.

Por este motivo, son varios los investigadores que en las últimas décadas han apostado por el reaprovechamiento de los RCD para elaborar nuevos materiales de construcción sostenibles y más respetuosos con el medio ambiente. Y es que, la generación de este tipo de residuos conlleva la ocupación de grandes volúmenes de espacio en vertederos que repercuten en la acidificación de los terrenos (Mahpour, 2018), generando un fuerte impacto visual (Ma et al., 2014) y siendo una fuente de preocupación para el conjunto de la población (Li et al., 2018). Sin embargo, en su mayoría, los RCD pueden ser clasificados como inertes o no peligrosos, lo cual facilita su tratamiento y posterior recuperación (Villoria et al., 2015)). En este sentido, una de las principales vías de recuperación ha sido la trituración y molienda de los RCD para generar áridos reciclados (Saiz, 2016), lo cual tiene una gran importancia a nivel mundial siendo la arena el segundo recurso más consumido en el planeta.

La trituración de ladrillos y productos cerámicos trae consigo

la obtención de un material pulverulento denominado chamota, que ha sido empleado desde la antigüedad para modificar las propiedades hidráulicas de determinados conglomerantes como la cal (Cortina y Villanueva, 2001). Este residuo cerámico puede ser empleado como sustitución parcial o total de los áridos empleados para la fabricación de morteros de albañilería.

En términos generales, los áridos reciclados se caracterizan por tener determinadas propiedades físicas y químicas que los diferencian de los áridos naturales, tales como: poseer una mayor capacidad de absorción de agua (Xu, et al., 2022), una menor densidad y un mayor contenido en partículas finas (Ngoc-Tra, et al., 2021), además de poder incorporar impurezas procedentes de restos de conglomerantes adheridos a su superficie (Ray, et al., 2021). Estas propiedades repercuten en el proceso de fabricación de los morteros que incorporan este tipo de áridos, ya que para obtener una consistencia plástica será necesario incorporar una mayor cantidad de agua de amasado o recurrir al empleo de aditivos superplastificantes (Morón, et al. 2021). Esto hace que una de las principales aplicaciones de los áridos reciclados sea la de servir como material de relleno y de aplicación en la ejecución de autovías y carreteras (Agrela et al., 2020).

Así pues, los morteros elaborados con áridos reciclados se caracterizan, en comparación con los morteros tradicionales elaborados con árido natural, por tener las siguientes propiedades: menores resistencias mecánicas a flexión y compresión, así como, una menor densidad (Wu, et al., 2022), mayor retracción durante el fraguado (Morón et al., 2017), mayor absorción de agua por capilaridad y, en general, una menor durabilidad ante los ciclos de hielo-deshielo y cristalización de sales (Morón et al., 2021). Por estos motivos, este tipo de materiales de construcción son empleados generalmente para la elaboración de prefabricados de construcción, tales como aplacados y elementos no estructurales (Zairul, 2021). Sin embargo, la apuesta creciente por la recuperación de los RCD y su reincorporación al proceso productivo ha impulsado nuevas investigaciones que permiten mejorar las prestaciones de los materiales de construcción que incorporan estas materias primas en su composición (Xiao, et al. 2021). Y es que no cabe duda, de que el futuro del sector de la edificación pasa por una modificación hacia la aplicación de nuevas técnicas y materiales más sostenibles, y el esfuerzo de técnicos e investigadores cada vez más tiende a encaminarse en esta línea.

Por lo tanto, la motivación principal para realizar esta investigación es conocer el comportamiento de los morteros de cemento con sustitución del 100% del árido natural por chamota. Para ello, se ha llevado a cabo una caracterización física y mecánica evaluando algunas de las propiedades más relevantes de los morteros de albañilería, las cuales condicionan la posterior aplicación de estos materiales. De forma que este estudio pueda servir como referencia a futuros investigadores interesados en el campo de los nuevos materiales y la recuperación de RCD para su uso en la edificación.

II. METODOLOGÍA

A. Materiales Empleados

Para la realización de este trabajo se han empleado las siguientes materias primas en la fabricación de los morteros: cemento, arena natural, chamota y agua.

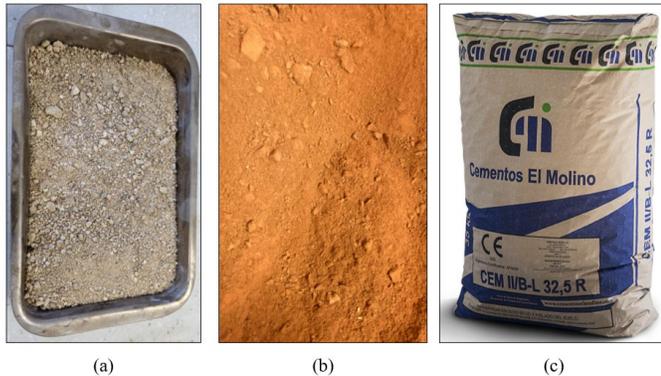


Fig. 1. Materiales empleados en la investigación. (a) árido natural; (b) chamota; (c) CEM II/B-L – 32.5 N.

1) Cemento

El conglomerante hidráulico empleado en este trabajo ha sido el CEM II/B-L – 32.5 N. Se trata de un tipo de cemento que está compuesto principalmente por Clinker, caliza y hasta un 5% de adiciones, según la clasificación realizada por la instrucción RC-08. Este tipo de cemento es muy empleado en obra por motivos económicos y por sus buenas prestaciones técnicas (Saiz, 2015).

2) Áridos

Para la realización de este trabajo se ha empleado árido natural comúnmente utilizado en la fabricación de morteros y chamota procedente de la trituración de residuos de piezas de ladrillo cerámico. Las características físicas más relevantes de estos áridos recogen en la Tabla I.

TABLA I
PROPIEDADES FÍSICAS DE LOS ÁRIDOS EMPLEADOS

Propiedad	Arena Natural	Chamota
Contenido en Finos (%) UNE EN 933-1	1.29	5.87
Módulo de finura (%) UNE-EN 13139	4.36	4.02
Friabilidad UNE-EN 146404	20.56	25.34
Densidad Aparente (kg/m ³) UNE-EN 1097-3	1569.2	1227.4
Absorción de agua (%) UNE-EN 1097-6	0.97	9.22

Como se puede apreciar en la Tabla I, los áridos cerámicos o chamota, presentan un mayor coeficiente de absorción de agua en comparación con el árido natural, lo que repercutiría en una mayor demanda de agua de amasado (Jiménez et al., 2013). Lo anterior, unido a la menor densidad de los áridos cerámicos y su mayor contenido en finos tendrá su repercusión negativa en la resistencia a compresión de los morteros finalmente elaborados con estas materias primas (López et al., 2017).

Por su parte, se han obtenido también las curvas granulométricas para ambas tipologías de áridos. En todos los casos se ha buscado obtener una granulometría continua, con el objetivo de mejorar la docilidad de los morteros y la mayor compacidad de las muestras endurecidas. Para ello, se han empleado series de tamices normalizados según la norma UNE-EN 933-2, cuya apertura de malla se encuentra comprendida entre los 4.000 y los 0.063 mm. Los resultados obtenidos se muestran en la Figura 2.

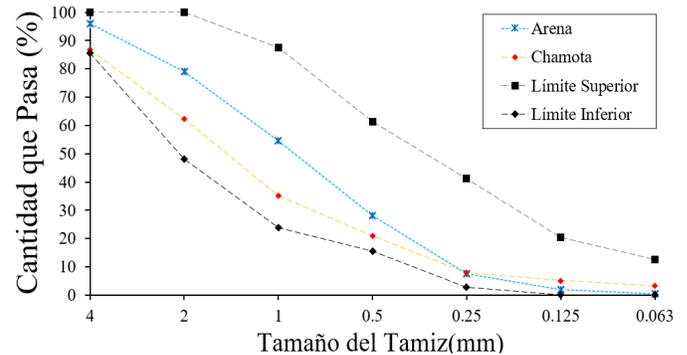


Fig. 2. Distribución de las curvas granulométricas para los áridos comparadas con los límites incluidos en la NBE FL-90 y adaptados a las series incluidas en la norma UNE-EN-933-2.

3) Agua

Para el amasado de las diferentes dosificaciones se ha empleado agua potable proveniente del Canal de Isabel II (Madrid, Spain), la cual ha sido utilizada con éxito en otros trabajos previos. Las principales características de este tipo de agua son su dureza media (25 mg CaCO₃/l) y su pH neutro comprendido entre 7 and 8 (Canal de Isabel II, 2012).

B. Dosificaciones

Para la realización de este trabajo se han empleado las siguientes dosificaciones recogidas en la Tabla II.

TABLA II
DOSIFICACIONES EMPLEADAS EN EL ESTUDIO

Mortero	Cemento (g)	Arena (g)	Chamota (g)	Agua (g)
AN – 1:3	450.0	1350	-	270.0
AN – 1:4	337.5	1350	-	229.5
C – 1:3	450.0	-	950	405.0
C – 1:4	337.5	-	950	331.0

Como se puede apreciar en la Tabla II el peso de chamota es inferior al de arena natural debido a la diferencia en la densidad entre ambos materiales para obtener un volumen equivalente de mortero. En cualquier caso, todas las amasadas fueron elaboradas con las mismas técnicas y métodos siguiendo las recomendaciones de la norma UNE-EN 196-1, y hasta alcanzar una consistencia plástica de 175 ± 10 mm según la norma UNE-EN 1015-2: 2007. Se aprecia también con los morteros elaborados con árido cerámico tienen una mayor demanda de agua de amasado para obtener una consistencia similar a los morteros tradicionales.

C. Programa Experimental

Para la realización de este trabajo se han llevado a cabo los siguientes ensayos de caracterización de los materiales.

1) Ensayos de caracterización mecánica

Para conocer las propiedades mecánicas de los morteros de han realizado ensayos de resistencia a flexión y de resistencia a compresión siguiendo las recomendaciones de la norma UNE-EN 101511:2000/A1:2007. Estos ensayos se han realizado sobre probetas prismáticas de 4 x 4 x 16 cm, empleando seis muestras de cada tipo de mortero y una prensa de AUTETEST 200-10SW. Además, para ayudar a completar la discusión de los resultados se han tomado imágenes de la matriz de mortero con ayuda de un microscopio digital LED modelo 1600x coolingtech.,

2) Ensayos de caracterización física

Cuatro ensayos de caracterización física han sido realizados en esta investigación. En cada ensayo se han ensayado un mínimo de seis muestras de cada tipo:

- ✓ Dureza superficial Shore D, en probetas prismáticas de 4 x 4 x 16 cm de acuerdo con la norma UNE-EN 1015-12:2016.
- ✓ Densidad aparente de los morteros medida en muestras de 4 x 4 x 16 cm de acuerdo con la norma UNE-EN 1015-12:2016.
- ✓ Absorción de agua por capilaridad en semiprobetas de 4 x 4 x 16 cm de acuerdo con la norma UNE-EN 1015-18.
- ✓ Resistencia a la adhesión sobre superficies cerámicas, realizado sobre muestras de mortero aplicadas sobre un rasillón cerámico y realizando un ensayo de tracción directa sobre discos de mortero de 50 mm de diámetro de acuerdo con la norma UNE-EN 1015-12:2016.

3) Ensayos de durabilidad

Finalmente, para conocer el comportamiento de los morteros a lo largo del tiempo se han realizado dos ensayos complementarios de durabilidad:

- ✓ Determinación de la retracción durante el fraguado en probetas de 25 x 25 x 287 mm teniendo en cuenta las recomendaciones de la norma UNE 8011289.
- ✓ Resistencia a los ciclos de hielo-deshielo en probetas de 4 x 4 x 16 cm, realizando el ensayo adaptado de la norma UNE-EN 12371 para piedra natural.

III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En este apartado se presentan los resultados obtenidos para los distintos ensayos realizados en este trabajo.

A. Ensayos de caracterización mecánica

En este apartado se muestran los resultados obtenidos para la resistencia a flexión (Figura 3) y compresión (Figura 4) de los morteros de cemento elaborados. Estas resistencias mecánicas suponen un condicionante a la hora de determinar la aplicación final de los morteros de albañilería. Así pues, una elevada resistencia a flexión mejora comportamiento de estos materiales al ser aplicados como revestimientos de fachadas, aumentando su capacidad de absorción de las deformaciones (Rossel y Cantalapedra, 2011). Por su parte, unas mayores resistencias a compresión posibilitarán la aplicación de estos materiales en la ejecución de muros de fábrica.

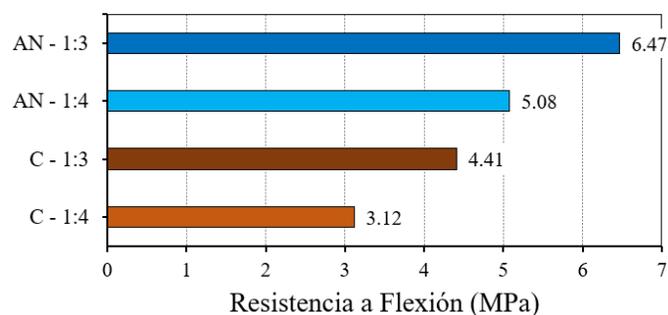


Fig. 3. Resultados del ensayo de resistencia a flexión.

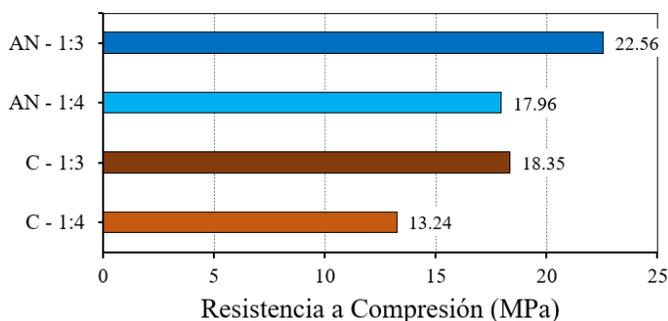


Fig. 4. Resultados del ensayo de resistencia a compresión.

Como se puede apreciar en la Figura 3, la resistencia a flexión de los morteros tradicionales es superior para ambas ratios cemento/árido a la obtenida por los morteros fabricados con chamota. Estos resultados se encuentran en concordancia con los obtenidos por otros investigadores, que destacan el efecto negativo que poseen los áridos reciclados al disminuir las resistencias finales de los morteros (Saiz et al., 2016).

Por su parte, la resistencia a compresión de los morteros también se ha visto reducida en el caso de las amasadas elaboradas con chamota. Esto es debido a la menor densidad de estos áridos y su mayor fragilidad en comparación con el árido natural (Cheng et al., 2021). No obstante, en todos los casos se han obtenido resistencias a compresión superiores a los 10 MPa, lo que refleja que este tipo de materiales pueden ser considerados como idóneos en la ejecución de muros de fábrica.

Para completar esta discusión de los resultados se presentan a continuación unas imágenes obtenidas mediante microscopía de luz en la matriz de los morteros.



Fig. 5. Imagen mediante microscopía de la muestra NA-1:3.



Fig. 6. Imagen mediante microscopía de la muestra C -1:3.

Como se puede apreciar en las Figuras 5 y 6, para ambas tipologías de mortero se aprecia una matriz compacta del material endurecido. Esta buena cohesión entre los áridos y la pasta cementicia repercute de forma positiva en las prestaciones mecánicas del material (Giosuè et al., 2017), y es síntoma de una buena dosificación y una adecuada distribución granulométrica de los áridos. Se aprecia el color anaranjado del mortero elaborado con chamota reciclada de ladrillos cerámicos, y se puede ver como existen impurezas de algunos minerales como el cuarzo en forma de gránulos de color blanco.

B. Ensayos de caracterización física

En la Tabla III se recogen los resultados derivados de los ensayos de caracterización física realizados: dureza superficial Shore D, densidad aparente, coeficiente de absorción de agua por capilaridad y resistencia a la adhesión.

TABLA III
PROPIEDADES FÍSICAS DE LOS MORTEROS ENDURECIDOS

Propiedad	NA - 1:3	NA - 1:4	C - 1:3	C - 1:4
Densidad Aparente (kg/m ³)	2087.4	2001.5	1710.7	1632.6
Adherencia (MPa)	0.56	0.49	0.37	0.32
Absorción por Capilaridad (kg/mm ² min ^{0.5})	0.52	0.57	0.79	0.86
Dureza Superficial (Shore D)	83	79	72	69

En la Tabla III se puede observar como la densidad de los morteros elaborados con chamota procedente de la trituración de piezas cerámicas de ladrillo es inferior a la obtenida por los morteros tradicionales (Figura 7). Esta menor densidad tiene su repercusión negativa en la resistencia mecánica a compresión, tal y como se ha podido observar en la Figura 4. Además, estos resultados coinciden con los obtenidos por otros investigadores (Saiz et al. 2015), donde se constataba que los morteros elaborados con áridos reciclados cerámicos poseían una mayor porosidad lo cual repercute de forma negativa en su durabilidad una vez son implementados en obra.

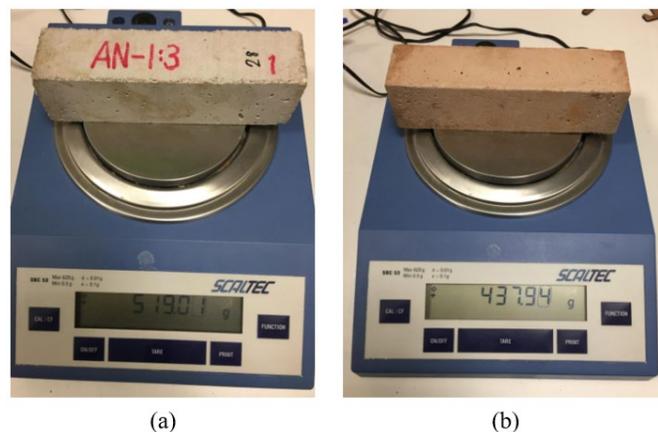


Fig. 7. Determinación de la densidad aparente en probetas prismáticas normalizadas RILEM, (a) AN-1:3; (b) C-1:3.

En lo que respecta a la adherencia sobre superficies cerámicas (Figura 8), también se aprecia una disminución de la resistencia en los morteros elaborados con chamota debido a su mayor contenido en finos y en las dosificaciones con ratio 1:4 en peso de cemento/árido debido a la menor cantidad de conglomerante (García López de la Osa, 2020).

Por su parte, la absorción de agua por capilaridad también es mayor en los morteros elaborados con chamota. Esto coincide con los resultados obtenidos en otros estudios previos (Yedra, et al., 2022), donde se confirmaba como la mayor porosidad y capacidad de absorción de los áridos cerámicos repercute fuertemente en esta propiedad de los morteros. Esta mayor capacidad de absorción de agua puede suponer un condicionante a la hora de emplear este tipo de materiales en exteriores o en contacto con el terreno, donde se puedan acarrear futuras patologías ocasionadas por las humedades (García Morales, S., 2015).

Finalmente, tras el ensayo de dureza Shore D, se observa como los morteros con matrices más compactas, es decir con relación cemento/árido de 1:3, presentan una mayor dureza superficial. Además, los morteros elaborados con árido natural obtuvieron valores más elevados, lo que se encuentra en concordancia con mejor calidad de estas arenas.

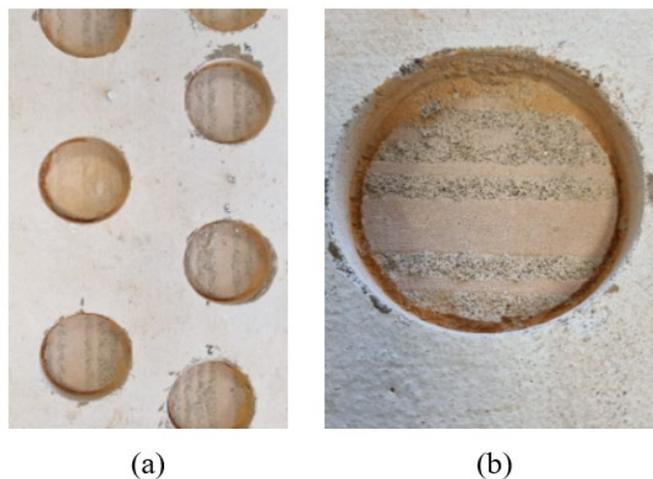


Fig. 8. Determinación de la resistencia a la adhesión sobre superficies cerámicas, (a) Rasillón ensayado; (b) Estado final de una muestra de NA-1:3.

C. Ensayos de Durabilidad

En primer lugar, se ha determinado la retracción que experimentan los morteros elaborados durante su proceso de fraguado. La retracción por secado se ha determinado sobre probetas prismáticas de 25 x 25 x 287 mm durante un tiempo de 120 días con el objetivo de conocer su evolución y la influencia del tipo de árido en este proceso. En el caso de los morteros de albañilería, la retracción durante el secado está directamente relacionada con la variación en el contenido en agua de amasado, y, por tanto, factores como la temperatura, la humedad relativa o el viento afectan a esta propiedad y condicionan las posibles aplicaciones de estos materiales en obra (Carrasco et al., 2013). Los resultados obtenidos se muestran en la Figura 9.

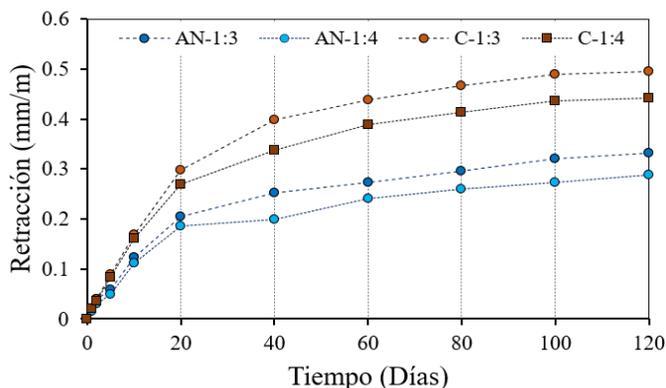


Fig. 9. Resultados derivados del ensayo de retracción medido hasta 120 días.

Tal y como se puede observar en la Figura 9, los morteros con incorporación de chamota en su proceso de fabricación poseen unos valores más elevados para la retracción. Además, para ambas tipologías de mortero estudiadas en esta investigación, las dosificaciones con ratio cemento/árido de 1:3 han presentado valores de retracción más elevados que los morteros con ratio 1:4 en peso. Estos resultados se encuentran en concordancia con los obtenidos en otras investigaciones previas, donde se resalta que una de las mayores limitaciones de los morteros elaborados con áridos reciclados es su mayor retracción y variación en el contenido en humedad interior (Saiz et al., 20178).

Por otro lado, los morteros de albañilería tienen su principal aplicación en paramentos en contacto con el ambiente exterior. Por este motivo, es interesante conocer su comportamiento frente los ciclos de hielo y deshielo que pueden experimentar en tiempos invernales. Para ello, se ha realizado el ensayo adaptado de la norma UNE-EN 12371 para piedra natural, aplicándolo en probetas normalizadas RILEM. Dicho proceso de envejecimiento acelerado consiste en la realización de 25 ciclos como se describe:

- 6 horas de congelación de las probetas al aire a temperatura de -12°C.
- 18 horas de descongelación sumergiendo las probetas en agua hasta saturación a temperatura de 20°C.

Una vez realizados los ciclos, se evalúa la variación en la resistencia mecánica a flexión en comparación con muestras de la misma edad y sin haberse sometido a ciclos (Figura 10).

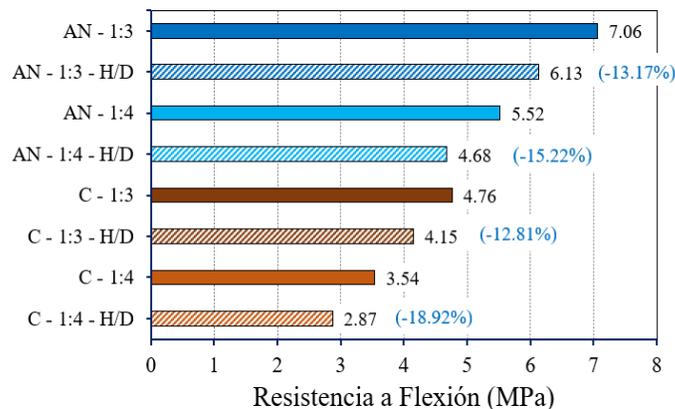


Fig.10. Resultados para la resistencia a flexión en probetas sometidas a ciclos de hielo-deshielo y en las probetas de referencia sin ciclos.

Tal y como se puede apreciar en los resultados obtenidos en la Figura 10, todas las muestras de mortero estudiadas experimentaron una disminución de su resistencia al verse sometidas a los ciclos de heladicidad. En todos los casos analizados las resistencias a flexión de las probetas sometidas a ciclos es al menos un 10% inferior a la obtenida para las para las muestras de referencia. Se observa como la resistencia a flexión sigue siendo inferior en las muestras de mortero elaboradas con árido reciclado cerámico y cómo los morteros con ratio cemento/árido 1:3 obtuvieron mayores resistencias. En cualquier caso, se puede afirmar que los ciclos de envejecimiento acelerado han tenido una fuerte repercusión negativa en las prestaciones mecánicas finales de los morteros, de acuerdo con los resultados obtenidos por otros investigadores (Wang, et al., 2021).

IV. CONCLUSIONES

El reciclaje de Residuos de Construcción y Demolición se torna como una de las principales soluciones para paliar el problema de la escasez de recursos en la industria. En este trabajo, se han analizado las propiedades físicas y mecánicas más comúnmente estudiadas para los morteros de albañilería, tratando de conocer la repercusión que tiene la sustitución total del árido natural por chamota procedente de los residuos de ladrillos y piezas cerámicas. De tal forma que se han podido extraer las siguientes conclusiones:

- En lo que respecta a las propiedades mecánicas, se ha observado una disminución en las resistencias a flexión y compresión en los morteros elaborados con chamota. Estas menores resistencias están directamente vinculadas con el mayor contenido en finos de los áridos cerámicos, su mayor fragilidad y su menor dureza. En cualquier caso, se han obtenido unas resistencias óptimas para su aplicación en obras de albañilería, y dichas resistencias se ven disminuidas para dosificaciones con ratio 1:4 de cemento/árido en peso.
- En cuanto a las propiedades físicas analizadas, se ha constatado que los morteros de cemento elaborados con chamota poseen en comparación con los morteros tradicionales: una menor resistencia a la adhesión, una menor dureza superficial, una mayor absorción de agua

por capilaridad y una menor densidad.

- Los resultados obtenidos en las propiedades físicas denotan la peor calidad de los morteros elaborados con chamota. No obstante, los valores obtenidos en todas las propiedades se encuentran dentro de los límites aceptables para su utilización como morteros de albañilería.
- Finalmente, se han estudiado dos propiedades relacionadas con la durabilidad de los morteros. Por una parte, la retracción por secado es más notoria en las muestras de mortero elaboradas con chamota. Esto repercute de forma negativa en su estabilidad dimensional e implica que estos morteros requieren de un proceso de curado más cuidado. Finalmente, en lo que respecta al ensayo de ciclos de hielo-deshielo, se han obtenido en todos los morteros ensayados una disminución de la resistencia a flexión al verse sometidos al ensayo de heladicidad. En todos los casos, los morteros de cemento tradicionales presentaron mejor comportamiento ante este ensayo de envejecimiento acelerado.

AGRADECIMIENTOS

Los autores quieren agradecer al personal técnico de apoyo del Laboratorio de Materiales de Construcción de la E.T.S. de Edificación de Madrid la ayuda prestada durante la realización de los ensayos.

REFERENCIAS

- Agrela, F., Díaz López, J.L., Rosales, J., Cuenca, G.M., Cabrera, M. (2020). Environmental assessment, mechanical behavior and new leaching impact proposal of mixed recycled aggregates to be used in road construction. *Journal of Cleaner Production*, 280, part 2.
- Canal de Isabel II. Informe Anual Sobre la Calidad del Agua en Madrid; Canal de Isabel II: Madrid, Spain, 2012.
- Cheng, Z., Yan, W., Sui, Z., Tang, J., Yuan, C., Chu, L., Feng, H. (2021). Effect of Fiber Content on the Mechanical Properties of Engineered Cementitious Composites with Recycled Fine Aggregate from Clay Brick. *Materials*. 202.; 14(12):3272.
- Cristiano, S., Ghisellini, P., D'Ambrosio, G., Xue, J., Nestico, A., Gonella, F., Ulgiati, S. (2021). Construction and demolition waste in the Metropolitan City of Naples, Italy: State of the art, circular design, and sustainable planning opportunities. *Journal of Cleaner Production*, 293.
- Cortina, M., Villanueva, L. (2002). Aired4ime and chamotte hydraulic mortars. *Materiales de Construcción*, vol. 5, no 266, 65-76.
- García López de la Osa, G. (2020). Análisis de la adherencia entre morteros y piezas cerámicas. Tesis (Doctoral), E.T.S. de Edificación (UPM).
- García Morales, S. (1995). Metodología de diagnóstico de humedades de capilaridad ascendente y condensación higroscópica, en edificios históricos. Tesis (Doctoral), E.T.S. Arquitectura (UPM).
- Giosuè, C., Pierpaoli, M., Mobili, A., Ruello, M.L., Tittarelli, F. (2017). Influence of Binders and Lightweight Aggregates on the Properties of Cementitious Mortars: From Traditional Requirements to Indoor Air Quality Improvement. *Materials*, 10, 978
- Hoornweg, D., Bhada-Tata, P., (2012). What a Waste: A Global Review of Solid Waste Management.
- Jimenez, J.L., Ayuso, J.; López, M., Fernández, J.M., de Brito, J. (2013). Use of fine recycled aggregates from ceramic waste in masonry mortar manufacturing. *Construction and Building Materials*, 40, 679-690.
- Li, J., Zuo, J., Cai, H., Zillante, G., 2018. Construction waste reduction behavior of contractor employees: an extended theory of planned behavior model approach. *J. Clean. Prod.* 172, 1399–1408.
- Liu, J., Wu, P., Jiang, Y.; Wang, X. (2021). Explore potential barriers of applying circular economy in construction and demolition waste recycling. *Journal of Cleaner Production*, 326.
- Lozano-Cutanda, B.; Alli.Turrillas, J.C. Administración y Legislación Ambiental, Dykinson, 11º Edition, Madrid, Spain, 2020.
- Ma, G., Wang, A., Li, N., Gu, L., Ai, Q., (2014). Improved critical chain project management framework for scheduling construction projects. *J. Constr. Eng. Manag.* 140 (12) 10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0000908, 04014055
- Mahpour, A. (2018). Prioritizing barriers to adopt circular economy in construction and demolition waste management. *Resources, Conservation and Recycling*, 134, 216-227.
- Morón, A., Ferrández, D., Saiz, P., Atanes-Sánchez, E., Morón, C. (2021). Study of the properties of lime and cement mortars made from recycled ceramic aggregate and reinforced with fibers. *Journal of Building Engineering*, 35.
- Morón, A., Ferrández, D., Saiz, P., Morón, C. (2021). Experimental Study with Cement Mortars Made with Recycled Concrete Aggregate and Reinforced with Aramid Fibers. *Applied Science*, 11, 7791.
- Morón, C., Saiz, P., Ferrández, D., García-Fuentevilla, L. (2017). New System of Shrinkage Measurement through Cement Mortars Drying. *Sensors*, 17, 522.
- Ngoc-Tra, M., Nguyen, D.T., Nguyen, D.L. (2021). Potential use of clay brick waste powder and ceramic waste aggregate in mortar. *Construction and Building Materials*, 313.
- Ray, S., Haque, M., Sakib, M.N., Ferdous, A., Rahman, M.D.M., Tanmoy, B.B. (2021). Use of ceramic wastes as aggregates in concrete production: A review. *Journal of Building Engineering*, 43.
- Rosell, J.R., Catalapiedra, I.R. (2011). Simple method of dynamic Young's modulus determination in lime and cement mortars. *Materiales de Construcción*, 61(301), 39-48.
- Sáiz Martínez, P. (2015). Utilización de arenas procedentes de Residuos de Construcción y Demolición, RCD, en la fabricación de morteros de albañilería. Tesis (Doctoral),

E.T.S. de Edificación (UPM).

- Saiz, P., González, M., Fernández, F. (2015). Characterization and influence of fine recycled aggregates on masonry mortars properties. *Materiales de Construcción*, 65, 319.
- Sáiz Martínez, P., González Cortina, M., Fernández Martínez, Francisco., Rodríguez Sánchez, A. (2016). Comparative study of three types of fine recycled aggregates from construction and demolition waste (CDW), and their use in masonry mortar fabrication. *Journal of Cleaner Production*, 118, 162-169.
- Saiz, P.; Ferrández, D., Morón, C., Payan de Tejada, A. (2018). Comparative study of the influence of three types of fibre in the shrinkage of recycled mortar. *Materiales de Construcción*, 68 (332), 1-12.
- Shooshtarian, S., Maqsood, T., Caldera, S., Ryley, T. (2022). Transformation towards a circular economy in the Australian construction and demolition waste management system. *Sustainable Production and Consumption*, 30, 89-106.
- Villoria, P., Porrás, C., del Río, M. (2015). New quantification proposal for construction waste generation in new residential constructions. *Journal of Cleaner Production*, 102, 58-65.
- Wang, Y., Li, J., Ueda, T., Zhang, D., Deng, J. (2021). Mesoscale mechanical deterioration of mortar subjected to freeze thaw cycles and sodium chloride attack. *Cement and Concrete Composites*, 117, 103906
- Wu, H., Wang, C., Ma, Z. (2022). Drying shrinkage, mechanical and transport properties of sustainable mortar with both recycled aggregate and powder from concrete waste. *Journal of Building Engineering*, 49.
- Xiao, J., Zhou, S., Ding, T., Duan, Z., Liu, Q. (2021). Fiber-reinforced mortar with 100% recycled fine aggregates: A cleaner perspective on 3D printing. *Journal of Cleaner Production*, 319.
- Xu, F., Lin, X., Zhou, A., Liu, Q. (2022). Effects of recycled ceramic aggregates on internal curing of high performance concrete. *Construction and Building Materials*, 322.
- Yedra, E., Ferrández, D., Morón, C., Saiz, P. (2022). New test methods to determine water absorption by capillarity. Experimental study in masonry mortars. *Construction and Building Materials*, 319, 125988.
- Zairul, M. (2021). The recent trends on prefabricated buildings with circular economy (CE) approach. *Cleaner Engineering and Technology*, 4.
- Zhang, C.; Hu, M.; Di Maio, F.; Sprecher, B.; Yang, X.; Tukker, A. (2022). An overview of the waste hierarchy framework for analyzing the circularity in construction and demolition waste management in Europe. *Science of the Total Environ.*, 803.



Reconocimiento – NoComercial (by-nc): Se permite la generación de obras derivadas siempre que no se haga un uso comercial. Tampoco se puede utilizar la obra original con finalidades comerciales.