



UJAT

UNIVERSIDAD JUÁREZ
AUTÓNOMA DE TABASCO

"ESTUDIO EN LA DUDA. ACCIÓN EN LA FE"



JEEOS

JOURNAL OF ENERGY ENGINEERING OPTIMIZATION AND SUSTAINABILITY

2025



Reserva de Derechos al Uso Exclusivo

No. 01-2016-050908471400-203. ISSN: 2448-8186

Vol. 9 Núm. 3 (2025)



UJAT

UNIVERSIDAD JUÁREZ
AUTÓNOMA DE TABASCO

"ESTUDIO EN LA DUDA. ACCIÓN EN LA FE"



DIRECTORIO

L.D. GUILLERMO NARVÁEZ OSORIO
Rector

DR. WILFRIDO MIGUEL CONTRERAS SÁNCHEZ
Secretario de Investigación, Posgrado y Vinculación

DR. LUIS MANUEL HERNÁNDEZ GOVEA
Secretario de Servicios Académicos

LIC. ALEJANDRINO BASTAR CORDERO
Encargado del Despacho de la Secretaría de Servicios
Administrativos

Esta revista está citada en:

Sistema Regional de Información en Línea para Revistas Científicas de América Latina y el Caribe, España y Portugal LATINDEX.<http://www.1atindex.unam.mx/>

JOURNAL OF ENERGY, ENGINEERING OPTIMIZATION AND SUSTAINABILITY, Vol 9, No. 3, Año 2025, es una publicación continua editada por la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, Av. Universidad S/N, Zona de la Cultura, Col. Magisterial, C.P. 86040, Villahermosa, Tabasco, México. Tel. (+52) (933) 358 1500 Ext. 5040, <https://revistajeeos.ujat.mx/JEEOS/es/>, Email: jeeos@ujat.mx. Indizada en LATINDEX. Editora responsable: Laura Lorena Díaz Flores. Reserva de derechos al uso exclusivo No. 04-2016-050908471400-203, ISSN: 2448-8186, ambos otorgados por el Instituto Nacional del Derecho de Autor. Responsable de la última actualización de este número: Pauly González Mayo, Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, Av. Universidad S/N, Zona de la Cultura, Col. Magisterial, Centro, Tabasco. C.P. 86040. Fecha de última actualización, 17 de diciembre 2025.

This work is licensed under a Creative Commons Attribution- NonCommercialShareAlike 4.0 International License.

Dra. Laura Lorena Díaz Flores

EDITORIA EN JEFE

MSI. Alva del Rocío Pulido Téllez

GESTORA

M.A. Pauly González Mayo Dra. Antonia del Rocío López Guemez

ASISTENTE EDITORIAL Y MAQUETADO

MIS Dalia Exaltación Medina Mandujano MAEE. Mary Cruz Valenzuela Jiménez

ASISTENTE DE DISEÑO Y ESTILO

MC Sulma Guadalupe Gómez Jiménez MC Sirleni Ordóñez Frías

ASISTENTE DE TRADUCCION

EDITORES ASOCIADOS POR ÁREA

Dra. Angélica del Carmen Lizardo Pérez

M en C en Arq. Margarita del Carmen Noguera Miceli

Dra. Haydee Pérez Castro

Dr. Luis Manuel López Manrique

Dra. Karla María Aguilar Castro

Dr. Edgar Vicente Macias Melo

Dr. José de los Santos López Lázaro

Dra. Lizeth Rojas Blanco

Dr. Erik Ramírez Morales

M. C. Cristina Ponce Parra

Dr. Reymundo Ramírez Betancour

Dr. Emmanuel Munguía Balvanera

Dr. René Sebastián Mora Ortiz

COMITÉ EDITORIAL

Dr. Bassam Ali, Facultad de Ingeniería, Universidad Autónoma de Yucatán

Dr. Fabricio Nápoles Rivera, **Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo**

Dr. Francisco López Villareal, **Instituto Tecnológico de Villahermosa.**

Dr. Fernando Israel Gómez Castro, **Universidad de Guanajuato**

Dr. Juan Serrano Arellano, **Instituto Tecnológico de Pachuca**

Dra. Isabel María Valdivia Fernández, **Universidad de la Habana- Facultad de Geografía**

Dra. Ivett Zavala Guillén, **Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada, Baja California**

Dr. Luis Alfonso García Cerda, **Centro de Investigación de Química Aplicada**

Dra. Nancy del Pilar Medina Herrera, **Universidad Autónoma de Nuevo León**

Dra. Ma. Guadalupe Garnica Romo, **Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo.**

Dra. María Guadalupe Alpuche Cruz, **Universidad de Sonora**

Dr. Pedro Cruz Alcantar, **Universidad Autónoma de San Luis Potosí**

Dr. Salvador Tututi Ávila, **Universidad Autónoma de Nuevo León**

Dra. Santa del Carmen Herrera Sánchez, **Universidad Autónoma del Carmen**

Índice Vol. 9 Núm. 3 (2025)

APROVECHAMIENTO DE LOS ESCOMBROS DE CERÁMICA COMO AGREGADO FINO EN MEZCLAS DE MORTERO	1-14
De la Cruz-López L.F. ¹ , Gómez-May E. ¹ , Mora-Ortiz R.S. ^{1*} , Díaz-Alvarado S.A. ¹ , Álvarez-Reyes J. ²	
ANÁLISIS FISICOQUÍMICO DE ABONOS ORGÁNICOS ELABORADOS CON RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS PROCESADOS AERÓBICA Y ANAERÓBICAMENTE	15-32
San Juan- Martínez A. ^{1*} , Casanova-Pérez L. ¹ ,García-Alonso F. ¹	
EFFECTO DE LA CONCHA DE OSTIÓN CALCINADA EN LA RESISTENCIA DEL MORTERO DE ALBAÑILERÍA	33-46
López-López J.M., Jiménez-Bautista J.R., Rodríguez-Martínez K.J., Mora-Ortiz R.S.*., Díaz-Alvarado S.A.	
DESAFÍOS NUMÉRICOS Y SOLUCIONES HIDRÁULICAS PRÁCTICAS A ESCALA LOCAL: CASO UNIDAD CHONTALPA, TABASCO, MEX.	47-62
Pérez- De la Cruz A. ¹ ,Priego-Hernández G. ¹ ,Rivera-Trejo F. ^{1*} .	
ANÁLISIS DE CICLO DE VIDA DE LA PRODUCCIÓN DE BIOTURBOSINA A PARTIR DE LODO RESIDUAL: PLANTEAMIENTO Y DESARROLLO	63-78
Contreras-Vázquez E. ¹ , Vargas-Ibáñez L.T. ² , Cano-Gómez J.J. ^{1*}	
CUANTIFICACIÓN E IDENTIFICACIÓN DE COMPUESTOS EXTRAIDOS POR MACERACION DE SEMILLAS DE UN ÁRBOL SILVESTRE	79-92
Juárez-Madrazo E. ¹ , Pantoja-Castro M. A. ^{1*} , García-Gómez J.O. ² , Vázquez-Guerrero A. ² , Del Ángel-Meraz E. ¹ , Rojas-Blanco L ¹	

APROVECHAMIENTO DE LOS ESCOMBROS DE CERÁMICA COMO AGREGADO FINO EN MEZCLAS DE MORTERO

USE OF CERAMIC DEBRIS AS A FINE AGGREGATE IN MORTAR MIXTURE

De la Cruz-López L.F.¹, Gómez-May E.¹, Mora-Ortiz R.S. ^{1*}, Díaz-Alvarado S.A.¹, Álvarez-Reyes J.²

¹ División Académica de Ingeniería y Arquitectura (DAIA), Universidad Juárez Autónoma de Tabasco (UJAT), carretera Cunduacán-Jalpa de Méndez km 1. Cunduacán, Tabasco, México.

² Departamento de Ingeniería Sostenible y Civil, Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey, México.

*rene.mora@ujat.mx

Artículo Científico

Publicado: 17 de diciembre 2025

RESUMEN

En este artículo se analiza el reciclaje del escombro de cerámica (loseta) triturado como sustituto parcial de la arena natural en la elaboración de mortero de albañilería. Se diseñó un mortero de control en una proporción cemento arena 1:4. La consistencia para todos los morteros de la investigación fue de 175 mm \pm 5 mm. Una vez establecida la proporción del mortero de control, se tomó el mismo diseño y se sustituyó parcialmente en distintos porcentajes a la arena por cerámica triturada. Para cada mortero se elaboraron nueve especímenes cúbicos de 5 cm, mismos que fueron ensayados a compresión simple a diferentes edades de curado. Los resultados mostraron que, con respecto al mortero de control, los morteros con 5 % de cerámica son ligeramente más resistentes, mientras que los morteros con 10 % alcanzaron el 88 % de la resistencia del mortero de control. Con lo anterior quedó demostrado que la reutilización en bajos porcentajes de la cerámica para fabricar

mortero es factible. Esta práctica reintroduce a los escombros de cerámica al ciclo de producción, disminuye su desecho en basureros y reduce el uso de la arena natural.

Palabras clave: mortero; sustentabilidad; agregado reciclado; economía circular.

ABSTRACT

This research analyzes the recycling of crushed ceramic debris (tiles) as a partial substitute for natural sand in the production of masonry mortar mixes. A mortar base mixture was designed in a 1:4 cement-sand ratio. The consistency for all the mixes in the research was 175 mm \pm 5 mm. Once the base mix was established, the same design was taken and natural sand was partially replaced with crushed ceramic debris in different weight percentages. For each mix, nine cubic specimens of 5 cm were prepared, which were placed to cure with water, and then tested in compressive strength at different curing rates. The results showed



that concerning the control sample, the mortars with 5 % ceramic were slightly stronger, while the mortars with 10 % reached 88 % of the strength of the control mortar. This demonstrated that reusing ceramic debris in low percentages in masonry mortar production is feasible. This practice extends the lifespan of this waste material, reduces its excessive accumulation, and protects natural sand banks.

Keywords: mortar; sustentability; recycled aggregate; circular economy

INTRODUCCIÓN

El desarrollo económico de las ciudades en nuestro tiempo ha exigido que los gobiernos se mantengan competitivos y productivos; favoreciendo a la mayoría de los sectores económicos, principalmente a la industria de la construcción con nueva infraestructura y remodelación de la existente, lo anterior, con el propósito de beneficiar y acelerar el crecimiento de comercios e industrias. Sin embargo, como consecuencia de esta mejora en la infraestructura de las ciudades, se ha generado una cantidad alarmante de residuos sólidos de la construcción y demolición (RCD), los cuales se han acumulado en lugares de nuestro entorno natural. El RCD está principalmente constituido por concreto, mortero, madera, vidrio y cerámicas. El manejo inadecuado de estos materiales ocasiona que con frecuencia terminen como elemento principal en el relleno clandestino de predios, como sistemas

improvisados de bacheo en calles y caminos, o simplemente se van acumulando en los basureros municipales. Debido al largo tiempo que tardan en degradarse, se va aumentando progresivamente la cantidad de estos desechos, produciendo mala apariencia urbana y daño ambiental. Sumado al problema anterior, se tiene que considerar que los montículos de RCD, sirven como hogar de animales e insectos nocivos para la salud como son serpientes, ratas, arañas, cucarachas, etc., estas especies encuentran en los escombros los factores ideales para su desarrollo y reproducción, y siendo tarde o temprano un vector importante en la propagación de enfermedades.

De acuerdo con lo anterior, generar una acción para disminuir la acumulación de estos desechos, indiscutiblemente, se convierte en un desafío vigente al cual se enfrenta la ingeniería civil progresista; ya que la conservación de la naturaleza es una de sus prioridades. Por lo tanto, con la finalidad de disminuir en el mayor grado posible la acumulación de estos residuos, recientemente se ha intensificado la práctica de reciclar a los RCD como nuevos materiales capaces de sustituir a la arena natural en los trabajos de construcción. Estos materiales reciben el nombre de agregados reciclados (AR) [1].

Durante la utilización de los agregados reciclados para el propósito descrito anteriormente, se han descubierto ciertos inconvenientes relacionados con algunas de sus propiedades o características

inherentes. Entre las más destacables se encuentra un alto grado de porosidad [2], lo cual representa un mayor requerimiento de agua por capacidad de absorción que en un mortero convencional [3], [4]; por lo tanto, se debe tener presente que este parámetro juega un papel importante en la relación agua-cemento (A/C). Por ejemplo, Muñoz et al. [5], certifican que la estructura del ladrillo de arcilla triturado para elaborar concreto posee absorciones demasiado altas, puesto que dispone de poros capilares demasiado grandes; sin embargo, la adhesión de agua mejora la trabajabilidad. Omary et al. [6], demostraron que el aumento de porosidad (y, por tanto, de agua) en los agregados conduce a una disminución de la resistencia del concreto. Angulo et al. [7], concluyeron que es posible elaborar concreto empleando agregados reciclados siempre que se logre controlar su porosidad.

Debido a las bajas exigencias estructurales del mortero de albañilería con respecto al concreto, el primero representa una mejor alternativa para la utilización de AR [8]. Dentro de este interés, Jiménez et al. [9] reemplazaron arena por agregado reciclado compuesto por mortero cerámico y de albañilería en una proporción menor al 40 % sin mostrar afectaciones en las propiedades del mortero antes y después del fraguado. Silva et al. [10] destacaron que la utilización de agregados reciclados de ladrillos y tejas de barro rojo como sustituto parcial de la arena (hasta un porcentaje de 20 % en peso seco) en

morteros favorece la resistencia a la compresión en comparación al mortero de control. Izquierdo et al. [11] y Marco et al. [12] concluyeron que la resistencia a la compresión aumenta al usar un porcentaje menor o igual al 20 % de vidrio triturado como sustituto de la arena natural en la elaboración de morteros. Laverde et al. [13] demostraron que usar hasta un 25 % de RCD de concreto reciclado para elaborar concreto, mantiene un comportamiento similar al del concreto convencional. Neno et al. [14] y Bu et al. [15] presentan una amplia revisión de casos de la utilización de AR procedente de concreto como material sustituto de la arena en la industria de la construcción.

Con el objetivo de contribuir con resultados experimentales a la implementación de una cultura del reciclaje del RCD en México, este artículo presenta un análisis de las variaciones de la resistencia a la compresión simple por efecto de sustituir arena por cerámica triturada en la elaboración mortero de albañilería. Se elaboraron morteros utilizando distintos porcentajes de este RCD y evaluando los cambios en la resistencia a la compresión simple. Con esta investigación se pretende incentivar el reciclaje de la cerámica (loseta o azulejo), reducir su hacinamiento en los basureros municipales, reducir la explotación de la arena natural y contribuir al establecimiento de mejores prácticas en el manejo de los residuos en la construcción.

METODOLOGÍA

Enfoque y método de investigación. Este trabajo se realizó con un enfoque cuantitativo y experimental, ya que se elaboraron distintos mortero en los que se modificó el porcentaje de cerámica triturada como agregado fino, para observar cómo afecta en la resistencia a la compresión. Se hizo un diseño con un grupo control (sin cerámica) y varias mezclas con diferentes proporciones del material reciclado. Todas las pruebas se llevaron a cabo en laboratorio, bajo condiciones controladas. El objetivo fue obtener datos medibles que permitieran evaluar si este tipo de sustitución puede ser útil en la práctica de la construcción.

Instrumentos de recolección de datos. Para llevar a cabo esta investigación se utilizaron distintos instrumentos. Para la preparación de las mezclas se empleó una mezcladora de eje vertical marca Gilson MA-52F con capacidad de 4.7 L. La consistencia de cada mortero fue verificada utilizando una mesa de fluidez metálica de acuerdo con los parámetros de la ASTM C1437 [16]. La resistencia a la compresión de los especímenes cúbicos se determinó de acuerdo con la norma ASTM C109 [17], fue medida con una prensa eléctrica digital marca DAVI, con capacidad de 120 toneladas, equipada con sistema de lectura digital de carga y desplazamiento. Las propiedades físicas de los agregados, como granulometría, densidad y absorción, fueron determinadas con el uso de tamices, balanza digital de precisión, probeta de medición y recipiente para ensayo de absorción según las normas ASTM C136 [18], ASTM C128 [19] y NMX-C-111-ONNCCE

[20]. Todos estos instrumentos fueron utilizados en el laboratorio de mecánica de materiales de la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco.

Justificación de variables y número de muestras. La variable principal evaluada fue la resistencia a la compresión simple, ya que es una propiedad muy importante que determina el comportamiento mecánico del mortero. Se eligió esta propiedad porque es una de las más utilizadas para comparar el desempeño de mezclas con materiales reciclados.

En cuanto a los porcentajes de sustitución de arena por cerámica triturada (de 5 % hasta 50 %) se seleccionaron para observar desde bajos hasta medios niveles de sustitución, y así identificar el punto en el que comienzan a presentarse pérdidas de resistencia. Finalmente, se elaboraron 9 especímenes por mezcla (3 para cada edad de curado: 7, 14 y 28 días), siguiendo prácticas comunes de laboratorio y recomendaciones técnicas para obtener un valor promedio confiable (ASTM C109 [17]).

Caracterización de materiales. La arena natural utilizada (AN) procede de un banco del río Samaria, ubicado en la Ranchería Cucuyulapa segunda sección, en el municipio de Cunduacán, Tabasco, México. La **Figura 1** presenta la curva granulométrica de la arena, la cual cumple con los criterios establecidos en la norma NMX-C-111-ONNCCE [20] para agregados finos; lo que garantiza que dicha distribución granulométrica es apta para ser utilizada en esta investigación.

Otras propiedades analizadas fueron: contenido de finos 1.8 %, densidad de sólidos 2.64 t/m³ y absorción de agua 1.25 %. La primera propiedad se obtuvo siguiendo el procedimiento marcado por las normas ASTM C136 [18], mientras que las dos últimas propiedades se realizaron con referencia en la norma ASTM C128 [19].

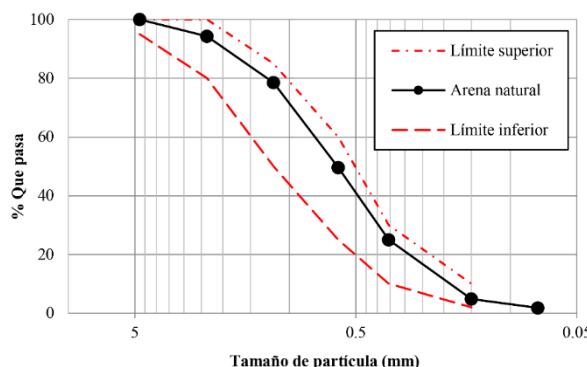


Figura 1. Granulometría de la arena natural.

Como se mencionó anteriormente, la cerámica (mosaico) es un material que forma parte del RCD. Para la recopilación de este agregado se implementó el proceso de demolición selectiva. La demolición selectiva es un proceso en el que se desmontan, separan o seleccionan (previo a la demolición) cuidadosamente los materiales de una estructura para su reutilización, reciclaje o eliminación adecuada. A diferencia de la demolición tradicional, busca minimizar residuos y recuperar materiales que se pueden reciclar. Mora-Ortiz et al. [21] presentan una estrategia de demolición para recolectar materiales reciclables, empleando contenedores de forma individual o particular para cada tipo de material, con el propósito de evitar que estos se contaminen; o lo que es igual,

que se mezclen entre ellos. La cerámica utilizada en este artículo procede de los trabajos de remodelación de las aulas del edificio A, de la División Académica de Ingeniería y Arquitectura (DAIA), de la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco (UJAT). De esa obra, previo acuerdo con el constructor; se recolectó, retiró y depositó en contenedores especiales la cerámica demolida. Dicho material se trasladó al laboratorio de mecánica de materiales de la misma institución y se trituró con herramienta manual (**Figura 2**).

La caracterización básica de la cerámica mostró que poseía: densidad de sólidos 2.43 t/m³ y absorción de agua 9.6 % (ASTM C128 [19]). Durante el cribado se procuró que el contenido de finos de la cerámica fuese el mismo que la arena natural (1.8 %). La razón de lo anterior se explica a continuación.



Figura 2. Agregado reciclado (AR) de cerámica.

Un aspecto fundamental en el comportamiento mecánico del concreto y el mortero es la granulometría de los agregados [22], por lo cual en este proyecto se decidió que el agregado natural y el reciclado (cerámica) tuvieran

la misma granulometría. Para lograr lo anterior, la cerámica fue tamizada (después del triturado) de manera que el porcentaje retenido en cada malla fuese igual al mostrado por la arena. Considerese que reproducir esta granulometría no involucra un esfuerzo mayor, puesto que el tamizado ya se incluye en los planes del proyecto. De esta manera se obtuvo el agregado reciclado procedente de la cerámica (CR). Las características de estos agregados se presentan en la **Tabla 1**.

El cemento utilizado fue tipo Portland gris ordinario (CPC) 30R marca Moctezuma, con peso específico es de 3.15 g/cm³. Este cemento satisface los requerimientos de la norma NMX-C-414-ONNCCE [23].

PROCEDIMIENTO

El primer paso fue diseñar un mortero de control, es decir, mortero convencional elaborado con cemento Portland, arena natural y agua. El criterio utilizado para el diseño fue el de Saad [24], estableciendo como óptima la proporción cemento-arena 1:4. Para diseñar el resto de los morteros, es decir, los que contienen un porcentaje de agregado reciclado de cerámica, se utilizó la misma dosificación del mortero de control, solo que se fue sustituyendo parcialmente la arena por el agregado reciclado. Los porcentajes de sustitución fueron 5 %, 10 %, 15 %, 20 %, 30 %, 40 % y 50 %. En la **Tabla 2** se presentan las dosificaciones de todos los morteros estudiados.

Para la elaboración de los morteros, primero se depositaron en una mezcladora estándar los agregados y el cemento en las cantidades establecidas, mezclándolos en seco durante tres minutos. A continuación, con la mezcladora en acción, se fue agregando gradualmente el agua durante 20 segundos, para posteriormente mezclar por tres minutos más.

Con el objetivo de que todos los morteros tuvieran la misma trabajabilidad, se estableció la consistencia de proyecto en 175 mm ± 5 mm. Se eligió esta consistencia debido a que ofrece la mejor trabajabilidad para los morteros de albañilería que se utilizaron en esta investigación [22], [25]. La cantidad de agua utilizada en la fabricación de los morteros se ajustó manualmente en el laboratorio hasta alcanzar dicha consistencia. Como puede observarse en la **Tabla 2**, la cantidad de agua aumenta conforme el porcentaje de AR aumenta. Este comportamiento es especialmente alto en los morteros con cerámica. Lo anterior se debe a la alta absorción de las partículas de los AR (**Tabla 1**).

Posteriormente, se llenaron nueve moldes cúbicos de 5 cm de lado por cada tipo de mortero indicado en la **Tabla 2**, correspondientes a tres muestras para cada edad de curado (7, 14 y 28 días). Los moldes fueron previamente engrasados y ensamblados con tornillos para asegurar su sellado adecuado. Este proceso de llenado se realizó paulatinamente en dos capas de tamaño uniforme, aplicando para cada capa 16

golpes con barra de compactación, todo de acuerdo a la norma ASTM C109 [17]. Una vez llenos los moldes, se les dejó

reposar durante 24 horas en una cámara con una temperatura de 25 °C ± 2 y humedad relativa de 65 % ± 5.

Tabla 1. Propiedades básicas de los agregados utilizados.

Propiedad	Norma	Arena natural (AN)	Cerámica (CR)
Contenido de finos (%)	ASTM C136 [18]	1.8	1.8
Peso específico relativo de sólidos	ASTM C128 [19]	2.64	2.43
Absorción de agua (%)	ASTM C128 [19]	1.25	9.6

Tabla 2. Dosificación de los morteros utilizados.

Mortero	AN/AR (%)	AN (g)	AR (g)	CEM (g)	Agua de mezclado (g)	Agua extra (g)	Agua total (g)	A/C
Control	100/0	2969	0	663	442	0	442	0.67
CR-5	95/5	2820.6	148.5	663	442	100	542	0.82
CR-10	90/10	2672.1	296.9	663	442	150	592	0.89
CR-15	85/15	2523.65	445.35	663	442	200	642	0.97
CR-20	80/20	2375.2	593.8	663	442	300	742	1.12
CR-30	70/30	2078.3	890.7	663	442	350	792	1.19
CR-40	60/40	1781.4	1187.6	663	442	400	842	1.27
CR-50	50/50	1484.5	1484.5	663	442	450	892	1.35

Alcanzadas las 24 horas, se desmoldó, identificó y curó a los especímenes por inmersión total en agua durante 7, 14 y 28 días de curado. Al cumplir el tiempo de curado, los especímenes se ensayaron a compresión simple siguiendo lo especificado por la norma ASTM C109 [17].

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Para cada tipo de mortero se calculó el promedio de la resistencia a la compresión de tres probetas (μ), junto con la desviación estándar (σ) y rango (%). La desviación estándar se usó para representar las barras de error en las

gráficas, lo que permite ver qué tanto se alejan los valores de cada probeta con respecto al promedio. El rango se calcula como la diferencia entre la resistencia más alta y la más baja de una mezcla, y al dividirlo entre el promedio se obtiene el rango relativo (%), que indica la variación entre probetas.. Este valor permite identificar qué tanta diferencia hubo entre los resultados y ayuda a evaluar la uniformidad de los ensayos realizados. En esta investigación se usó el rango porque es el parámetro que establece la norma ASTM C109 [17] para evaluar la consistencia de los ensayos. Según esta norma, el rango entre las tres probetas no debe superar el 8.7 % del promedio. Estos



parámetros son importantes porque permiten evaluar la consistencia entre probetas de cada mezcla, lo cual es clave para interpretar con mayor confianza el comportamiento mecánico de los morteros reciclados en comparación con el mortero de control.

Las **Figuras 3, 4 y 5** presentan los resultados de los ensayos de compresión simple a las edades de 7, 14 y 28 días de curado, respectivamente. Los resultados de resistencia por cada edad de curado y para cada tipo de mortero son el promedio aritmético de tres probetas.

Por su parte, la **Figura 6**, muestra la evolución del rango relativo (%) en cada tipo de mezcla.

Al comparar los resultados del mortero de control con los que contienen cerámica, se observó que el mortero CR-5 (con 5 % de cerámica) mejoró su resistencia en todas las edades de curado. A los 28 días, que es cuando se considera la resistencia final, se registró un aumento del 4 % respecto al control.

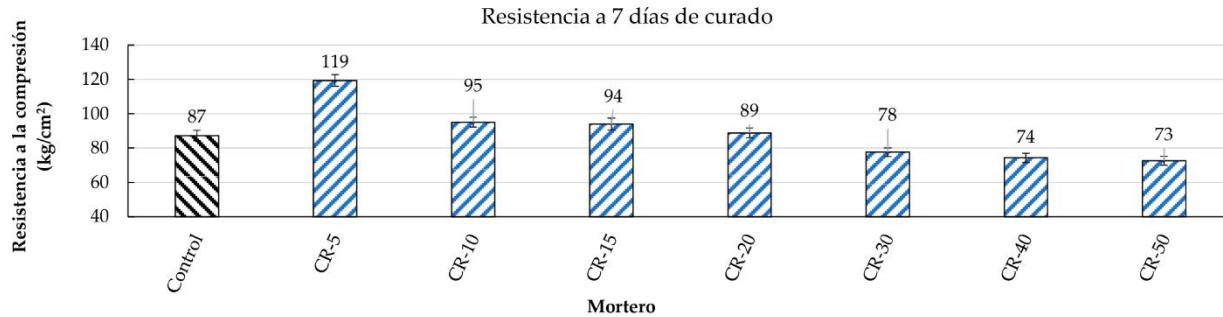


Figura 3. Resistencia a la compresión a 7 días de curado.



Figura 4. Resistencia a la compresión a 14 días de curado.



Figura 5. Resistencia a la compresión a 28 días de curado.

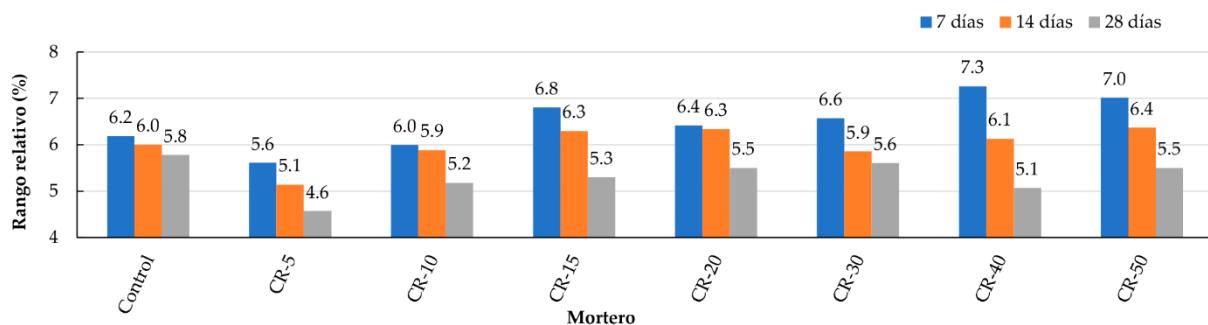


Figura 6. Comportamiento del rango relativo (%) según la edad de curado y el tipo de mortero.

A partir del 10 % de cerámica, las resistencias empezaron a bajar de forma progresiva en los tres tiempos de curado analizados (7, 14 y 28 días). En el caso de los 28 días, el mortero CR-10 tuvo una disminución del 12.10 %, y conforme se aumentó el porcentaje de cerámica, las pérdidas de resistencia fueron mayores: 20.51 % en CR-15, 24.61 % en CR-20, 28.89 % en CR-30, 33.45 % en CR-40 y 39.81 % en CR-50.

Este comportamiento se debe a que la cerámica triturada es un material altamente poroso, lo cual se refleja en su bajo peso específico y alta absorción de agua (**Tabla 1**). Esta característica puede representar una ventaja y una desventaja al mismo tiempo. El efecto positivo de la cerámica triturada se debe a que, al ser

un material poroso, permite que la pasta de cemento penetre en el agregado, y al fraguarse, actúa como un anclaje interno que ayuda a mejorar la resistencia del mortero. Por otro lado, el efecto negativo de esa misma porosidad es que la cerámica absorbe más agua, lo cual puede afectar los procesos de hidratación del cemento si no se controla adecuadamente.

En el caso del 5 % de sustitución, predominó el efecto positivo: la resistencia aumentó. Esto también se relaciona con el hecho de que el proceso de triturado dejó la cerámica con una superficie rugosa y con aristas, lo cual facilitó una mejor adherencia de la pasta de cemento. Sin embargo, a medida que se incrementó el porcentaje de cerámica, el efecto positivo fue ganando



importancia, ya que al haber más partículas porosas, estas comenzaron a absorber parte del agua de la mezcla, reduciendo la cantidad disponible para la hidratación del cemento.

Para compensar esta pérdida, fue necesario añadir más agua para conservar la trabajabilidad durante la elaboración de los morteros. Esto provocó un aumento en la relación agua-cemento, lo cual, como es sabido, disminuye la resistencia mecánica del mortero.

La relación agua-cemento se define como la cantidad de agua en proporción al peso del cemento en el mortero y afecta directamente a propiedades como la trabajabilidad, resistencia y durabilidad [24], [26]. La influencia de la relación agua-cemento en los morteros radica en la cantidad y calidad de los productos de hidratación, principalmente el gel de silicato de calcio hidratado (C-S-H). En caso de existir un exceso de agua en los morteros se sabe que [27]:

- Se diluyen los productos de hidratación, reduciendo la cohesión de los elementos del mortero,
- Se facilita la evaporación del agua sobrante, dejando espacios vacíos que debilitan la estructura.

Por estas razones, se observó que entre más cerámica se añadía a los morteros, más agua se necesitaba para conservar la trabajabilidad, mayor relación agua-cemento se tenía y, en consecuencia, peor resistencia se desarrollaba en los morteros. Sin embargo, los resultados

indicaron que es viable sustituir a la arena natural hasta en un 5 % de cerámica.

La **Figura 6** presenta el comportamiento del rango relativo para cada tipo de mortero y edad de curado. Los resultados mostraron que, en todos los morteros y edades de curado, el rango relativo se

mantuvo por debajo del 8.7 % establecido por la norma ASTM C109 [17], lo que indica que los ensayos fueron consistentes. También se observó que, a medida que aumentó el tiempo de curado, el rango relativo tendió a disminuir de forma progresiva, lo cual sugiere que las mezclas se volvieron más estables con el tiempo. Estos resultados respaldan la confiabilidad de los datos obtenidos y permiten interpretar con mayor certeza el comportamiento de los morteros reciclados frente al control.

CONCLUSIONES

En este artículo se estudió la posibilidad de sustituir parcialmente a la arena natural por cerámica molida en morteros de albañilería. Se utilizó una técnica de demolición planificada para obtener agregados reciclados con menos impurezas. Como estrategia para la sustitución, se le dio la misma granulometría de la arena natural a la cerámica. Los resultados demostraron que es posible reciclar estos escombros de cerámica hasta en un 5 %, porcentaje para el cual se obtuvo una resistencia mayor que la del mortero de control.

Dado que se demostró la factibilidad del reciclado de la cerámica como material para fabricar mortero, es importante en futuras investigaciones, conseguir aumentar la cantidad de material a reciclar, lo cual podría alcanzarse con la utilización de aditivos naturales reductores de agua (para controlar la relación agua-cemento) o con algún tratamiento a la superficie del agregado reciclado para reducir la absorción.

Con este proyecto se pretende incentivar el reciclaje de los RCD, disminuir el consumo de arena natural y limitar la hacinación de estos materiales en basureros municipales.

REFERENCIAS

- [1] Mora-Ortiz R.S., Munguía-Balvanera E., Díaz S.A., Magaña-Hernández F., Del Angel-Meraz E., Bolaina-Juárez Á. (2020). Mechanical behavior of masonry mortars made with recycled mortar aggregate. *Materials* 13:2373.
- [2] Bucio-Toledo R.M., Flores-Sandoval D.A. (2022). Agregados finos de concreto reciclado y su influencia en concreto no estructural. *Pädi Boletín Científico de Ciencias Básicas e Ingenierías del ICBI* 10 (Especial7):66-75.
- [3] Pérez-García N., Garnica-Anguas P., Rivera A. (2018). Evaluación de las propiedades físicas y mecánicas de un agregado de concreto reciclado. *Publicación Técnica No. 514*, Secretaría de Comunicaciones y Transportes, Querétaro, México, 84 pp.
- [4] Perea A.Y., Alvarado M. (2015). Propiedades mecánicas en concretos fabricados con agregados gruesos reciclados tratados con lechadas. *XIII Congreso Latino-Americanano de Patología de la Construcción*, Lisboa, Portugal, p. 9.
- [5] Muñoz-Pérez S.P., Mimbela-Orderique F., Rodriguez-Lafitte E.D. (2021). Uso de ladrillos triturados en concreto: una revisión literaria. *Revista Politécnica* 17 (34):82-100.
- [6] Omary S., Ghorbel E., Wardeh G. (2016). Relationships between recycled concrete aggregates characteristics and recycled aggregates concretes properties. *Construction and Building Materials* 108:163-174.
- [7] Angulo S.C., Figueiredo A.D. (2011). Concretos como agregados reciclados. *Concreto: Ciência e Tecnologia* 2: cap. 47.
- [8] Cardoso R., Silva R.V., de Brito J., Dhir R. (2016). Use of recycled aggregates from construction and demolition waste in geotechnical applications: a literature review. *Waste Management* 49:131-145.

- [9] Jiménez J.R., 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..
- [10] Silva J., de Brito J., Veiga R. (2010). Recycled red-clay ceramic construction and demolition waste for mortars production. *Journal of Materials in Civil Engineering* 22 (3):236-244.
- [11] Izquierdo-Domínguez F.G., Mora-Ortiz R.S., Mora-Ortiz T.J., Munguía-Balvanera E. (2022). Uso del vidrio molido como sustituto del agregado fino en mezclas de mortero de albañilería. *Revista Espacio I+D Innovación más Desarrollo* 11 (29):48-61.
- [12] Marco J., García E., Más M.I., Alcaraz V., Luizaga A. (2012). Estudio de la resistencia a compresión de morteros fabricados con conglomerante compuesto de polvo de vidrio. *Informes de la Construcción* 64 (528):529-536.
- [13] Laverde-Laverde N., Torres-Castellanos J.A. (2014). Propiedades mecánicas, eléctricas y de durabilidad de concretos con agregados reciclados. Tesis de grado, Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito, Bogotá D.C., Colombia.
- [14] Neno C., De Brito J., Veiga R. (2014). Using fine recycled concrete aggregate for mortar production: literature review and testing sequence. *Materials Research* 17 (1):168-177.
- [15] Bu C., Liu L., Lu X., Zhu D., Sun Y., Yu L., Ouyang Y., Cao X., Wei Q. (2022). The durability of recycled fine aggregate concrete: a review. *Materials* 15 (3):1110.
- [16] ASTM International (2020). *ASTM C1437-20. Standard Test Method for Flow of Hydraulic Cement Mortar*. West Conshohocken, PA, USA.
- [17] ASTM International (2021). *ASTM C109-21. Standard Test Method for Compressive Strength of Hydraulic Cement Mortars (Using 2-in. or 50-mm Cube Specimens)*. West Conshohocken, PA, USA.
- [18] ASTM International (2019). *ASTM C136M-19. Standard Test Method for Sieve Analysis of Fine and Coarse Aggregates*. West Conshohocken, PA, USA.
- [19] ASTM International (2022). *ASTM C128-22. Standard Test Method for Relative Density (Specific Gravity) and Absorption of Fine Aggregate*. West Conshohocken, PA, USA.
- [20] ONNCCE (2018). *NMX-C-111-ONNCCE. Industria de la Construcción – Agregados para Concreto Hidráulico – Especificaciones y Métodos de Ensayo*. Organismo Nacional de Normalización y

- Certificación de la Construcción y la Edificación, Ciudad de México.
- [21] Mora-Ortiz R.S., et al. (2021). Effect of pre-wetting recycled mortar aggregate on the mechanical properties of masonry mortar. *Materials* 14 (6):1547.
- [22] Varhen C., Carrillo S., Ruiz G. (2017). Experimental investigation of Peruvian scallop used as fine aggregate in concrete. *Construction and Building Materials* 136:533-540..
- [23] ONNCCE (2017). NMX-C-414-ONNCCE. *Cimentantes hidráulicos – Especificaciones y métodos de ensayo*. Organismo Nacional de Normalización y Certificación de la Construcción y la Edificación, Ciudad de México.
- [24] Saad A.M. (1979). *Tratado de construcción*. Editorial Trillas, Ciudad de México.
- [25] Mora-Ortiz R.S., Díaz S.A., Del Angel-Meraz E., Magaña-Hernández F. (2022). Recycled fine aggregates from mortar debris and red clay brick to fabricate masonry mortars: mechanical analysis. *Materials* 15 (21):7707.
- [26] Guevara-Fallas G., Hidalgo-Madrigal C., Pizarro-García M., Rodríguez-Valenciano I., Rojas-Vega L.D., Segura-Guzmán G. (2012). Efecto de la variación agua/cemento en el concreto. *Tecnología en Marcha* 25 (2):80-86.
- [27] Brouwers H.J.H. (2007). Composición de la pasta de cemento Pórtland (Parte I). Departamento de Ingeniería Civil, Universidad de Twente, Holanda. *Boletín Técnico* 904:1-28.



