

Valoración de morteros con cemento de albañilería y agregados de residuos de construcción en viviendas

Valuation of mortars with masonry cement and aggregates of construction waste in homes

Mauricio Alberto Hidalgo Jiménez, Lorenzo Franco Escamiroso Montalvo

Resumen:

El reciclaje de residuos de construcción y demolición (RCD), es una práctica esencial para reducir de los efectos negativos que ocasionan al medioambiente y los daños en la salud debido a los lixiviados que generan. También favorece la conservación de recursos naturales, al recuperar y reutilizar la materia prima para la elaboración de morteros aplicados en la construcción de viviendas. En este artículo, se presentan los resultados de los análisis realizados a 90 especímenes de morteros elaborados con mezclas de cemento de albañilería y áridos reciclados procedentes de aplanados, bloques y concreto hidráulico de los RCD generados en obras y depositados en sitios ilegales en Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, México. Los resultados muestran que las resistencias a la compresión de los morteros supera la mínima establecida en las normas, por lo que se reconoce la importancia de su uso en aplanados o recubrimientos, pegado de piezas de bloques y ladrillos, etc.

Palabras clave: Morteros, residuos de construcción, áridos reciclados, cemento y árido de RCD.

Mauricio Alberto Hidalgo Jiménez

Universidad Autónoma de Nuevo León | Monterrey, México | mauricio.hidalgoj@uanl.edu.mx
<http://orcid.org/0000-0003-0252-2921>

Lorenzo Franco Escamiroso Montalvo

Universidad Autónoma de Chiapas | Tuxtla Gutiérrez | Chiapas | México | franco@unach.mx
<http://orcid.org/0000-0001-5134-5875>

<http://doi.org/10.46652/rgn.v9i41.1214>
ISSN 2477-9083
Vol. 9 No. 41 julio-septiembre, 2024, e2401214
Quito, Ecuador

Enviado: mayo 02, 2024
Aceptado: agosto 30, 2024
Publicado: septiembre 15, 2024
Publicación Continua

Abstract

The recycling of construction and demolition waste (CDW) is an essential practice to reduce the negative effects they cause to the environment and the damage to health due to the leachate they generate. It also favors the conservation of natural resources, by recovering and reusing the raw material for the production of mortars applied in the construction of houses. This article presents the results of the analyses carried out on 90 specimens of mortars made with mixtures of masonry cement and recycled aggregates from flattening, blocks and hydraulic concrete from CDW generated on construction sites and deposited in illegal sites in Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, Mexico. The results show that the compressive strengths of mortars exceed the minimum established in the standards, so the importance of their use in flattening or coatings, gluing of block and brick pieces, etc., is recognized.

Key words: Mortars, construction waste, recycled aggregates, cement and CDW aggregate.

Introducción

La materia prima utilizada en la producción del cemento, al igual que los procesos constructivos de las edificaciones en general, son de los inconvenientes que tiene la industria de la construcción mundial debido a los diversos impactos ambientales que ocasionan, entre los cuales destacan la explotación de canteras, el uso de maquinaria pesada, los vehículos de transporte, etc. Estos procesos consumen mucha energía y generan altas cantidades de CO₂ entre otros gases de efecto invernadero¹; por otra parte, en las construcciones de los edificios, se generan residuos de construcción y demolición (RCD) que requieren un manejo adecuado, para evitar impactos ambientales negativos y pérdida de la biodiversidad.

En México, la Cámara Mexicana de la Industria de la Construcción indica que la generación anual estimada de RCD en 2011, fue de 6 millones de toneladas en todo el país (CMIC, 2013). Otros estudios señalan que esta cantidad se duplicó en 2014, al producirse más de 12 millones de toneladas anuales de residuos (Granell, 2014), que equivale a 0.09 toneladas por año por habitante (Aguilar et al., 2017). Respecto a la caracterización de los RCD, 39% contienen materiales de excavación, 24% de concreto y 24% de prefabricados (CMIC, 2013).

A pesar de que México publicó en 2013 la norma NOM-161-SEMARNAT-2011, que establece la obligatoriedad de los constructores que generan más de 80 m³ de residuos, a formular y desarrollar un plan de manejo de RCD, que incluye la ejecución de acciones para su reutilización y reciclaje o en su caso, la correcta disposición, las estimaciones señalan que sólo 4% de los residuos son aprovechados; 3% en el reciclaje y 1% en el reúso (CMIC, 2013). En este sentido, el manejo del resto de los RCD, conocidos también como cascajos o escombros, se realiza sin control en la mayoría de las entidades del país, ya que se advierten sitios inadecuados de disposición, desde pequeñas a grandes montañas de material de excavación, restos de ladrillos y bloques, azulejos, morteros (cemento-arena), concreto, yeso, plásticos, entre otros. En el caso del estado de Chiapas, en 2011 se produjeron más de 147 mil toneladas de RCD (CMIC, 2013), y de acuerdo con el estudio realizados por Sánchez et al. (2017), 73% de los residuos generados en la ciudad de Tuxtla

¹ La Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático reconoce seis gases de efecto invernadero (GEI): bióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄), óxido nitroso (N₂O), hidrofluorocarbonos (HFC), perfluorocarbonos (PFC) y hexafluoruro de azufre (SF₆).

Gutiérrez, capital de Chiapas, son productos de concreto, que se vierten en sitios clandestinos en el área urbana y en las periferias.

En este trabajo se evalúa la resistencia a la compresión de morteros elaborados con cemento de albañilería y agregados provenientes de RCD de la ciudad de Tuxtla Gutiérrez, Chiapas. La utilización mortero de cemento, también llamado cemento para albañilería, cuyas especificaciones de calidad están establecidas en la norma NMX-C-021-ONNCCE-2015, se debe a su uso común en la ciudad y otras localidades de Chiapas, para la elaboración de morteros por su accesibilidad y bajo precio en comparación al cemento Portland tipo adicionado o compuesto. Para determinar las propiedades mecánicas de los morteros elaborados con áridos reciclados de los RCD y cemento de albañilería, se efectuaron diversos ensayos en el Laboratorio de Materiales de la Facultad de Arquitectura de la Universidad Autónoma de Chiapas.

Los resultados demuestran que la resistencia a la compresión obtenida cumple con lo establecido en las normas NMX-C-486-ONNCCE-2014 y NTC, 2017, por lo cual, se reconoce que los morteros elaborados con áridos obtenidos de los RCD y con cemento de albañilería, son aptos para utilizarse en el pegado de bloques y ladrillo, aplanados o recubrimientos, colocación de azulejos o mosaicos, en acabados estéticos, etc. La propuesta ofrece una alternativa de mitigación del problema ambiental que se deriva de una gestión inadecuada de los RCD. Los beneficios de reciclar los áridos usados en el concreto, a pequeña o gran escala, son múltiples y variados, entre los cuales destacan la reducción de los residuos, la conservación de los recursos naturales, la disminución del consumo energético y las emisiones de gases efecto invernadero (GEI).

Caso de estudio: Ciudad de Tuxtla Gutiérrez, Chiapas

La ciudad de Tuxtla Gutiérrez, capital de Chiapas, tiene un clima cálido subhúmedo con lluvias en verano y vegetación de selva baja, sus ríos más caudalosos son Grijalva, Suchiapa y Sabinal. La ciudad se ubica en la región Depresión Central y junto con los municipios de Chiapa de Corzo y Berriozábal, forma la zona metropolitana más importante de la entidad.

En 2020, el municipio de Tuxtla Gutiérrez registró una población de 604,147 hab., con una tasa de crecimiento promedio anual de 1.7%, entre 2010 y 2015 (INEGI, 2015 y 2020). La ciudad de Tuxtla Gutiérrez denota un rápido crecimiento horizontal ya que, del año 1986 al 2014, el área urbana creció 2.5 veces (Silva et al., 2015). En el sismo ocurrido el 23 de septiembre de 1902, con magnitud de 7.7 en la escala de Richter e intensidad de X en la de Mercalli, prácticamente la totalidad de las viviendas fueron destruidas (Figueroa, 1973). Actualmente, el crecimiento de la población de la ciudad demanda espacios habitacionales, vías de comunicación y obras de infraestructuras.

De acuerdo con el Sistema Nacional de Información Municipal del Instituto Nacional para el Federalismo y Desarrollo Municipal (INAFED), en 2010, del total de viviendas en Tuxtla Gutiérrez, 61.43% tienen pisos de cemento, 4.88% de tierra, 33.29% de madera, mosaico, etc. Los

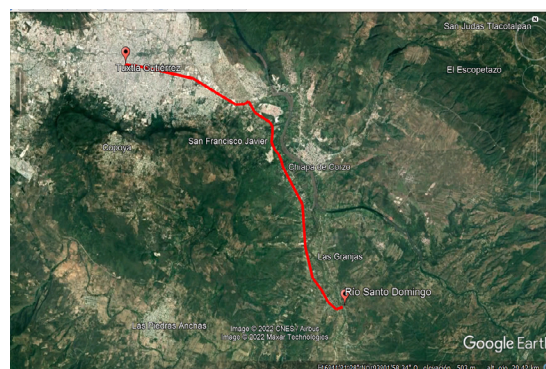
techos, 79.65% son de losa de concreto, 1.61% de teja, 17.63% de lámina metálica, asbesto o palma, 0.83% de lámina de cartón o material de desecho. Y, las paredes, 92.15% son de tabique, ladrillo, bloques, piedra o concreto, 3.84% de madera o adobe, 2.21% de barro o bajareque, lámina de asbesto o metálica, carrizo o bambú, 1.64% de lámina de cartón o material de desecho (INAFED, 2014).

Los morteros más utilizados en las construcciones de viviendas en Tuxtla Gutiérrez y demás localidades, son los elaborados en los sitios de las obras. Los tipos de cemento empleados en la región son el Portland compuesto y el de albañilería. En el caso de los morteros de arena y cemento para albañilería hecho en obra y tienen varias aplicaciones: en el pegado de piezas de mampostería (tabique, bloques o ladrillos), en los aplanados o recubrimientos interiores y exteriores, en la nivelación de pisos, en detalles estéticos, también se emplea en la fabricación de bloques macizos y huecos, en el relleno de celdas de muros de bloques huecos, etc.

La arena para la construcción de viviendas, edificios y obras en general se obtiene de las márgenes del río Santo Domingo del municipio de Chiapa de Corzo. Existen más de 40 bancos de arena localizados a 22 km en promedio de la ciudad de Tuxtla Gutiérrez, la mayoría son bancos certificados por la Secretaría de Infraestructura, Comunicaciones y Transportes (Morales & Ramírez, 2008). En la figura 1 se observa el sitio de extracción de la arena que ocasiona los siguientes efectos ambientales negativos: erosión del cauce, inestabilidad del suelo, contaminación del cuerpo de agua y de la atmósfera por las emisiones de gases de la maquinaria y vehículos de transporte, etc., todo ello afecta la flora, la fauna y el paisaje natural del entorno (Pérez & Vázquez, 2016).

Respecto a los RCD, las autoridades de Tuxtla Gutiérrez han tratado de regular la disposición de los residuos provenientes de la construcción de viviendas y otras edificaciones, a partir de sitios exclusivos, pero no ha sido suficiente, ya que se continúa vertiéndose los residuos en terrenos baldíos, barrancas, bordes de vialidades, cauces de arroyos, etc., y, por consecuencia, los residuos son arrastrados por las lluvias y son depositados en los canales y alcantarillas pluviales, lo cual provoca obstrucciones en las tuberías que derivan en inundaciones en áreas aledañas, inestabilidad y vulnerabilidad de terrenos del área urbana (figuras 2 a la 5).

Figura 1. Ruta del transporte de arena a la ciudad de Tuxtla Gutiérrez



Fuente: google earth (2019), modificado por autores.

Figura 2. Mismo terreno, disposición de escombros en 2018.



Fuente: elaboración propia

Figura 3. Escombros utilizados como rellenos en depresiones



Fuente: elaboración propia

Figura 4. Desazolve de alcantarillas pluviales en Tuxtla Gutiérrez.



Fuente: elaboración propia

Nota. Protección Civil, Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, 2017

Figura 5. Degradación de la imagen urbana. Tuxtla Gutiérrez.



Fuente: elaboración propia

Otro efecto de la mala disposición de los RCD, son los impactos negativos que se crean en la imagen y entorno urbano. Los sitios motivan a los habitantes a depositar sus residuos domiciliarios que propician la reproducción de fauna nociva, con los consecuentes problemas sanitarios. Yeang (1999), señala que los RCD producen contaminación de suelos y cuerpos de agua, así como la degradación de la calidad del paisaje; además, causan pérdida de la biodiversidad (figura 5).

La situación anterior en parte se debe a la inexistencia de reglamentos específicos que regulen el manejo de los RCD, desde la generación hasta la disposición. En este sentido, al no exigir que los residuos generados en las obras se separen o clasifiquen, se dificulta la reutilización y el reciclaje. Al respecto, Alegría (2010), elaboró bloques con RCD y obtuvo resultados que superan la resistencia a la compresión de los bloques testigo. Por su parte, Sánchez et al. (2017), caracterizó los RCD en 3 sitios de la ciudad, sus resultados muestran que 73% son productos de concreto, 10% tabicones, 7% ladrillos, 3% plásticos, 2% cerámicos, 2% papel y cartón, 2% madera y 1% productos de excavación; también, reconoció que los residuos son usados para relleno y nivelación de terrenos, pero mayormente son depositados en vertederos que causan impactos ambientales negativos.

El trabajo que se presenta tiene como propósito analizar las propiedades mecánicas de los morteros elaborados con áridos reciclados de RCD, procedentes de aplanados, bloques y concreto hidráulico, que se generan en diversas construcciones y son depositados en sitios ilegales en la ciudad de Tuxtla Gutiérrez, Chiapas. El cemento de albañilería, también llamado mortero de cemento o mampostería será el utilizado en las mezclas, ya que en el estado de Chiapas es común su uso por el bajo costo. Los resultados obtenidos de los análisis de mortero, en específico los de resistencia a la compresión, son comparados con los estándares de calidad establecidos en las normas, para valorar y reconocer la importancia del uso de los áridos generados del reciclaje de los RCD. Sin duda, la elaboración de morteros aplicados en la construcción de viviendas con el uso de áridos reciclados, es una alternativa destinada a reutilizar la materia prima contenida en los RCD, que favorece la preservación del medioambiente, y, además, en Tuxtla Gutiérrez como

en otras ciudades de Chiapas y del sureste de México, esta práctica puede constituir la iniciativa hacia mejores horizontes en el manejo de los RCD, con amplios beneficios en los diversos sectores.

Materiales y Metodología

Los morteros analizados se elaboraron con cemento de albañilería y áridos obtenidos de los RCD, de acuerdo con los parámetros de calidad establecidos en la norma ambiental NADF-007-RNAT-2013, que señala que no deben contener materia orgánica ni residuos peligrosos con características corrosivas, radioactivas, explosivas, inflamables o infecciosas, que causen peligro para el ambiente o la salud. A continuación, se describe los tipos de agregados utilizados:

Agregado A y A2. Residuos de mortero 1:5 elaborado en obra para aplanados. El material se obtuvo en la construcción de un edificio de la zona centro de Tuxtla Gutiérrez. Los morteros para aplanados se elaboraron en obra con arena natural y cemento de albañilería; el tipo A de 28 días de elaboración y el A2 fue un mortero fresco que se recolectó con lonas y plásticos colocados en la parte inferior de los muros, para evitar su contaminación.

Agregado B. Residuos de mortero 1:3 elaborado en obra para el pegado de piezas de mampostería; se obtuvo en el sitio anterior y se recolectó en forma similar.

Agregado C. Residuos de mortero de sitio de disposición. La figura 7 muestra el sitio clandestino de RCD al norte de la ciudad; se seleccionaron fragmentos de residuos de mortero.

Agregado D. Residuos de bloques. El sitio de disposición se localizó al poniente de la ciudad y se seleccionaron las piezas de bloques mejor conservadas y libre de otros materiales (figura 8).

Agregado E. Residuos de concreto hidráulico. En el sitio anterior, se eligieron fragmentos.

Agregado N. Arena natural del río Santo Domingo.

Figura 7. Residuos de mortero en sitio de disposición.



Fuente: elaboración propia

Figura 8. Residuos de bloques en sitio de disposición.



Fuente: elaboración propia

La granulometría de los agregados se analizó de acuerdo con las recomendaciones de la norma NMX-C-486-ONNCE-2014 (tabla 1), ya que la insuficiente cantidad de partículas finas crea morteros rugosos y el exceso provoca agrietamiento por contracción. Los rangos granulométricos requeridos por las partículas son entre el tamaño comprendido de 75 mm (malla No. 200) y 4.75 mm (malla No. 4). El procedimiento fue el siguiente:

Tabla 1. Límites de granulometría recomendada

Malla	Arena	
	Natural	Triturada
4	100	100
8	95-100	95-100
16	70-100	70-100
30	40-75	40-75
50	10-35	20-40
100	2-15	10-25
200		0-10

Fuente: NMX-C-486-ONNCE-2014

Figura 9. Cribado de residuos de mortero en obra.



Fuente: elaboración propia

1. Los residuos fueron pasados por la malla No. 4, para separar las partículas finas y gruesas. Los agregados finos fueron almacenados en depósitos temporales (ver figura 9).
2. Las partículas gruesas retenidas en la malla No. 4, fueron sometidas a un proceso de trituración manual, para pulverizar el material por impacto de 2 placas metálicas; una con 6 piezas metálicas de 4.75 mm de espesor, como límite para evitar que las partículas fueran trituradas de manera excesiva y, con ello garantizar su homogeneidad. En los casos de los fragmentos de concreto mayor a 50 mm, fueron reducidos con un mazo de 12 lb (figura 10).
3. Las partículas trituradas se pasaron por la malla No. 4 y los agregados finos se almacenaron.

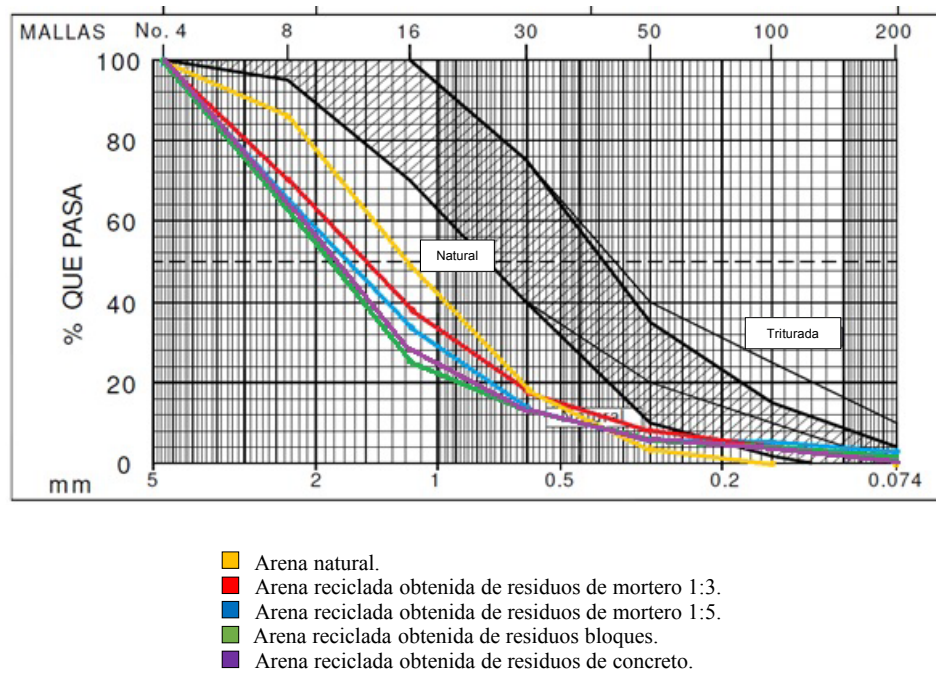
Figura 10. Productos de trituración manual.



Fuente: elaboración propia

Respecto a la arena natural, N, se consideró la norma NADF-007-RNAT-2013, que señala evitar polvos, contaminantes y humedad, productos químicos, arcilla y materiales que afecten la hidratación y adherencia del cemento. De igual forma se cribó (malla 4) y los finos se almacenaron. La gráfica 1 muestra que las curvas granulométricas de los agregados son similares, pero se encuentran fuera de los rangos recomendados.

Figura 11. Curvas granulométricas de los áridos obtenidos



Fuente: elaboración propia

Los morteros se elaboraron por cada tipo de agregado con cemento Portland y cemento de albañilería. La primera mezcla se realizó con la dosificación 1:5, en referencia a la recomendación del fabricante del cemento de albañilería; además, por la especificación oficial de las obras públicas de Chiapas, que establece esa proporción cemento-arena, para morteros utilizados en mampostería. La segunda mezcla se elaboró con dosificación 1:4 y 1:3, también recomendadas por la norma NMX-C-486-ONNCCE-2014. A continuación, se muestran las mezclas realizadas (tablas 2 a la 5):

Tabla 2. Mezclas 1:5, con cemento de albañilería.

Tipo de mortero	Tipo de cemento	Tipo de arena	Dosificación volumétrica cemento-arena	Relación agua-cemento (A/C)
A	Cemento de albañilería	A	1:5	1.5
A ₂	Cemento de albañilería	A ₂	1:5	1.1
B	Cemento de albañilería	B	1:5	1.6
C	Cemento de albañilería	C	1:5	1.6
N	Cemento de albañilería	N	1:5	1.1

Fuente: elaboración propia

Tabla 3. Mezclas 1:5, con cemento Portland compuesto.

Tipo de mortero	Tipo de cemento	Tipo de arena	Dosificación volumétrica cemento-arena	Relación agua-cemento (A/C)
A _g	Cemento Portland Compuesto	A	1:5	1.5
N _g	Cemento Portland Compuesto	N	1:5	1.4

Fuente: elaboración propia

Tabla 4. Mezclas 1:4, con cemento de albañilería

Tipo de mortero	Tipo de cemento	Tipo de arena	Dosificación volumétrica cemento-arena	Relación agua-cemento (A/C)
B _{1:4}	Cemento de albañilería	B	1:4	1
D _{1:4}	Cemento de albañilería	D	1:4	0.94
E _{1:4}	Cemento de albañilería	E	1:4	0.80
N _{1:4}	Cemento de albañilería	N	1:4	0.80

Fuente: elaboración propia

Tabla 5. Mezclas 1:3, con cemento de albañilería y cemento Portland compuesto

Tipo de mortero	Tipo de cemento	Tipo de arena	Dosificación volumétrica cemento-arena	Relación agua-cemento (A/C)
B _{1:3}	Cemento de albañilería	B	1:3	0.9
N _{1:3}	Cemento de albañilería	N	1:3	0.7
B _{1:3g}	Cemento Portland Compuesto	B	1:3	0.9
N _{1:3g}	Cemento Portland Compuesto	N	1:3	0.7

Fuente: elaboración propia

La cantidad de agua se definió por la trabajabilidad de las mezclas y fue la necesaria para que alcanzaran los límites de revenimiento permisible (160 mm; NMX-C-486-ONNCCE-2014). La trabajabilidad es la propiedad más importante del mortero en estado fresco para que se distribuya y adhiera fácilmente en las superficies horizontales y verticales de las piezas de mampostería, y con ello, se expulse fluidamente cuando el operario presiona la pieza superior y permita la colocación, nivelación y alineación de las piezas. Por tanto, se procuró una trabajabilidad uniforme en los morteros.

Las mezclas de agregados se realizaron en seco en un recipiente no absorbente hasta lograr un color homogéneo. Luego se agregó agua y se mezcló por lo menos en 4 min hasta lograr la mínima fluidez. En el caso del inicio de endurecimiento, el mortero se remezcló por una sola ocasión para que volviera a tomar la consistencia deseada, agregándole un poco de agua si era necesario. En seguida, las mezclas de mortero se colocaron en recipientes de acero de 5x5x5 cm (figura 11). Para cada una de las 15 dosificaciones propuestas se elaboraron 6 probetas, por lo que se crearon 90 especímenes, mismos que se dejaron reposar (proceso de curado) por 7 días y, a los 28 días, se realizaron los ensayos a la compresión con el equipo “Prensa eléctrica digital con marco de compresión de 120,000 kgf, marca ELVEC”, del Laboratorio de Materiales de la Facultad de Arquitectura de la Universidad Autónoma de Chiapas.

Figura 12. Probetas de mortero.



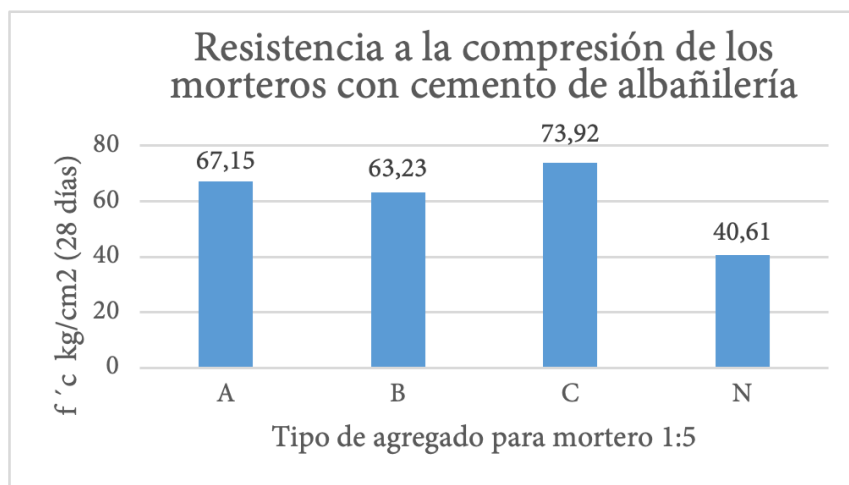
Fuente: elaboración propia

Resultados

Morteros con misma materia prima y diferente tiempo de elaboración. En el primer análisis se compararon los resultados obtenidos de los morteros A y A2, proporción 1:5. El tipo A tuvo una resistencia a la compresión promedio de 67.15 kg/cm² y el tipo A2 de 136.65 kg/cm², el doble de A. La diferencia fue el tiempo de elaboración; A tenía más de 28 días y A2 estaba en estado “fresco”. Por tanto, se determinó que todos los morteros con RCD usados en esta investigación, por lo menos, tendrán 28 días.

Morteros con distinto agregado con cemento de albañilería y dosificación 1:5. Los morteros con agregados reciclados A, B y C, tuvieron resultados favorables de resistencia a la compresión promedio; A = 67.15 kg/cm², B = 63.23 kg/cm², C = 73.92 kg/cm²; el mortero B registró la resistencia más baja de los tres; sin embargo, supera 35% la resistencia del mortero testigo; N = 40.61 kg/cm². Las resistencias de todos los morteros de RCD logran el valor mínimo de 60 kg/cm² (6 MPa), establecida por la norma NMX-C-486-ONNCCE-2014, como mortero tipo III (gráfica 2).

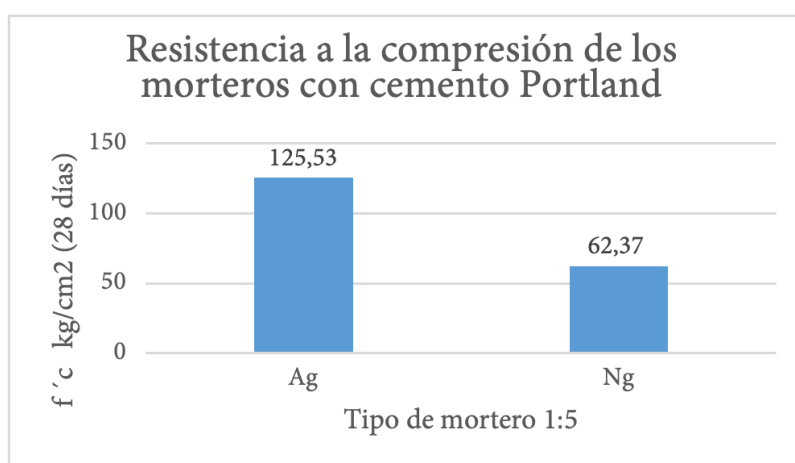
Figura 13. Resultados de morteros con cemento de albañilería; 1:5



Fuente: elaboración propia

Morteros con cemento Portland compuesto y dosificación 1:5. Los resultados del mortero testigo, elaborado con arena natural, muestran que la resistencia a la compresión promedio de $N_g = 62.37 \text{ kg/cm}^2$, apenas por encima de la norma de referencia, mortero tipo III. También, se observa que los morteros con arenas recicladas de RCD, mejoraron la resistencia, $A_g = 125.53 \text{ kg/cm}^2$, superior a 110 kg/cm^2 (11 MPa), establecido como mínimo para mortero tipo II (NMX-C-486-ONNCCE-2014) (ver gráfica 3).

Figura 14. Resultados de morteros con cemento Portland compuesto; 1:5

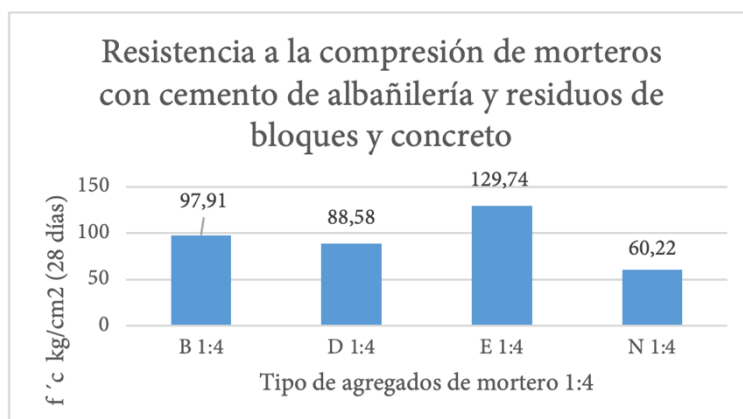


Fuente: elaboración propia

Resultados de las probetas con residuos B de mortero, D de bloques y E de concreto. En la gráfica 4, los resultados muestran que los morteros, proporción 1:4, con cemento de albañilería y RCD, incrementaron su resistencia a la compresión promedio, en comparación con la proporción 1:5. El mortero testigo, N1:4, con arena natural, registró la menor resistencia con 60.22 kg/cm^2 ,

que fue superada por todos los morteros de RCD; mortero D1:4 = 88.58 kg/cm² (47%), mortero B1:4 = 97.91 kg/cm² (62.59%) y el mortero E1:4 = 129.74 kg/cm² (115%), que además, obtuvo una resistencia promedio mayor que la mínima para morteros tipo II (NMX-C-486-ONNCCE-2014).

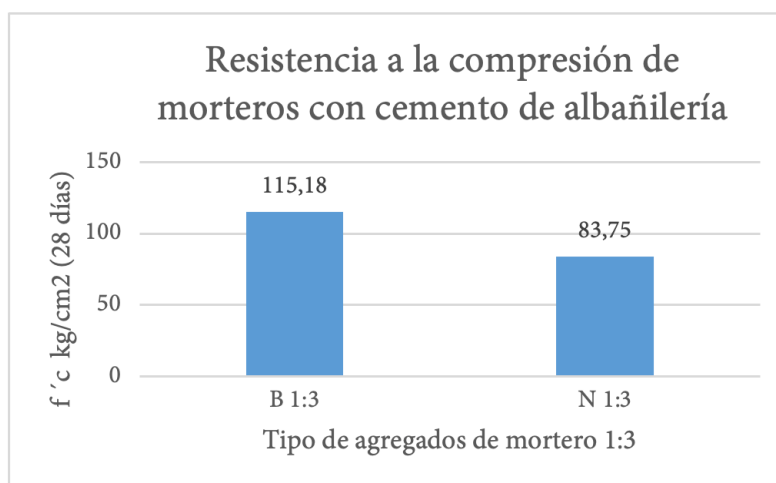
Figura 15. Resultados de morteros con cemento de albañilería; 1:4



Fuente: elaboración propia

Resultados de las probetas con proporciones 1:3. El mortero B1:3 elaborado con cemento de albañilería y agregados reciclados, obtuvo una resistencia promedio de 115.18 kg/cm², 37.53% mayor que la resistencia del mortero testigo, N1:3 = 83.75 kg/cm² (gráfica 5).

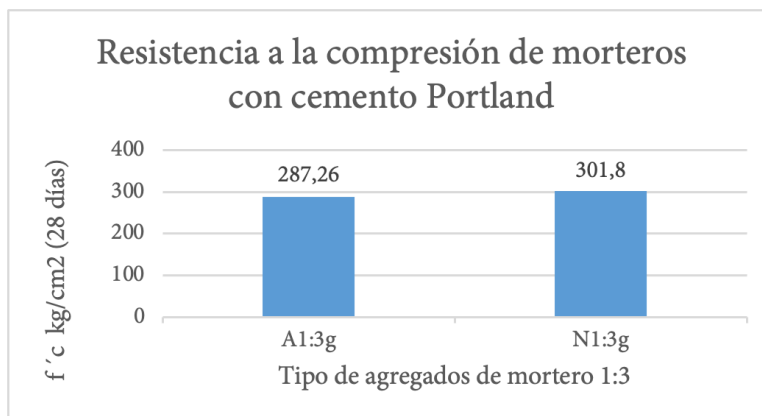
Figura 16. Resultados de morteros con cemento de albañilería; 1:3



Fuente: elaboración propia

La gráfica 6 muestra la resistencia promedio obtenida del mortero A1:3g = 287.26 kg/cm², elaborado con cemento Portland compuesto y áridos reciclados, proporción 1:3. Los resultados indican que el mortero testigo, N1:3g = 301.80 kg/cm², supera 5.06% la resistencia de A1:3g a diferencia de la proporción 1:5, donde el mortero con RCD supera 50% la resistencia del mortero testigo (tabla 6).

Figura 17. Resultados de morteros con cemento Portland compuesto; 1:3.



Fuente: elaboración propia

Tabla 6. Resistencia a la compresión de morteros 1:3 y 1:5 con cemento Portland compuesto.

Resistencia a la compresión de morteros 1:3 y 1:5 con cemento Portland.		
Tipo de mortero	1:3	1:5
Con agregado natural	301.8 kg/cm ²	62.37 kg/cm ²
Con agregado reciclado	287.26 kg/cm ²	125.53 kg/cm ²

Fuente: elaboración propia

Discusión

Los morteros con cemento de albañilería y arena natural del río Santo Domingo tienen alta trabajabilidad² y resistencia a la compresión, son ideales para la construcción de viviendas, específicamente en los aplanados o recubrimientos, pegado de bloques y ladrillos, colocación de mosaicos, en acabados estéticos, etc. La aplicación de estos morteros es recurrente en Tuxtla Gutiérrez y localidades de Chiapas, por su accesibilidad y bajo precio en comparación al cemento Portland compuesto. Por otra parte, las especificaciones de calidad del cemento de albañilería están establecidas en la norma NMX-C-021-ONNCCE-2015, pero no se recomienda para elementos estructurales como zapatas, columnas, losas, trabes, etc. En estos casos, el cemento Portland compuesto es el adecuado.

Los resultados obtenidos muestran que los morteros con agregados reciclados con proporción 1:4 y 1:5, tienen resistencias a la compresión promedio satisfactoria, a diferencia de la proporción 1:3. Los factores que influyen en la resistencia de las mezclas, se describen a continuación:

Cantidad de cemento. Los resultados de la resistencia a la compresión promedio de las diferentes mezclas con la misma cantidad de cemento, son diferentes y dependen del origen del agregado; residuos de aplanado, bloques, piezas de concreto o arena natural (gráfica 2).

² Propiedad que se relaciona con la facilidad de movimiento de los agregados con la pasta de cemento, incluye la plasticidad, consistencia, cohesión y adherencia.

Relación agua-cemento. La ley de Abrams señala que, con los mismos materiales y condiciones de análisis, la resistencia del concreto a una edad dada es inversamente proporcional a la relación agua-cemento. En los ensayos realizados, los morteros con áridos reciclados consumieron más agua que los morteros testigos, por tanto, esta relación agua-cemento no corresponde, ya que estos morteros tienen mayor resistencia que los morteros testigos, proporciones 1:5 y 1:4.

Características de los agregados. Las partículas del agregado tales como el tamaño, la forma, la textura y el tipo de mineral, contribuyen en la resistencia de morteros y concretos (Mehta & Monteiro, 1998).

Figura 18. Estructura de la falla de una probeta de mortero con agregado natural.



Fuente: elaboración propia

Al analizar visualmente las probetas, se observó que las partículas de arena natural no tienen recubrimiento de cemento (figura 12), a diferencia de los áridos reciclados que están cubiertas de cemento (figura 13). Esto indica la falta de adherencia del cemento en las partículas de arena natural debido a que presentan aristas redondeadas y superficie lisa (figura 14), a diferencia de las partículas de agregado reciclado que tienen superficie rugosa y morfología irregular, con presencia de aristas pronunciadas y con alta rugosidad que dificultan el deslizamiento y desprendimiento de partículas (figura 15). De acuerdo con Cabrera et al. (2011), la forma y la textura superficial de las partículas del árido fino son los aspectos principales de la fricción mecánica interna del mortero y el concreto. La diferencia de la resistencia a la compresión puede atribuirse a la superficie de los agregados y su morfología, comportamiento que se ha observado en diversos trabajos de investigación como los realizados por Özturan & Crecen (1997).

Figura 19. Estructura de la falla de una probeta de mortero con agregado reciclado.



Fuente: elaboración propia

Figura 20. Partículas de arena natural retenidas en la malla No. 8



Fuente: elaboración propia

Figura 21. Partículas de arena reciclada retenidas la malla No. 8



Fuente: elaboración propia

En los análisis de morteros con agregados de RCD llevados a cabo por López Gayarre et al. (2017); Feys et al. (2016); Braga et al. (2012); Dang et al. (2018); Kallel et al. (2016); Stefanidou et al. (2014); Ismail et al. (2016), los resultados obtenidos muestran que las resistencias a la compresión promedio superan a los morteros de referencia hechos con arena natural; sin embargo, en ningún caso, se utiliza exclusivamente agregados de RCD, ya que fueron mezclas de arena reciclada y arena natural, con excepción de los análisis realizados por Dang et al. (2018), que utilizó diferentes tipos de residuos y de ellos, los que superaron a los morteros testigos, fueron los residuos de ladrillo combinado con mortero de demolición. Es importante destacar que los morteros fueron elaborados con arena reciclada y cemento Portland compuesto, en ningún caso los morteros con agregados reciclados de RCD se utilizó cemento de albañilería como en el caso que se presenta.

Por otra parte, en la mayoría de los estudios, los autores utilizan una proporción de cemento-arena 1:3, solo Álvarez (1997), elabora morteros de proporción 1:8 y López Gayarre et al. (2017), de 1:6. En ambos casos, los resultados fueron aceptables, por lo que es fundamental continuar con evaluaciones de resistencia a la compresión de morteros con agregados reciclados, con proporciones bajas de cemento Portland compuesto o de albañilería y con base en las normas.

Por último, se reconoce que el presente trabajo de investigación está enfocado sólo en los análisis específicos de la resistencia a la compresión de los especímenes de morteros, lo cual está directamente relacionado con el equipo de medición disponible en el Laboratorio de Materiales de la Facultad de Arquitectura de la UNACH. En este sentido, es importante mencionar que se debe profundizar en el estudio de las propiedades mecánicas de los áridos reciclados, por lo que también se deben realizar análisis por cortante y módulo de elasticidad, además de otros que requieren equipos de medición técnicamente complejos o avanzados, para efectuar análisis químicos microestructurales, y, con ello, garantizar que los materiales tengan características y comportamiento estructural adecuado, de acuerdo con las normas, y sean utilizados en la construcción de viviendas, sin riesgos químicos que afecten la salud de los habitantes.

Conclusiones

Los análisis realizados de morteros compuestos con cemento de albañilería y agregados de residuos de construcción y demolición (RCD) de la ciudad de Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, permitieron evaluar la resistencia a la compresión y comparar los resultados tanto con los morteros testigos elaborado con arena natural del banco de material río Santo Domingo como con las normas técnicas establecidas.

Los resultados de la resistencia a la compresión promedio en todos los morteros elaborados con agregados reciclados y mezclados con cemento de albañilería, proporción 1:5, a 28 días, superan la resistencia obtenida del mortero testigo de 40.61 kg/cm² elaborado con arena del río Santo Domingo. Todos los morteros alcanzaron la resistencia mínima establecida por la norma NMX-C-486-ONNCCE-2014 de 60 kg/cm² (6 MPa), para morteros tipo III, con excepción al mortero testigo. Respecto a la proporción 1:4, con los mismos materiales, todos los morteros con

agregado de RCD incrementaron su resistencia a la compresión, incluso el mortero testigo obtuvo un valor de 60.22 kg/cm². Destaca el mortero con residuos de concreto hidráulico que obtuvo una resistencia de 129.74 kg/cm², que supera la mínima establecida por la norma de 110 kg/cm² (11 MPa) para morteros tipo II.

La resistencia a la compresión promedio obtenida de los morteros elaborados con árido de mortero de RCD y con cemento Portland compuesto, proporción 1:5, alcanzó un valor de 125.53 kg/cm², mayor a la mínima establecida por la norma NMX-C-486-ONNCCE-2014 (110 kg/cm²); además, duplicó la resistencia de los morteros testigos. La diferencia entre ambos morteros se debe principalmente a las características de las partículas de los agregados reciclados como el tamaño, la forma, la textura de la superficie y las aristas.

Los morteros, proporción 1:3, con mezclas de arena reciclada de morteros de RCD y cemento de albañilería, tuvieron una resistencia promedio de 115.18 kg/cm², superior a la mínima establecida para morteros tipo II (110 kg/cm²); asimismo, la resistencia del mortero testigo obtuvo un valor de 83.75 kg/cm². Por otra parte, con los mismos agregados, pero con cemento Portland compuesto, la resistencia del mortero residual obtenido en obra alcanzó un valor de 287.26 kg/cm², menor al mortero testigo que registró una resistencia de 301.80 kg/cm², ambos resultados superan la resistencia mínima establecida de 180 kg/cm² para morteros tipo I (NMX-C-486-ONNCCE-2014).

El estudio realizado de morteros con agregados de RCD y con cemento de albañilería, son factibles para utilizarse en trabajos de albañilería como aplanados o recubrimientos y pegado de piezas de mampostería (tabicón, bloques o ladrillos), entre otros; también, se reconoce la importancia que tienen la utilización de estos morteros para trabajos de albañilería, en la construcción de viviendas, específicamente en los aplanados o recubrimientos, pegado de piezas de bloques y ladrillos, relleno de bloques huecos para muros de carga, pagado de azulejos o mosaicos, acabados estéticos, etc.

El reciclaje y reúso de los RCD son técnicas que cumplen con los principios de la construcción sostenible (Kibert, 1994). Sin duda, el uso de áridos obtenidos de los RCD para la elaboración de morteros o concretos utilizados en la construcción, reduce los efectos ambientales negativos en los procesos de extracción de agregados, arena y grava, y favorece la conservación de recursos naturales; asimismo, la reutilización, el reciclaje o la renovación de insumos, como parte del manejo adecuado de los RCD, contribuye al mejoramiento de la imagen urbana y el paisaje natural, a la disminución de las emisiones de gases de efecto invernadero y, por ende, a la mitigación del calentamiento global.

Referencias

Aguilar, A., Neftalí, M., & Gómez, J. (2017). Physicochemical, Mineralogical and Microscopic Evaluation of Sustainable Bricks Manufactured with Construction Wastes. *Applied Sciences*, 7(10), 1012. <https://doi.org/10.3390/app7101012>

- Alegría, J. (2010). *Elaboración de blocks con residuos de construcción obtenidos en Tuxtla Gutiérrez* [Tesis de licenciatura, Universidad Autónoma de Chiapas].
- Álvarez, J. (1997). Morteros de albañilería con escombros de demolición. *Materiales de Construcción*, 47(246), 43–48.
- Braga, M., de Brito, J., & Veiga, R. (2012). Incorporation of fine concrete aggregates in mortars. *Construction and Building Materials*, 36, 960–968. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2012.06.031>
- Cabrera, O., Traversa, L. & Ortega, N. (2011). Estado fresco de morteros y hormigones con arenas de machaqueo. *Materiales de Construcción*, 61(303), 401–416.
- Cámara Mexicana de la Industria de la Construcción [CMIC] (2013). *Plan de manejo de residuos de la construcción y demolición*. <https://lc.cx/rBhfeV>
- Dang J., Zhao J., Hu W., Du Z. & Gao D. (2018). Properties of mortar with waste clay bricks as fine aggregate. *Construction and building materials*, 166, 898–907.
- Feys, C., Joseph, M., Boehme, L., & Zhang, Y. (2016). *Assessment of fine recycled aggregates in mortar*. [Congreso] Materials, Technologies and Components for Sustainable Buildings. Central Europe towards Sustainable Building.
- Figuerola, J. (1973). *Sismicidad en Chiapas*. Universidad Nacional Autónoma de México.
- Granell, E. (2014). *Concretos Reciclados. Experiencia empresarial de los RCD en México*. Cámara Mexicana de la Industria de la Construcción.
- Instituto Nacional para el Federalismo y Desarrollo Municipal [INAFED] (2014). Base de datos del Sistema Nacional de Información Municipal. <http://www.snim.rami.gob.mx/>
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía [INEGI] (2015 y 2020). México en cifras. Chiapas. <https://www.inegi.org.mx/app/areasgeograficas/?ag=07>
- Ismail, S., Hamid, M. A. A., & Yaacob, Z. (2018). Influence of fine recycled concrete aggregates on the mechanical properties of high-strength mortars. *AIP Conference Proceedings*, 12(1). <https://doi.org/10.1063/1.5055461>
- Kallel, T., Kallel, A. & Samet, B. (2016) Durability of mortars made with sand washing waste. *Construction and building materials*, 122, 728–735.
- Kibert, C. J. (1994). *Sustainable construction: Proceedings of the First International Conference of CIB TG 16, November 6-9, 1994, Tampa, Florida, U.S.A.* University of Florida, Center for Construction & Environment.
- López Gayarre, F., López Boadella, Í., López-Colina Pérez, C., Serrano López, M., & Domingo Cabo, A. (2017). Influence of the ceramic recycled aggregates in the masonry mortars properties. *Construction and Building Materials*, 132, 457–461. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.12.021>
- Mehta, K., & Monteiro, P. (1998). *Concreto, estructura, propiedades y materiales*. Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto.
- Morales, H. & Ramírez, C., (2008). *Valoración ambiental de la extracción de arena del río Santo Domingo* [Tesis de licenciatura, Universidad Autónoma de Chiapas].

- NADF-007-RNAT-2013 (2015). Norma Ambiental para el Distrito Federal. Clasificación y especificaciones de manejo para residuos de la construcción y demolición en el Distrito Federal. Secretaría del Medio Ambiente. México.
- NMX-C-021-ONNCCE (2010). Norma Mexicana de la Industria de la Construcción cemento para albañilería (mortero). Especificaciones y Métodos de ensayo. Organismo Nacional de Normalización y Certificación de la Construcción y la Edificación S. C., México.
- NMX-C-486-ONNCCE (2014). Norma Mexicana de la Industria de la Construcción para mortero de uso estructural. Especificaciones y Métodos de ensayo. Organismo Nacional de Normalización y Certificación de la Construcción y la Edificación S. C., México.
- Normas Técnicas Complementarias [NTC] (2017). Normas técnicas complementarias para el diseño y construcción de estructuras de mampostería, Gaceta Oficial de la Ciudad de México. Gobierno de la Ciudad de México, pp. 614-688.
- Özturan, T., & Çeçen, C. (1997). Effect of coarse aggregate type on mechanical properties of concretes with different strengths. *Cement and Concrete Research*, 27(2), 165–170. [https://doi.org/10.1016/s0008-8846\(97\)00006-9](https://doi.org/10.1016/s0008-8846(97)00006-9)
- Pérez, S., & Vázquez, I. (2016). *Sustentabilidad en los márgenes del Río Santo Domingo, Chiapa de Corzo, Chiapas* [Tesis de licenciatura, Universidad Autónoma de Chiapas].
- Sánchez, V., González, R., Vera P., Albores, R., & Escobar, D. (2017). *Problemática e impacto de los residuos de construcción y demolición en Tuxtla Gutiérrez, Chiapas*. [Congreso] Mesoamericano de investigación UNACH.
- Silva, M., García, A., & Hernando, A. (2015). Crecimiento de la mancha urbana en la Zona Metropolitana de Tuxtla Gutiérrez (Chiapas, México). *Quehacer Científico*, 10(2).
- Stefanidou, M., Anastasiou, E., & Georgiadis Filikas, K. (2014). Recycled sand in lime-based mortars. *Waste Management*, 34(12), 2595–2602. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2014.09.005>
- Yeang, K. (1999). *Proyectar con la naturaleza: bases ecológicas para el proyecto arquitectónico*. Editorial Barcelona.

Autores

Mauricio Alberto Hidalgo Jiménez. Estudiante de Doctorado en Ingeniería por la Universidad Autónoma de Nuevo León (UANL, México), Maestro en Arquitectura y Urbanismo por la Universidad Autónoma de Chiapas (UNACH, México), Ingeniero Civil por la UNACH.

Lorenzo Franco Escamiroso Montalvo. Doctor en Arquitectura por la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM, México), Maestro en Ingeniería Ambiental por la Universidad Autónoma de Yucatán (UADY, México), Especialista en Análisis Estructural en el Instituto National des Sciences Appliquée de Lyon (INSA de Lyon, Francia), Ingeniero Civil por el Centro Nacional de Enseñanza Técnica Industrial (CeNETI, México), Profesor de Enseñanza Técnica Industrial con Especialidad en Construcción.

Declaración

Conflicto de interés

No tenemos ningún conflicto de interés que declarar.

Financiamiento

Sin ayuda financiera de partes externas a este artículo.