

Factibilidad económico-constructiva del carrizo, el mimbre y el polvo de mármol para elaborar cadenas en muros

Economic and Constructive Feasibility of Reed, Wicker and Marble Powder, to Make Chains in Walls

Gonzalo José Francisco Pérez-Gómez-Martínez

Universidad Autónoma de Coahuila. Torreón, Coahuila (México)
Escuela de Arquitectura

José Guadalupe Rubio-Sánchez

Universidad Autónoma de Coahuila. Torreón, Coahuila (México)
Escuela de Arquitectura

César Ponce-Palafox

Universidad Autónoma de Coahuila. Torreón, Coahuila (México)
Escuela de Arquitectura

Lizbeth Salgado-Conrado

Universidad Autónoma de Coahuila. Torreón, Coahuila (México)
Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica

Alma Graciela Esmeralda-Gómez

Universidad Autónoma de Coahuila. Torreón, Coahuila (México)
Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica

CITE

Pérez-Gómez-Martínez, G. J. F., Rubio-Sánchez, J. G., Ponce-Palafox, C., Salgado-Conrado, L., & Esmeralda-Gómez, A. G. (2023). Factibilidad económico-constructiva del carrizo, el mimbre y el polvo de mármol para elaborar cadenas en muros. *Revista de Arquitectura (Bogotá)*, 25(1), 146-157. <https://doi.org/10.14718/RevArq.2023.25.3595>

Gonzalo José Francisco Pérez-Gómez-Martínez

Arquitecto, Universidad La Salle Laguna, Gómez Palacio, México.
Doctor en ingeniería, Universidad Juárez del Estado de Durango, Gómez Palacio, México.

https://scholar.google.es/citations?hl=es&user=CRI_DEEAAA

<https://orcid.org/0000-0002-0532-2063>

gonzalopgm@hotmail.com

José Guadalupe Rubio-Sánchez

Arquitecto, Universidad Autónoma de Coahuila, Torreón, México.

<https://orcid.org/0000-0002-3958-0431>

jose_grs96@hotmail.com

César Ponce-Palafox

Ingeniero civil, Universidad Autónoma de Coahuila, Torreón, México.
Doctor en Ingeniería, Universidad de Sonora, Hermosillo, México.

<https://scholar.google.es/citations?hl=es&user=g8Yey7AAAA>

<https://orcid.org/0000-0002-5991-3395>

cesarponce@uadec.edu.mx

Lizbeth Salgado-Conrado

Ingeniera mecánica automotriz, Instituto Superior de Ingeniería, Toluca, México.

Doctora en Ciencias en Ingeniería Mecánica, Instituto Politécnico Nacional, México, México.

<https://orcid.org/0000-0002-2181-5861>

<https://scholar.google.com.mx/citations?user=eYA3W6wAAAA-J&hl=es>

<https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorid=55792383900>

lizbeth_salgado@uadec.edu.mx

Alma Graciela Esmeralda-Gómez

Ingeniera en Materiales, Instituto Tecnológico de Saltillo, Saltillo, México.

Doctora en Ingeniería, Universidad Autónoma de Nuevo León, Monterrey, México.

<https://scholar.google.es/citations?hl=es&user=rWz5LYwAAAA>

<https://orcid.org/0000-0003-1998-0056>

aesmeralda@uadec.edu.mx

Resumen

La investigación tuvo el propósito de definir un sistema alternativo para la construcción del marco rígido de la vivienda. Con tal fin, se fijó el objetivo de comprobar si un refuerzo para el concreto podría lograrse con una estructura conformada por caña de carrizo y vara de mimbre. La base teórica de la investigación comprendió el análisis de referencias relacionadas con la problemática del costo de la vivienda, tanto de antecedentes como de definición del marco conceptual. La metodología comprendió primeramente una revisión documental, para poder llevar a cabo un trabajo de tipo experimental en laboratorio, y desarrollar la parte matemática para la definición de resultados. De los ensayos realizados se pudo constatar que dalas y castillos, con una estructura principal de carrizo y estribos de mimbre, para reforzar un concreto que sustituye una parte de arena por polvo de mármol, pueden tener un adecuado comportamiento estructural y, en tal sentido, brindar seguridad a la construcción. Así pues, por su costo, más accesible, dichos materiales son viables para ser utilizados en la autoconstrucción de viviendas.

Palabras clave: aglutinante; compresión; costos; elemento estructural; flexión

Abstract

The purpose of the research was to define an alternative system for the construction of the rigid frame of the house. To this end, the objective was to test whether a concrete reinforcement could be achieved with a structure made of reed cane and wicker rod. The theoretical basis of the research included the analysis of references related to the housing cost problem, both in terms of background and definition of the conceptual framework. The methodology included firstly a documentary review, in order to carry out an experimental type of work in the laboratory, and develop the mathematical part for the definition of results. From the tests carried out, it was found that concrete chains and castles, with a main reed structure and wicker stirrups, to reinforce a concrete that replaces a part of the sand with marble dust, can have an adequate structural behavior and, in that sense, provide safety to the construction. Therefore, due to its more accessible cost, these materials are viable for use in the self-construction of houses.

Keywords: bending; binder; compression; cost; structural element

CADENAS EN MUROS
AGLUTINANTE MIMBRE
ELEMENTO ESTRUCTURAL
COMPRESIÓN
INVESTIGACIÓN
CARRIZO
CONCRETO
NOXETA
CONSTRUCCIÓN
SEGURIDAD
MÉXICO



<http://dx.doi.org/10.14718/RevArq.2023.25.3595>

Recibido: julio 30 / 2020 Evaluado: septiembre 14 / 2020 Aceptado: junio 21 / 2022

Introducción

La presente investigación se enfoca en el problema del acceso a una vivienda adecuada y digna; principalmente, por el costo que esta llega a tener. Abordada tal cuestión dentro del desarrollo de un trabajo de tesis de licenciatura, se pretendió buscar una solución alternativa más accesible económicamente hablando, que los sistemas convencionales de construcción utilizados en el país. El trabajo, la investigación y las pruebas realizadas fueron parte de los pasos que siguió el estudio para obtener las respuestas. Los costos de materiales y traslados fueron absorbidos por el estudiante que desarrolló la tesis como parte de su trabajo, pero todas las pruebas se desarrollaron en los laboratorios de la Universidad Autónoma de Coahuila, por lo que esa parte fue financiada por la institución.

El problema del acceso a una vivienda adecuada y digna continúa siendo un grave problema en la actualidad que se observa en los países con economías en desarrollo, o muy limitadas; de ahí la relevancia de crear sistemas constructivos que resulten accesibles, que demuestren una adecuada apropiación técnica —y también cultural— por parte de los usuarios. Por ello, en relación con su costo de fabricación y con su proceso de elaboración, es necesario demostrar la factibilidad económica de tales sistemas. De esta forma, los conceptos económicos, constructivos y culturales plantean la problemática que aborda esta investigación.

En México, un porcentaje muy importante de la población tiene recursos económicos muy escasos para afrontar un proceso constructivo tradicional; además, pocas de estas personas laboran dentro de la formalidad, así que tampoco tienen fácilmente acceso a sistemas de financiamiento hipotecario (Conavi, 2012); por otro lado, la Comisión Nacional de Vivienda (Conavi) ofrece subsidios en la construcción de vivienda social, si en estos son utilizados sistemas y materiales que tengan un mejor impacto ambiental, en el sentido de que ayuden a reducir la huella de carbono, en comparación con la edificación convencional (Betancourt et al., 2015, p. 3). Lo anterior obliga a muchas personas sin acceso a subsidios como los de Conavi a recurrir a la autoconstrucción, pero utilizando materiales endebles y poco duraderos, como el cartón, el plástico, las tarimas, etc. (Salgado Ortiz, 2016, p. 11). El resultado de lo anterior es que sus viviendas son inseguras, de una cuestionable habitabilidad, indignas como hogares y, por ende, con un escaso valor como patrimonio de las familias. Todo eso lleva irremediablemente, como menciona Clark Flores (2020, p. 8), a que no se logre una calidad tal en la vivienda, que no favorezca una vida digna para los usuarios, por lo tanto, el producto no cumple con su meta primaria de ofrecer un hábitat seguro, accesible y confortable.

El problema de tener una vivienda digna, segura y económica es importante en México: tan solo en el estado de Coahuila, según datos de la Conavi (2012) citados por Ortega Sifuentes (2018, p. 18), más de 150.000 personas habitan viviendas construidas con materiales de mala calidad y con espacios insuficientes. Mientras, cerca de 160.000 más no cuentan en sus hogares con la infraestructura básica, referida al suministro de agua potable, electricidad, drenaje y urbanización terminada. También es una realidad que los usuarios están cada vez menos dispuestos a aceptar productos de calidad deficiente (Clark Flores, 2020, p. 1). Además de lo anterior, persiste el hecho de que no pocos materiales usados en la construcción de casas-habitación son inadecuados para las condiciones climatológicas del lugar, por lo que generan grandes molestias a los usuarios (Díaz de León de la Rosa, 2018, p. 16). Por último, en el más reciente censo poblacional se destacó que en el estado de Coahuila hay casi 715.000 viviendas que fueron edificadas con sistemas y materiales inadecuados, por lo cual cabe inferir que representan situaciones de inseguridad para sus ocupantes (INEGI, 2010). Todo lo anterior, obviamente, tiene un alto impacto negativo, tanto social como económico, dentro del estado.

Por lo anterior, con el presente estudio se buscará evaluar la factibilidad de un sistema estructural que pueda utilizarse para las cadenas del marco rígido, y que tendrá como base el uso para refuerzo principal a flexión de la planta *Arundo donax L.*, conocida en México como “carrizo”, proveniente del continente asiático y propia de sistemas acuáticos, y a la cual se clasifica como una especie invasora (González & Silva, 2012, p. 34). Para la elaboración de los anillos o los estribos, se usarán las ramas de la especie *Salix viminalis*, mejor conocida en este país como “mimbre”, planta de la familia del sauce (Andaur Espinoza, 2014). Por último, para la elaboración del concreto se suplirá un porcentaje del agregado fino (arena) con polvo residuo del corte de bloques de mármol. El uso de dichos materiales alternativos, como establecen Sornoza et al. (2022, p. 1075), es la oportunidad de que la obra sea más amigable con su entorno, más económica, y facilitadora de su propio reciclaje, y de uso, principalmente, en vivienda, con materiales que están más ligados a la cultura popular, permiten un mayor apropiamiento por parte de la gente, y cuya ocupación constructiva permite que la edificación tenga una mejor respuesta hacia su medio físico y climatológico (Roux & Espuna, 2015).

Justificación

En el presente estudio se pretende trabajar dentro del sistema de *muro de mampostería*, al cual se define como el que utiliza un *marco rígido*, constituido por cadenas reforzadas con acero para darle mayor estabilidad al muro

(Jefatura de Gobierno, 2017, p. 40). Además, se busca determinar la conveniencia económica y de rendimiento del personal de dicho sistema alternativo contra el estándar en la construcción de vivienda social, que usa concreto normal con refuerzo de armex (armadura prefabricada con cuatro varillas de 5/16"). Mayormente se destaca la necesidad de ofrecer alternativas constructivas, si se atiende a la información proporcionada por el Consejo Nacional de Evaluación de la Política de Desarrollo Social (Coneval) (2016), y la cual señala que en el Estado de Coahuila, si bien el porcentaje de la pobreza poblacional va en descenso, el de carencia en la calidad de los espacios habitables va en aumento, como respuesta a la utilización de materiales constructivos inadecuados. Lo anterior se ve agravado, por cuanto en la entidad casi 500.000 personas (el 44 % de la población económicamente activa) no tienen la posibilidad de acceder a los recursos de algún fondo hipotecario, debido a que se desempeñan laboralmente dentro de la informalidad (Conavi, 2012). Por tal motivo, según información de Conavi (2020, pp. 20-22), muchas familias mexicanas viven en asentamientos precarios, ya que sus viviendas ofrecen una respuesta muy limitada en cuanto a su tenencia, sus servicios, sus materiales, su asequibilidad, su habitabilidad, su accesibilidad, su ubicación y su adecuación cultural.

Atendiendo a esta realidad de poco acceso a créditos hipotecarios, la población marginada recurre constantemente a la autoconstrucción, pero, desafortunadamente, con materiales de poca resistencia y menos durabilidad (Conavi, 2012). Tal aspecto tenderá a agravarse, si se considera, con base en datos del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) (2015) citados por Díaz de León de la Rosa (2018, pp. 13-14), que la población estimada de México para 2025 aumentará a 132.000.000 de personas, y para 2050 bien podría alcanzar 151.000.000 de habitantes. Por eso, muy probablemente, para 2030, en el país se requerirán más de 10.000.000 de viviendas nuevas (Peláez et al., 2017, p. 45).

Después de verificar que las condiciones de trabajo de los mencionados materiales alternativos sean mecánicamente adecuadas, la investigación buscará, mediante su evaluación económica, establecerlos como una opción que resulte más viable, al compararlos con el método convencional de fabricación de cadenas para muros, y demostrar que el sistema es rentable. El estudio busca, en términos prácticos, una alternativa de menor impacto monetario al bolsillo de las personas, ante el costo de las soluciones actualmente utilizadas en la construcción de la vivienda social (Rubio Sánchez, 2019). Principalmente en los últimos años, se ha consignado que nuevos materiales permiten adecuarse a la demanda de generación en la construcción, y con una clara disminución del impacto ambiental (Santos et al., 2012, p. 22), por lo cual la definición de otras opciones constructivas que resulten

accesibles siempre se verá justificada ante la necesidad de ofrecer seguridad y economía en la edificación de un hogar.

Metodología

Los materiales utilizados en esta investigación fueron la caña común y el mimbre como refuerzo estructural, y el polvo de mármol, como sustituto del 10% de arena gruesa en la mezcla de concreto. Las características naturales de estos materiales se describen enseguida, acotando que su uso para la construcción no es algo nuevo en México:

- La caña común se obtuvo de las orillas del río Nazas, ubicado en la provincia de Durango, México. Cada muestra se cortó en invierno, con una edad de crecimiento de aproximadamente 2 años, para reducir la posibilidad de ataques bióticos. Las cañas comunes recolectadas miden de 5 m-6 m, con un diámetro de entre 20 mm y 30 mm, y se las guardó en un almacén ventilado a temperatura ambiente (22 °C). Es un material que ha sido utilizado dentro de la construcción, para elaborar cubiertas en viviendas de escasos recursos económicos. La figura 1a muestra una fotografía de la caña común.
- El mimbre, del género *Salix viminalis*, se recolectó manualmente en otoño, de un árbol de la familia de los sauces. Su cosecha se obtuvo a las orillas de un canal de riego de la ciudad de Lerdo, ubicada en la provincia de Durango, México. Las muestras tienen 2 años. Midieron 1 m de longitud, con un diámetro variable de 3 mm-5 mm para esa edad. Es un material que en la región del estudio no se ha usado para fines relativos a la construcción.
- El polvo de mármol utilizado en esta investigación proviene de la fábrica Mármol Parra, como se muestra en la figura 1b, ubicada en la ciudad de Lerdo, provincia de Durango, México. Se generó como un desperdicio durante el corte y el dimensionado del mármol, lo cual es un aspecto que, en general, para la región donde se hizo el estudio, representa un problema muy importante, debido a la contaminación ambiental que dicho residuo produce. La tabla 1 muestra la composición química de este material, así como la del cemento y la de la arena gruesa (Moreno Juárez et al., 2020).

Preparación de la muestra de concreto

Para la elaboración del concreto se probaron dos mezclas, buscando que ambas alcanzaran una resistencia de un $f'c = 150 \text{ kg/cm}^2$, como se muestra en la tabla 2. Una de ellas se preparó utilizando el polvo de mármol como una sustitución del 10% de la arena gruesa en la mezcla, y la otra se basó en ocupar los materiales conven-

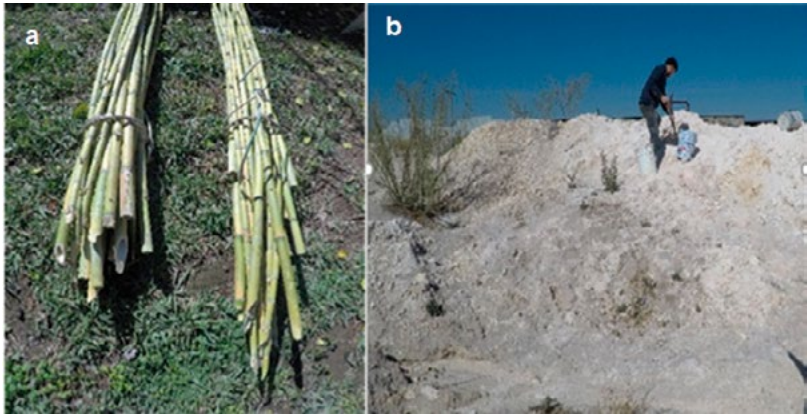


Figura 1. a) Caña común; b) Polvo de mármol.
Fuente: Rubio Sánchez (2019).

Materiales	Cantidades de la mezcla preparada con el 10% de polvo de mármol	Cantidades de la mezcla preparada de forma convencional
Cemento gris	50 kg	50 kg
Arena gruesa	4½ cubetas de 19 lt	5 cubetas de 19 lt
Grava ¾"	5¾ cubetas de 19 lt	5¾ cubetas de 19 lt
Agua	2 cubetas de 19 lt	2 cubetas de 19 lt
Polvo de mármol	½ cubeta de 19 lt	

Tabla 2. Mezclas de concreto $f'c = 150 \text{ kg/cm}^2$.
Fuente: Rubio Sánchez (2019).

cionales en la fabricación del hormigón, por lo que las cantidades de cemento y la grava rodada de ¾" fueron iguales para ambas preparaciones.

El proceso de preparación para los cilindros de prueba de concreto se basó en el estándar NMX77-C-159-ONNCCE-2016. Se utilizaron moldes metálicos de 6 pulgadas por 12 pulgadas, como se muestra en la figura 2a, y fueron puestas sobre una superficie nivelada, y curadas con aceite automotor quemado. Los moldes fueron rellenos con tres capas de concreto; luego se los hizo vibrar, para su adecuado acomodo, con una varilla punta de bala. Finalmente, los lados del molde fueron golpeados con un marro de goma, para lograr la distribución uniforme de la mezcla. Se verificó también que no se formaran burbujas de aire dentro del cilindro ya vaciado. La figura 2b muestra los cilindros de hormigón utilizados en las pruebas, sumergidos en un tanque de agua, para su curado hasta el día de la prueba. Se hicieron un total de doce cilindros; seis de ellos fueron hechos de concreto con el 10% de polvo de mármol como sustituto de la arena gruesa en su mezcla, y seis, con concreto convencional. Dos cilindros de cada mezcla se curaron a los 7, los 14 y los 28 días, respectivamente.

El estándar NMX-C-083-ONNCCE-2014 se usó para calcular la resistencia a la compresión del concreto ($f'c$), por medio de la fórmula (1), que divide la carga máxima soportada (F) entre el área promedio de la sección transversal (A). En la figura 3a se muestra la velocidad con que se aplicó la carga para realizar las pruebas de compresión en los cilindros de concreto, y en las

Constituyentes (m/m%)	Cemento	Polvo de mármol	Arena
CaO	43,59	51,95	3,85
SiO ₂	11,76	2,77	60,76
Al ₂ O ₃	3,17	0,643	12,99
Fe ₂ O ₃	1,46	0,372	1,77
SO ₃	2,03	0,147	0,0206
MgO	1,28	1,35	0,716
K ₂ O	0,403	0,082	3,21
Na ₂ O	0,298	0,196	2,41

Tabla 1. Componentes químicos del polvo de mármol
Fuente: Moreno Juárez et al., (2020).

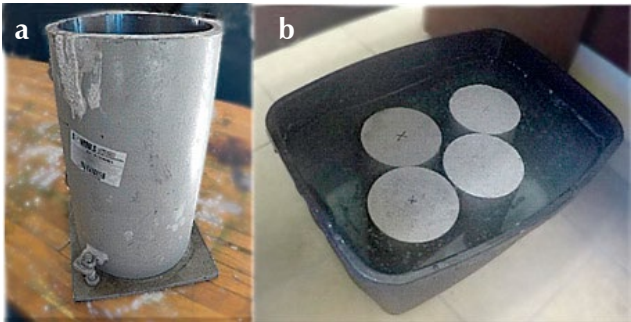


Figura 2. a) Molde cilindro; b) Curado de cilindros.
Fuente: Rubio Sánchez (2019).



Figura 3. a) Prensa; b) Mezcla de polvo de mármol; c) Mezcla normal.
Fuente: Rubio Sánchez (2019).

$$f'c = \frac{F}{A} \quad (1)$$

Preparación de las vigas de hormigón armado para los ensayos sobre la resistencia a la flexión

Se construyeron, en total, 36 vigas, distribuidas en cuatro variables de armado, para las pruebas de resistencia a la flexión. Las características del habilitado de cada una de las opciones de refuerzo se muestran en la tabla 3. Para cada viga se utilizaron moldes metálicos de 15 cm × 15 cm × 60 cm, que se curaron con aceite automotor quemado. Dentro de cada molde se puso una estructura armada con una configuración diferente, donde nueve corresponde al armado de cuatro carrizos; nueve, al que se reforzó con seis piezas de caña común; nueve, a una estructura de ocho carrizos, y las últimas





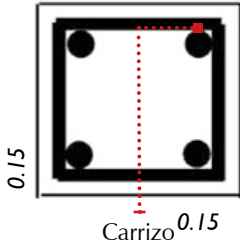
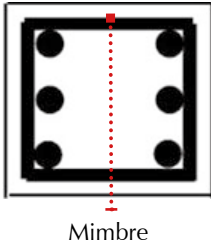
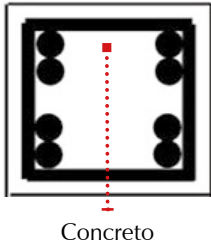
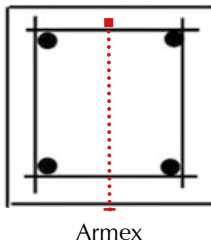
	Configuración 1 a	Configuración 2 b	Configuración 3 c	Configuración 4 d
	*) 4 secciones de 55 cm de caña común	*) 6 secciones de 55 cm de caña común	*) 8 secciones de 55 cm de caña común	*) Armex 15-15-4
	*) 16 secciones de 13 cm de mimbre	*) 16 secciones de 13 cm de mimbre	*) 16 secciones de 13 cm de mimbre	
	*) Molde metálico de 15 cm × 15 cm × 60 cm	*) Molde metálico de 15 cm × 15 cm × 60 cm	*) Molde metálico de 15 cm × 15 cm × 60 cm	*) Molde metálico de 15 cm × 15 cm × 60 cm
Material	*) Concreto f'c = 150 kg/cm² con el 10% de polvo de mármol	*) Concreto f'c = 15 kg/cm² con el 10% de polvo de mármol	*) Concreto f'c = 150 kg/cm² con el 10% de polvo de mármol	*) Concreto convencional f'c = 150 kg/cm²
Diseño Estructural				
Sección	 0.15 Carrizo 0.15	 Mimbre	 Concreto	 Armex

Tabla 3. Características de las vigas.

Fuente: Rubio Sánchez (2019).

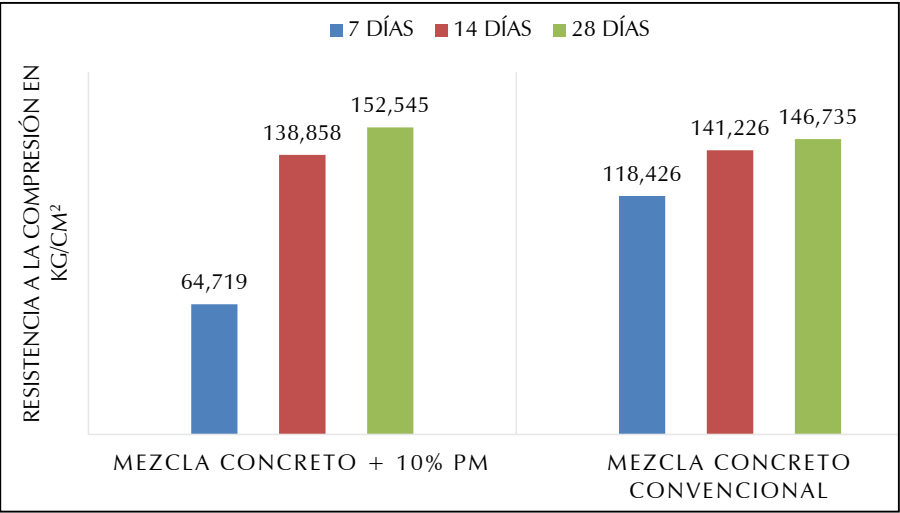


Figura 4. Resistencia de los cilindros a la compresión.

Fuente: Rubio Sánchez (2019).

nueve, a las que tenían como refuerzo armex 15-15-4. Se respetó una capa de recubrimiento de la mezcla (1 cm) entre las paredes del molde y la estructura armada. La mezcla de concreto se vertió en tres capas; se la hizo vibrar con una varilla punta de bala y se la golpeó con un marro de goma, para lograr un acomodo adecuado del hormigón. Todas las vigas fueron desmoldadas después de 20 horas. El método de curado fue con riego superficial realizado dos veces al día.

Las pruebas de resistencia a la flexión de las vigas de concreto se basan en el estándar NMX-C-104-191-ONNCCE-2015, el cual establece que los soportes de la prensa deben estar separados 45 cm entre sí, y que para determinar el módulo de ruptura (R , expresado en kgf/cm^2) la carga máxima aplicada (P , expresada en kgf)

se relaciona por la distancia entre los soportes (L , expresada en cm), para que ese resultado pueda ser dividido entre la relación de b (el ancho promedio de la muestra en cm) por d (la altura promedio de la muestra, elevada al cuadrado en cm). Lo anterior se expresa en la fórmula respectiva (2). Es importante mencionar que se registraron dos resultados diferentes de cada ensayo: primero, la resistencia del espécimen en el momento cuando se empieza a generar la primera grieta, y segundo, la resistencia máxima del espécimen cuando falla en su totalidad.

$$R = \frac{PL}{bd^2} \quad (2)$$

Resultados

Pruebas de compresión concreto

El primer paso en pro de lograr el objetivo del estudio fue determinar la resistencia a la prueba de compresión, en cada una de las dos mezclas de concreto utilizadas. El resumen de los resultados de los cilindros, en función de los días de curado, se muestra en la figura 4. El concreto propuesto para ser utilizado es el de resistencia $f'c = 150 \text{ kg}/\text{cm}^2$, pero cabe destacar que el elaborado con el 10% de polvo de mármol como sustituto de ese porcentaje de arena gruesa mostró la resistencia más baja después de siete días de curado, por un amplio margen, respecto al concreto convencional. Sin embargo, esta mezcla cerró bastante la diferencia con las pruebas a catorce días, y obtuvo los valores más altos después de 28 días de curado. Los resultados de las gráficas incluidas en la figura 4 dejan ver que la mezcla de concreto con el 10% de

Elemento (%)	Varilla: punto de soldadura	Varilla: punto de no soldadura	Alambrón: punto de soldadura	Alambrón: punto de no soldadura
Fe	97,65	94,23	97,68	97,84
C	2,35	2,77	2,32	2,16
Otros	X	3,00	X	X

mármol en polvo, en reemplazo de la arena, después de 28 días de curado, representa una opción viable, estructuralmente hablando, para ser utilizada en la fabricación de este material.

Análisis químico del armex

Posteriormente se buscó determinar, por medio del análisis químico, si el armex perdía fuerza en las partes donde se aplica la electrosoldadura, y en tal sentido representaría un material más débil que, por ejemplo, la varilla corrugada, a la cual solo se amarran los estribos (anillos) de alambrón (varilla lisa de 1/4"). Se procuró determinar lo anterior, por cuanto es una creencia extendida en el sector de la construcción que el armex, debido a su esbeltez y por la posibilidad de reducir la sección de la varilla, por la soldadura, pierde efectividad estructural. Las pruebas realizadas demostraron, como se indica en la tabla 4, que el hecho de que los anillos del armex estén soldados no debilita al material ni compromete su respuesta de trabajo, pues, atendiendo a McCormac (2013), en cualquier aleación de acero donde el porcentaje de carbono no exceda el 5 % de la composición, el material ofrece una buena resistencia debido a la relación en su combinación.

Pruebas de compresión para el acero, el carrizo y el mimbre

Para la varilla y el alambrón del armex 15-15-4, así como para el carrizo y el mimbre, se prepararon probetas, que permitieran la aplicación del procedimiento que dicta la norma americana ASTM-E9-09, la cual establece los requerimientos para ensayos a compresión de carga axial de materiales metálicos a temperatura ambiente. Debido a que los resultados arrojados por este método son la carga máxima en Newton (N), la resistencia a la compresión en Mpa (equivalente a 10.1972 kg/cm²) y una gráfica de carga-desplazamiento del espécimen, los resultados se sometieron a un método matemático, para obtener los valores que interesan: el límite elástico, la resiliencia y el módulo de Young (Shackelford, 2010).

Se prepararon las probetas de los materiales por ensayar seccionando con una cortadora metalográfica de precisión los metales, y el carrizo y el mimbre, con una cortadora de metales. Las muestras fueron tres por cada material, como se muestra en la figura 5a, y fueron ensayadas en una máquina universal, como se

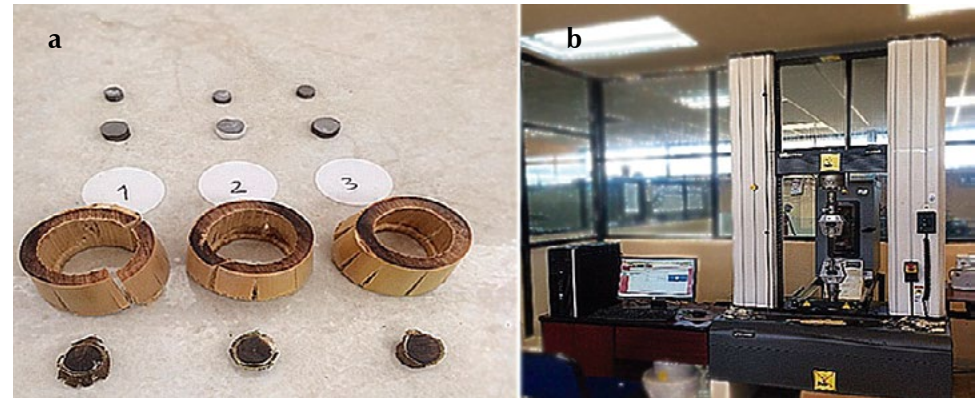


Tabla 4. Análisis químico del armex.
Fuente: Rubio Sánchez (2019).

Figura 5. a) Muestras materiales; b) Máquina universal.
Fuente: Rubio Sánchez (2019).

Material	Límite elástico en Mpa (kg/cm²)	Módulo de resiliencia (J/cm²)	Módulo de Young en Mpa (kg/cm²)
Varilla	1.069.333 (10.904,16)	23.157	25.326.027 (258.253,60)
Alambrón	1.030 (10.503,08)	21.668	24.593.023 (250.779,04)
Carrizo	283 (2.885,8)	4.153	10.183.791 (103.845,77)
Mimbre	71,18 (725,83)	0,955	2.682.146 (27.350,28)

muestra en la figura 5b. Los resultados obtenidos permitieron determinar: el *límite elástico*, que representa la tensión necesaria para producir esa pequeña deformación permanente; el *módulo de resiliencia*, que es la energía de deformación por unidad de volumen, y el *módulo de Young*, que es la resistencia del material a la deformación permanente. En la tabla 5 se muestran el promedio de los resultados de estas pruebas.

Como puede observarse con los resultados que se consignan en la tabla 5, los resultados a compresión que pueden ofrecer tanto el carrizo como el mimbre dista mucho de los alcanzados por los componentes del armex. Pero cabe recordar que dichos materiales trabajarán en conjunto con el concreto, y que los resultados son de comportamiento individual.

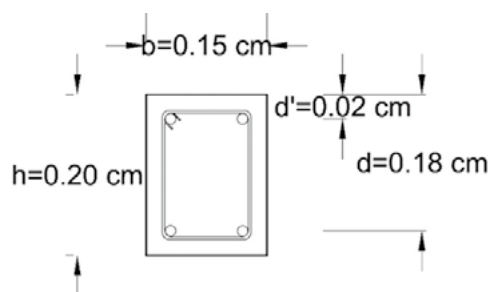
Pruebas de flexión en las vigas

Se determinó la resistencia a la flexión de las vigas ensayadas con los valores que dicta la norma mexicana NMX-C-191-ONNCCE-2015, y fueron comparados con los resultados teóricos de la resistencia a la flexión de una cadena de cerramiento y la carga crítica de pandeo de un castillo. Se establecieron cuatro variables por

Tabla 5. Pruebas a compresión de materiales.
Fuente: Rubio Sánchez (2019).

Figura 6. Cadena de cerramiento teórica.

Fuente: Rubio Sánchez (2019).



- 4 varillas #2.5 (5/16")
- Acero $f'y = 5600 \text{ kg/cm}^2$
- $A_s = 0.98 \text{ cm}^2$
- $A_s' = 0.98 \text{ cm}^2$
- Concreto $f'c = 150 \text{ kg/cm}^2$
- Recubrimiento = 2 cm
- $F_R = 0.9$

ensayar: tres con armado de carrizo y polvo de mármol en el concreto, y la última, como testigo de comparación armada con armex y concreto convencional:

- **V1:** Concreto $f'c = 150 \text{ kg/cm}^2 + 10\% \text{ PM}$ con cuatro carrizos y mimbre.
- **V2:** Concreto $f'c = 150 \text{ kg/cm}^2 + 10\% \text{ PM}$ con seis carrizos y mimbre.
- **V3:** Concreto $f'c = 150 \text{ kg/cm}^2 + 10\% \text{ PM}$ con ocho carrizos y mimbre.
- **V4:** Concreto convencional $f'c = 150 \text{ kg/cm}^2$ con armex 15-15-4.

Para saber la carga máxima que puede soportar una cadena de cerramiento con las características mostradas en la figura 6, para un claro de 3 m, se calcula la profundidad del bloque equivalente de esfuerzos (a), la resistencia a la flexión del elemento (MR) y, por último, la carga puntual en los tercios en una viga, con la ecuación del momento máximo de una viga simple con dos cargas iguales concentradas simétricamente (P); lo anterior, por medio de las fórmulas 3, 4 y 5.

Para establecer una referencia a la capacidad de carga, que puede tener una cadena de cerramiento fabricada con la propuesta de este trabajo, fue necesario determinar la que puede soportar el sistema convencional. Dicho cálculo se hizo por medio de las siguientes fórmulas:

a : refiere a la profundidad del bloque equivalente de esfuerzos.

MR : determina la resistencia a la flexión del elemento.

P : define la carga total a soportar en los tercios del claro, expresada en toneladas.

$$a = \frac{(A_s - A_s')f_y}{f_c' b} \quad (3)$$

$$a = \frac{(0,98 - 0,98)5.600}{(127,5)0,15}$$

$$a = 0 \text{ cm}$$

$$MR = FR \left[(A_s - A_s')f_y \left(d - \frac{a}{2} \right) + A_s'f_y(d - d') \right] \quad (4)$$

$$MR = 0,9 \left[(0,98 - 0,98)5.600 \left(18 - \frac{0}{2} \right) + 0,98(5.600)(18 - 2) \right]$$

$$MR = 79.027,20 \text{ kg/cm}$$

$$P = \frac{MR}{A} \quad (5)$$

$$P = \frac{79.027,20}{100}$$

$$P = 790,27 \text{ KG} \approx 0,790 \text{ T}$$

El resultado que ofrecen las tres fórmulas permite entender que una cadena de cerramiento con sección transversal de $15 \text{ cm} \times 20 \text{ cm}$ y una longitud de 3 m del claro, armada con un armex convencional, puede soportar una carga de 0,79 toneladas en los tercios del claro. Contra este dato se podrán comparar los resultados experimentales de los especímenes ensayados.

Para conocer la carga máxima que un castillo de sección $15 \text{ cm} \times 15 \text{ cm}$, con una altura de 2,60 m puede soportar antes de volverse inestable, se debe calcular primeramente el módulo de elasticidad del concreto que se vaya a utilizar (E); después se calcula la inercia de la sección del elemento (I) y, por último, se determina (P), que representa la carga crítica de pandeo. Dichas ecuaciones se muestran a continuación, en las fórmulas 6, 7 y 8.

$$E = 14.000\sqrt{f'c} \quad (6)$$

$$E = 14.000\sqrt{150}$$

$$E = 171.464,28 \text{ kg/cm}^2$$

$$I = \frac{bh^3}{12} \quad (7)$$

$$I = \frac{15(15)^3}{12}$$

$$I = 4.218,75 \text{ cm}^4$$

$$P = \frac{\pi^2 EI}{L^2} \quad (8)$$

$$P = \frac{(3,1416)^2(171.464,28)(4.218,75)}{(260)^2}$$

$$P = 105.611,82 \text{ kg} \approx 105,60 \text{ T}$$

Con el valor de P determinado, se establece que un castillo con sección transversal de $15 \text{ cm} \times 15 \text{ cm}$ y una longitud de 2,60 m, armado con un armex convencional, puede soportar una carga crítica al pandeo de 105,60 toneladas antes de volverse inestable. Con estos datos como referencia, se podrá determinar si los resultados de los especímenes son adecuados, estructuralmente hablando.

Se prepararon los moldes metálicos de $15 \text{ cm} \times 15 \text{ cm} \times 60 \text{ cm}$; tres por cada edad de ensayo y para cada variable. Se mezclaron los materiales necesarios para producir un concreto con resistencia $f'c = 150 \text{ kg/cm}^2$ (con y sin polvillo de mármol). Se acomodaron las diversas opciones



Figura 7. a) Colocación del armado; b) Vaciado del molde.

Fuente: Rubio Sánchez (2019).

de armado en el molde, como se muestra en la figura 7a, dejando libre 1 cm para el recubrimiento. Después se vació la mezcla del concreto en los moldes, según indica la norma NMX-C-191-ONNCCE-2015, en capas de $\frac{1}{3}$, vibrándolo con una varilla apisonadora, como se muestra en la figura 7b. Luego se enrasó y se dejó fraguar el concreto durante 20 horas. Al momento de desmoldar las vigas, se marcaron con tinta indeleble sus respectivas claves de identificación y la fecha de elaboración, fueron curadas de manera superficial dos veces al día y se las dejó reposar hasta alcanzar sus días de ensayo.

Antes de ser ensayados los especímenes, se debe marcar dónde se apoyarán los rodillos inferiores de la prensa (con distancia de 45 cm) y los tercios del claro de la viga (con distancia de 15 cm) como muestra la figura 8a, además de pesar y medir el ancho y la altura promedio. Se prepara la prensa universal para el ensayo, acomodando los rodillos inferiores, para el apoyo de las vigas. Después se sitúan los rodillos superiores que ejercerán la fuerza en los tercios del claro de la viga, como se muestra en la figura 8b. Se teclean los datos necesarios para el ensayo en la computadora del equipo (clave del espécimen y su área). Después el equipo empieza a ejercer la carga, como se muestra en la figura 8c, para poder conocer la resistencia máxima a la flexión de las vigas.

En la figura 9 se muestran los resultados promedio de los ensayos para la carga soportada al momento de la primera grieta, con edades de 7, 14 y 28 días. De los especímenes reforzados con carrizos y mimbre, la variable 2, armada con seis carrizos, fue la que más carga soportó a los 28 días de curado, al soportar 1,391 toneladas. La variable 4, reforzada con armex 15-15-4, soportó una carga de 2,283 toneladas a los 28 días de curado. Aun así, todas las variables superan la carga del resultado teórico, de 0,79 toneladas.

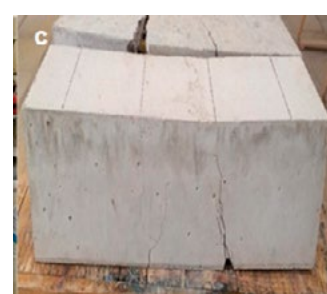
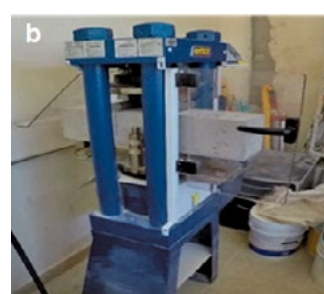
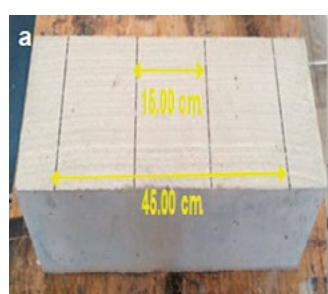
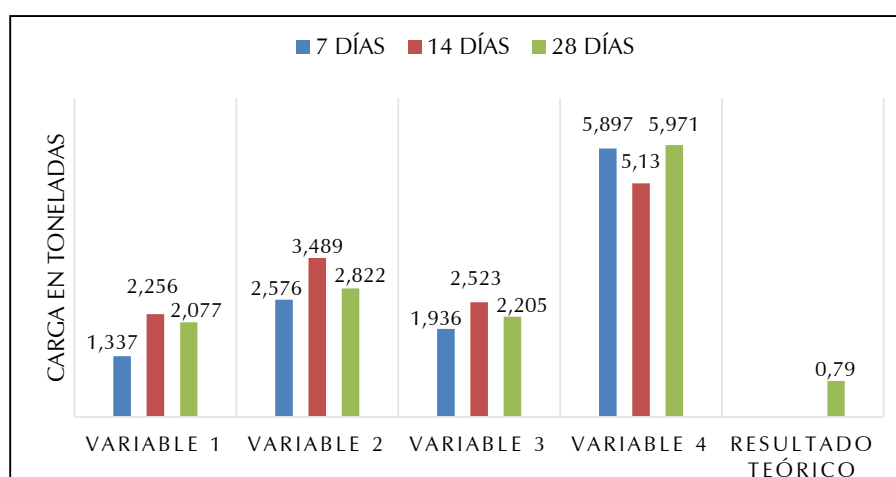
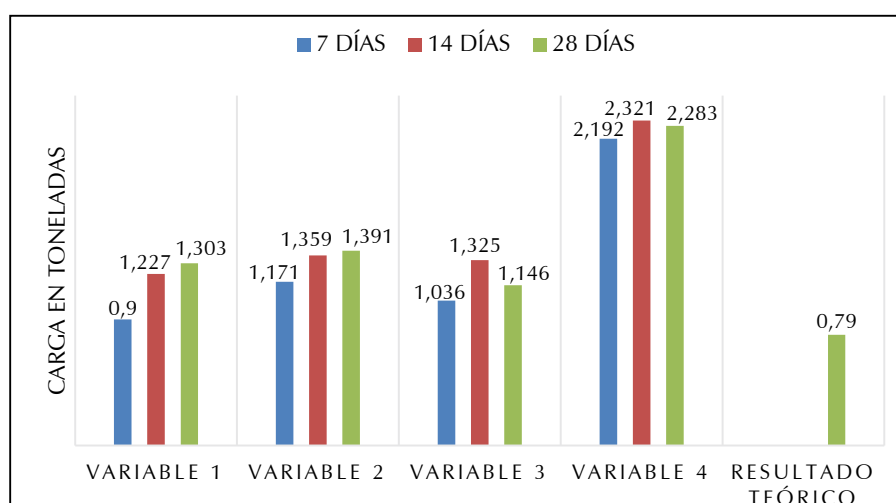


Figura 8. a) Marca de las vigas; b) Viga en prensa; c) Viga ensayada. Fuente: Rubio Sánchez (2019).



La figura 10 compara los resultados promedio de los ensayos, al soportar la carga máxima a los 7, los 14 y los 28 días. Todas las variables superan, nuevamente, la carga del resultado teórico, de 0,79 toneladas. Se volvió a encontrar que la variable 2 (armadas con seis carrizos) fue la que aceptó más carga a los 28 días de curado: 2,822 toneladas. Mientras, la variable 4 (reforzada con armex 15-15-4) soportó una carga de 5,971 toneladas a los 28 días.

Figura 9. Carga soportada a la primera grieta. Fuente: Rubio Sánchez (2019).

Figura 10. Carga máxima soportada. Fuente: Rubio Sánchez (2019).

Análisis de costos y de rendimientos

Para determinar el impacto económico de las diferentes variables al momento de edificar los elementos constructivos planteados en esta investigación (dallas y castillos), se generaron las tarjetas de precios unitarios, para lo cual fue necesario realizar un estudio de los precios de los materiales, las herramientas y el personal necesarios para llevar a cabo dichos trabajos. En el apartado de materiales, la cantidad es afectada

por el porcentaje de desperdicio. En la mano de obra, se determinó el rendimiento de la cuadrilla de trabajo. La relación de la cantidad por el precio unitario determina los subtotales, y con la suma cada uno de los conceptos se obtiene el valor total de la tarjeta. El concentrado de las tarjetas de cada una de las cuatro variables se muestra en la tabla 6, considerando que todas fueron calculadas sobre un modelo de 0,15 m × 0,15 m × 1,00 m.

Discusión

La investigación cuestiona, principalmente, por qué resulta necesario generar sistemas alternativos de construcción, partiendo de asegurar que estructuralmente resultan eficaces. En tal sentido, la aplicación de los resultados beneficia de forma directa a la autoconstrucción; sobre todo, la de la vivienda social. La tabla 7 registra la ponderación aplicada a cada una de las variables, a fin de determinar cuál es la más viable para ser usada. El puntaje utilizado implicó un valor de cuatro puntos para la mejor opción, y de uno, para la peor; además, a las variables de carrizo, mimbre y polvo de mármol se les otorgó un punto extra por ser una alternativa de mayor sustentabilidad.

Los materiales de construcción alternativos se van constituyendo en una opción más accesible; en especial, para las familias de escasos recursos. Menciona Rodríguez Romo (2006) que el bambú (de características similares a las del carrizo) se ha venido constituyendo en recurso constructivo viable, debido a sus cualidades antisísmicas y a la ventaja que representa frente a materiales de mayor costo, pero también se le pueden tener en cuenta características de construcción sostenible, cuando es un material local (Bello & Villacreses, 2021, p. 4). Por su parte, Sánchez et al. (2016) establecen que el bambú, debido a su comportamiento físico y mecánico, en tal sentido, puede ser recomendado para su uso como material de construcción. Hablando del carrizo, González y Silva (2012, p. 79) sometieron probetas de este material a ensayos de flexión simple y de compresión axial, y concluyeron que la humedad del material no incide sobre su capacidad de compresión, y que sus propiedades mecánicas son similares a las de la madera. Específicamente, Ponce et al. (2020, p. 3) establecen que utilizar polvo de mármol puede ayudar en la región Lagunera a disminuir dos problemas principales: reduce la contaminación

por el libre esparcimiento del polvo, y ofrece una opción económicamente viable a la edificación de vivienda de bajo costo.

Así mismo, sobre el empleo del carrizo en la construcción, Barreca (2012) menciona que dicho uso puede ir desde cercas hasta techumbres, gracias a su flexibilidad, su ligereza, su fuerza mecánica y su bajo costo. Por último, García Ortuño (2003) explica que el carrizo presenta propiedades mecánicas muy homogéneas y tiene una alta resistencia a la putrefacción.

Con los datos de la tabla 7, queda demostrado que utilizar cadenas elaboradas con refuerzo de carrizo y mimbre, y donde el concreto ocupe solo un pequeño porcentaje de polvo de mármol, en lugar de la arena, es viable. Reconociendo que esta opción no iguala las capacidades en cuanto a la compresión y la flexión que alcanzan las dalas armadas con acero de refuerzo, su resistencia sí es superior a la requerida por la carga teórica. Se puede observar que las variables 1 y 2 (armada con cuatro y seis carrizos, respectivamente) obtienen la mayor puntuación, con 21 puntos, por lo cual son las más recomendables para su uso constructivo. Pero como un criterio válido para inclinarse por una u otra, la variable 2 presenta una mayor capacidad de resistencia a la flexión en sus vigas, por lo que constituye la mejor opción.

También debe ser considerado que las tres variables con carrizo y mimbre resultan más económicas que las dalas reforzadas con armex. Y dado que, estructuralmente, pueden ofrecer seguridad, usarlas en la autoconstrucción puede impactar positivamente sobre la economía de las familias; además, la cosecha del carrizo ayuda a controlar el crecimiento tan acelerado que presenta esta planta. Y por el lado del polvo de mármol, esta alternativa de elaboración de concreto también permite minimizar las consecuencias contaminantes que sufre la Comarca Lagunera en México, por cuanto estos residuos no vuelven a utilizarse, y al estar a la intemperie, el viento los esparce sin control.

Igualmente, cabe destacar que, resultado de las pruebas de compresión practicadas a los cilindros con concreto, en la mezcla que usó el 10% de polvo de mármol en sustitución del mismo porcentaje de arena se obtuvo una mayor resistencia, que si bien no resulta marginal, sí es significativa para que los armados de carrizo puedan incrementar

N.º de la variable	Costo (\$) del elemento por ml	Rendimiento de la Cuadrilla en ml/jo
1 Cuatro carrizos, estribos de mimbre, concreto con polvo de mármol	171,27	11,50
2 Seis carrizos, estribos de mimbre, concreto con polvo de mármol	174,53	11,25
3 Ocho carrizos, estribos de mimbre, concreto con polvo de mármol	176,93	11,00
4 Armex 15-15-4, concreto convencional	185,17	13,50

● Tabla 6. Costo y rendimientos de las variables.

Fuente: Rubio Sánchez (2019).

Tabla comparativa de promedios													
Norma	Ensayo	Muestras	Resultados	Puntuación					Sumatoria de puntos				
				Factibilidad constructiva				Factibilidad ecológica					
				4	3	2	1	+1	V1	V2	V3	V4	
Nmx-c-083	Ensayo a compresión de cilindros de concreto	Cilindro 6" x 12" de concreto +10% pm en la mezcla sustituto de arena	"Resistencia a la compresión: 152.545 Kg/cm³"	X				X	5	5	5		
		Cilindro 6" x 12" de concreto convencional	"Resistencia a la compresión: 146.735 Kg/cm³"	X								4	
Astm e9	Ensayo a compresión materiales metálicos	Muestras	Límite elástico	Resiliencia	Módulo young								
		Probeta carrizo	283 Mpa	4,153 J/cm³	10,183.791 Mpa			X	X	3	3	3	
		Probeta mimbre	71,18 Mpa	0,955 J/cm³	2,682.146 Mpa				X	2	2	2	
		Probeta variila 5/16"	1,089.333 Mpa	23,157 J/cm³	26,326.027 Mpa	X						4	
		Probeta alambión	1,030 Mpa	21,668 J/cm³	24,593.023 Mpa		X					3	
Nmx-c-191	Ensayo a flexión de vigas de concreto en sus tercios del claro	Variables	1Er grieta	Carga máxima	Carga teórica								
		Variable 1	1,303 Ton	2,077 Ton	0.79 Ton				X	X	2		
		Variable 2	1,391 Ton	2,822 Ton			X		X		4		
		Variable 3	1,146 Ton	2,205 Ton				X		X		3	
		Variable 4	2,283 Ton	5,971 Tom		X						4	
Análisis	Análisis de costos por metro lineal	Variable 1		S171.27		X			X	5			
		Variable 2		S174.53			X		X		4		
		Variable 3		S176.93				X	X			3	
		Variable 4		S185.17				X				1	
	Análisis de rendimiento elaboración	Variable 1		11,50 ML/jo			X		X	4			
		Variable 2		11,25 ML/jo				X	X		3		
		Variable 3		11,00 ML/jo				X	X			2	
		Variable 4		13,50 ML/jo		X						4	
	Puntuación total									V1	V2	V3	V4
									21	21	18	20	

su resistencia en las pruebas de flexión de las vigas. También hay que tener en cuenta que los carrizos se utilizaron en su estado natural, donde presentan una cara lisa, lo que no ayudó a incrementar la adherencia al concreto, por lo cual los carrizos no fueron afectados de ninguna manera; simplemente, fueron habilitados para la longitud requerida por los ensayos. Se entiende, entonces, que la textura del carrizo no contribuye a incrementar la capacidad de adherencia entre este y el concreto, y ello representa un aspecto en contra, que en futuros estudios deberá ser abordado para encontrarle una solución.

Para el caso de dalas y castillos (varillas y alambón, o armex), el concreto reforzado con acero es, en México, la manera común como estos elementos son fabricados, independientemente

de que los muros sean fabricados con piezas de barro, de concreto o de Hebel. Por tal motivo, se requería validar la investigación recurriendo a las normativas aplicadas a los elementos convencionales con los que son fabricadas las cadenas que conforman el marco rígido de los muros. El hecho de que el carrizo, el mimbres y el polvo de mármol también fueran sometidos a las especificaciones de esas normas, avala que son materiales adecuados para la construcción, siempre y cuando se observen sus condiciones de trabajo.

Para definir los alcances económicos y de consumo de tiempo de los materiales alternativos, se elaboraron tarjetas de precios unitarios, donde se consideró que, si bien dichos materiales alternativos no tienen costo, sí hay erogaciones en cuanto a su corte inicial, su flete y su habilitado final.

Tabla 7. Ponderación total de las variables.

Fuente: Rubio Sánchez (2019).

En referencia a este último punto, el habilitado de los armados se llevó a cabo de forma manual, lo que se tradujo en estimar un rendimiento pobre de la mano de obra. Principalmente, se observaron dificultades para habilitar adecuadamente la vara del mimbre como un estribo, por cuanto esta no es tan flexible como para permitir dobleces a 90°, por lo que debió ser cortada en tramos que solamente cubrieron un lado de la sección cuadrada de la viga, y tuvieron que ser unidos por medio de amarres son alambre recocido. El concepto de los estribos es, entonces, otro de los puntos pendientes de una solución que permita un habilitado más eficiente del mimbre.

La hipótesis que se manejó en este trabajo de investigación, resultado, a su vez, de la tesis de licenciatura desarrollada por Rubio Sánchez entre 2018 y 2019, estipulaba que el carrizo, el mimbre y el polvillo residuo del corte y el pulido del mármol tienen la capacidad estructural para ser utilizados como materiales en la elaboración de dalas y castillos. Con los resultados obtenidos se ratifica lo expuesto dentro de la hipótesis, pues las normas seguidas aseguraron el control que se tuvo todo el tiempo sobre las condiciones en las cuales se llevaron a cabo los ensayos.

Conclusiones

El uso del carrizo y el mimbre en lugar del acero de refuerzo, y la sustitución de un porcentaje de la arena por polvo de mármol, para la fabricación de dalas y castillos, con los cuales se pueda definir el marco rígido que dé solidez a los muros de una construcción, es estructural y económicamente viable. Se reconoce que en cuanto a las pruebas de compresión de los materiales, y en cuanto a las pruebas de flexión practicadas a las vigas, los materiales alternativos quedaron lejos del concreto convencional reforzado con acero. Además, se puede objetar que la resistencia del armex 15-15-4 en las cadenas estructurales sobrepasa la carga máxima a la flexión necesaria para el elemento, por lo cual se puede deducir que está sobrado, e implica, por tanto, gastos innecesarios. Por otra parte, al realizar los ensayos, las muestras fabricadas con armados de carrizos obtuvieron cargas máximas a la flexión por encima del rango permisible para una cadena de cerramiento o de desplante con sección 15 cm × 20 cm para una casa-habitación de una planta.

Tomando en cuenta que la problemática principal por resolver cuando se requiere la construcción de vivienda es la económica, las cadenas fabricadas con estos materiales alternativos ofrecen seguridad a la construcción, pero a un menor costo. Aparte de ello, se debe recordar que el uso en la construcción del carrizo y del polvo de mármol ayuda, principalmente, a reducir los efectos de sus respectivas contaminaciones. Usar en la obra el carrizo —considerada una especie invasora de tierras de cultivo y de un crecimiento acelerado— limitaría en cierto grado dicho problema, amén de

que este material no es nuevo para los procesos de edificación, y en la Comarca Lagunera es parte de la memoria de la vivienda, pues ya era ampliamente utilizado hace tiempo para la fabricación de techumbre es las viviendas humildes. En cuanto al polvo de mármol —tomando en cuenta que la región es el principal productor de ese material en el país—, reutilizar sus propios residuos dentro de la construcción ayudaría significativamente a disminuir este problema de contaminación local. Por ello, el uso de estos materiales alternativos, que, hasta el momento, no tienen costo, facilitaría desde el inicio la posibilidad de la autoconstrucción de vivienda.

Por último, la investigación permitió vislumbrar la necesidad de ampliar el estudio hacia los aspectos que no se abordaron o no se resolvieron con este. Primero, resulta necesario definir cómo puede incrementarse la capacidad de adherencia del carrizo, dado que de forma natural es liso, y su respuesta en tal sentido es magra. Segundo, se requiere estudiar de qué manera puede lograrse un mejor habilitado de la vara de mimbre usada como estribo, para permitir que este tenga una mayor continuidad. Tercero, conocer qué afectaciones se pueden dar con el tiempo sobre los elementos naturales del carrizo y el mimbre. Cuarto, determinar la forma como el habilitado del carrizo y el mimbre puede hacerse de una manera más expedita.

Contribuciones y agradecimientos

Se agradece el apoyo incondicional brindado por la Universidad Autónoma de Coahuila, ya que todas las pruebas realizadas fueron llevadas a cabo en los laboratorios de la Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica, y de la Escuela de Arquitectura, de la unidad Torreón, de dicha institución.

Las contribuciones al trabajo de investigación de cada uno de los autores correspondieron a los siguientes aspectos:

- Arq. José Guadalupe Rubio Sánchez: La investigación es el resultado del trabajo de tesis de licenciatura desarrollado por el arquitecto, por lo que tiene injerencia en la totalidad del documento.
- M. C. Gonzalo José Francisco Pérez Gómez Martínez: Como director de la tesis, tuvo también injerencia importante en el desarrollo del documento, y su apoyo se puntualizó en las áreas de definición de los costos y los tiempos determinados.
- Dr. Cesar Ponce Palafox: Actuó como asesor de la tesis, pero apoyando particularmente el desarrollo del análisis de los concretos y de las vigas.
- Dra. Lizbeth Salgado Conrado: Asesoró la parte de la investigación donde se definieron las pruebas a compresión de los materiales de refuerzo.
- Dra. Alma Graciela Esmeralda Gómez: Asesoró la parte de la investigación donde se elaboró el análisis químico del Armex.

Referencias

- Andaur Espinoza, W. (2014). *SALIX Máquina de sección y corte para la obtención de huiras de mimbre [Tesis]*. Universidad Chile. <https://repositorio.uchile.cl/handle/2250/130061>
- Barreca, F. (2012). Use of giant reed Arundo Donax L. in rural constructions. *Agricultural Engineering International: CIGR Journal*, 14 (3), 46-52. <https://cigrjournal.org/index.php/Ejournal/article/view/2076/1630%20%E2%80%9320Italia>
- Bello Zambrano, J. A., & Villacreses Viteri, C. G. (2021). Ventajas y desventajas del sistema constructivo con bambú frente al sistema de hormigón armado en viviendas de interés social. *Revista Polo de Conocimiento*, 6(9), 1987-2011. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=8094507>
- Betancourt Chávez, J. R., Lizárraga Mendiola, L. G., Narayanasami, R., Olguín Coca, F. J., & Sáenz López, A. (2015). Revisión sobre el uso de residuos de mármol, para elaborar materiales para la construcción. *Revista de Arquitectura e Ingeniería*, 9(3), 1-12. https://www.uaeh.edu.mx/investigacion/productos/7250/revision_sobre_el_uso_de_residuos_de_marmol.pdf
- Clark Flores, D. (2020). *Bases de un sistema de gestión de calidad integrando las normas ISO 9001:2015 y los fundamentos de Lean Construction [Tesis de Ingeniería Civil]*. Universidad de Chile. <https://repositorio.uchile.cl/bits-tream/handle/2250/179120/Bases-de-un-sistema-de-gestion-de-calidad-integrando-las-Normas-ISO-900-2015-y-los-fundamentos-de-Lean-Construction.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Conavi. (2012). *Programa Especial de Vivienda 2011-2017*. <http://coahuila.gob.mx/archivos/pdf/Publicaciones/PROGRAMA%20ESPECIAL%20DE%20VIVIENDA%202011-2017.pdf>
- Conavi. (2020). *Encuesta Nacional de Vivienda 2020, INEGI*. https://www.inegi.org.mx/contenidos/programas/envi/2020/doc/envi_2020_diseno_conceptual.pdf
- Coneval. (2016). *Pobreza 2016 Coahuila*. <https://www.coneval.org.mx/Paginas/busqueda.aspx#k=Pobreza-2016.aspxf>
- Díaz de León de la Rosa, A. de J. (2018). *Análisis experimental del comportamiento térmico del Bloque de Tierra Comprimida (BTC) como material alternativo aplicado en la vivienda social, en Torreón Coahuila, México [Tesis]*. Universidad Autónoma de Coahuila.
- García Ortuño, T. (2003). *Caracterización de la caña común (Arundo Donax L.) para su uso como material de construcción [Tesis doctoral]*. Escuela Politécnica Superior de Orihuela, Universidad Miguel Hernández. <http://dspace.umh.es/handle/11000/2708>
- González, S., & Silva, E. (2012). *Arundo Donax L.: Material de construcción*. Universitat Politècnica de Catalunya. Escola Politècnica Superior d'Edificació de Barcelona [Proyecto final de grado en Ingeniería de Edificación]. <https://upcommons.upc.edu/handle/2099.1/16539>
- INEGI. (2010). *Censo de Población y Vivienda 2010*. <https://coahuila.gob.mx/archivos/pdf/Publicaciones/PROGRAMA%20ESPECIAL%20DE%20VIVIENDA%202011-2017.pdf>
- Jefatura de Gobierno. (2017). *Normas Técnicas Complementarias para Diseño y Construcción de Estructuras de Mampostería*. *Gaceta Oficial de la Ciudad de México*. <https://www.smie.org.mx/archivos/informacion-tecnica/normas-tecnicas-complementarias/normas-tecnicas-complementarias-diseno-construccion-estructuras-mamposteria-2017.pdf>
- McCormac, J. C. (2013). *Diseño de estructuras de acero. Método LRFD*. 5ta ed. Alfaomega. <https://aportealaingcivil.blogspot.com/2017/03/estructuras-de-acero-mccormacpdf.html>
- Moreno Juárez, A. N., Ponce Palafox, C., López Montelongo, A. M., & Cárdenas Díaz, O. E. (2020). Aplicación del polvo de mármol para fabricar ladrillo estructural con dimensiones tradicionales en la Comarca Lagunera utilizados en muros de vivienda. *Revista de Arquitectura e Ingeniería*, 14(1), 1-10. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=193962633006>
- Ortega Sifuentes, D. (2018). *Determinación de las propiedades físicas, mecánicas y de adherencia en las piezas de mampostería fabricadas a base de polvo de mármol*. Universidad Autónoma de Coahuila, Escuela de Arquitectura [Tesis para obtener el grado de arquitecto]. Torreón, Coahuila, México.
- Peláez, A., Gruner, A., Ramírez, A., & Avendaño, A., (2017). *NAMA apoyada para la Vivienda Nueva en México*. Acciones de Mitigación y Paquetes Financieros. CONAVI, SEDATU.
- Ponce-Palafox, C., Carrillo-León, J., & López-Montelongo, A. (2020). Fabricación de ladrillos con polvo-residuo de mármol en México. Propiedades físicas y mecánicas del polvo residuo de mármol de la provincia de la Comarca Lagunera, en México. *Revista de Arquitectura (Bogotá)*, 22(2), 106-113. <https://doi.org/10.14718/RevArq.2020.2554>
- Rodríguez Romo, J. C. (2006). El bambú como material de construcción. *Revista Conciencia Tecnológica*, 6, 67-69. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=94403115>
- Roux, R., & Espuna, J. (2015). La arquitectura de tierra en México. *Revista Construcción con Tierra*, 1, 14-23. https://www.researchgate.net/publication/265977513_LA_ARQUITECTURA_DE_TIERRA_EN_MEXICO
- Rubio Sánchez, J. G. (2019). *Evaluación económica de un sistema constructivo a base de carrizo y polvillo de mármol, a partir de determinar sus cualidades de trabajo en elementos de refuerzo en la construcción [Tesis de pregrado]*. Universidad Autónoma de Coahuila, Escuela de Arquitectura.
- Salgado Ortiz, L. S. (2016). *Propuesta de sistema constructivo de muros de mampostería para viviendas a base de ladrillo fabricado con residuo de mármol en la Comarca Lagunera [Tesis para obtener título de arquitecto]*. Universidad Autónoma de Coahuila, Escuela de Arquitectura. Torreón, Coahuila, México.
- Sánchez Medrano, M. T., Espuna Mújica, J. A., & Roux Gutiérrez, R. S. (2016). El bambú como elemento estructural: la especie Guadua Amplexifolia. *Revista Nova Scientia*, 8(17), 657-667. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=203349086032>
- Santos, A., Villegas, N., & Betancourt, J. (2012). Residuo de mármol como insumo en la construcción civil - diagnóstico de la Comarca Lagunera. *Revista de Construcción*, 12(22), 17-26. <https://scielo.conicyt.cl/pdf/rconst/v11n2/art03.pdf>
- Shackelford, J. F. (2010). *Introducción a la ciencia de materiales para ingenieros*. 7ma ed. Pearson. http://fullengineerin-book1.blogspot.com/2014/12/introduccion-la-ciencia-de-materiales_26.html
- Sornoza Tituano, J. A., Zambrano Sacón, R. W., Caballero Giler, B. I., & Veliz Párraga, J. F. (2022). Materiales alternativos empleados en la construcción de viviendas en Ecuador: Una revisión. *Revista Polo del Conocimiento*, 7(4), 1072-1097. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=8483010>

