

Fabricación del Bloque Residual Ensamblable a base de bagazo y vinaza de mezcal oaxaqueño, tierra arcillosa, lodo de papel y mucílago de nopal

Karol Paulina Luría Figueroa¹, Lorena Carina Broca Domínguez², Rafael Alavez Ramírez³

¹ Universidad La Salle Oaxaca, Escuela de ingenierías y arquitectura, Oaxaca, México.

² Universidad La Salle Oaxaca, Dirección de Posgrado, Investigación y Extensión Universitaria, Oaxaca, México.

³ Instituto Politécnico Nacional. Oaxaca, México.

014411551@ulsaoyaca.edu.mx, lorena.broca@ulsaoyaca.edu.mx, 000000913@ulsaoyaca.edu.mx

Resumen. Ante la cantidad de desechos generados a partir de la fabricación del mezcal oaxaqueño, la demanda de viviendas para comunidades vulnerables en esta ciudad y el uso inapropiado y nocivo de láminas de metal y asbesto para cubrir la necesidad básica de cobijo, se realiza esta investigación cuyo objetivo es proponer un sistema constructivo para muros interiores y exteriores a base de desechos de la producción industrial de mezcal del que Oaxaca es productor a nivel mundial. Esta contribución es continuidad de la investigación en desarrollo para obtener el grado de Maestría en Diseño Arquitectónico Sustentable a partir de resultados previos obtenidos. Tesis que propone el uso del residuo del mezcal: bagazo y vinaza, mezclados con tierra arcillosa, lodo de papel y mucílago de nopal. Se crearon bloques que cuentan con la resistencia constructiva y condiciones energéticas para lograr confort al interior de las viviendas.

Palabras Clave: Oaxaca, bloque residual, bagazo, vinaza, mezcal.

1 Descripción de la problemática prioritaria abordada

La producción de materiales para la construcción es una de las industrias más contaminantes a nivel mundial. Investigaciones de la CEPAL (2019) hacen énfasis sobre el aumento triplicado de materias primas extraídas de la tierra y el desconocimiento o falta de investigación sobre los procesos y sistemas constructivos tradicionales que han sido sustituidos por productos artificiales de alto contenido importado. El proceso contaminante de los materiales altamente industrializados inicia desde la extracción de materias primas provenientes de energías no renovables que se consideran dañinas desde su obtención, fabricación, instalación y puesta en obra. Aguilar (2017) indica que el impacto negativo en el medio ambiente que se produce, en gran parte proviene de la construcción y demolición y conforma un 40% de los residuos generados a nivel mundial.

En México se producen residuos a partir del mezcal del cual Oaxaca posee Denominación Origen. Esto implica que los fabricantes de mezcal certifiquen el uso de agaves locales y la elaboración artesanal del producto manteniendo un rendimiento que impacta en las fuentes de empleo e ingresos para la población. Según Vera y Pérez, el Consejo Regulador del Mezcal del año 2020 observó que desde el 2011 el estado de Oaxaca ha sido el principal productor de mezcal a nivel nacional. En el 2020 se produjeron cerca de 7,273,474.67 litros de mezcal que generó 109,102.12 m³ de desechos en vinaza y 40,949.66 toneladas de bagazo residuales, los cuales al ser liberados en campos de cultivo y/o en cuerpos de agua como ríos, arroyos o drenajes, amenazan y disminuyen la flora y fauna terrestre y acuática de la región.

Adicionalmente, el Índice de Rezago Social (SISPLADE, 2022) reporta que en Oaxaca 5,661 familias habitan en casas construidas con láminas de asbesto, metal, cartón, plásticos y pedacerías que pone en riesgo su salud e integridad por la dificultad de acceder a mejores condiciones de vivienda.

Esta investigación abona en dar solución a los Objetivos de Desarrollo Sostenible [ODS] en las metas del objetivo 11 *Ciudades y comunidades sostenibles*, específicamente en la meta 11.1: “De aquí a 2030, asegurar el acceso de todas las personas a viviendas y servicios básicos adecuados, seguros y asequibles y mejorar los barrios marginales” (ONU, 2015).

2 Objetivo

Crear un bloque residual ensamblable como sistema constructivo a bajo costo a partir del bagazo y vinaza como residuos de la fabricación del mezcal oaxaqueño, utilizando mano de obra no especializada para la construcción de viviendas para las comunidades vulnerables. Este objetivo de abona en las metas de los ODS 6, 7, 9, 11, 12, 14 y 15.

3 Propuesta de solución

A partir de propuestas realizadas en otros países y en México sobre nuevos materiales (González, A., 2018), el *Ecoladrillo* elaborado a base de demoliciones, residuos de tala-construcción triturados y como aditivo natural el mucílago de nopal (Aguilar, A., 2017), se propone una metodología de investigación tecnológica que considera métodos y técnicas para realizar las primeras mezclas del Bloque Residual Ensamblable [BRE] con los insumos bagazo y vinaza de maguey, lodo de papel y polvo de ladrillo, se mezclaron insumos secos y se añadieron los insumos líquidos hasta lograr una mezcla maleable. Estas primeras piezas se moldearon con una prensa electromechánica de vibrocompactación para tabicón de cemento de 10 x 14 x 28 centímetros y se dejaron secar al sol durante 30 días. Se consideraron las recomendaciones del periodo de secado de las piezas de adobe que trabajó Montes (2017) en su investigación.

Las piezas del BRE se sometieron a pruebas de resistencia a la compresión y flexión con la Máquina de Ensayo Universal CMS con capacidad de carga de 1000 Kn. Se probaron piezas de tabicón de cemento y piezas de ladrillo rojo recocido para comparar entre sí los resultados de las pruebas mecánicas del BRE y de los materiales convencionales, como se observa en la Tabla 1.

Al obtener resultados favorables, se decidió diseñar 6 nuevas mezclas que incluyeron los insumos: bagazo y vinaza de maguey, tierra arcillosa, lodo de papel, mucílago de nopal, cemento y cal, los cuales se registraron en la Tabla 2. Las primeras 4 mezclas se destinaron para moldear bloques huecos de 10 x 20 x 40 centímetros y las 2 últimas mezclas para moldear bloques sólidos de 8 x 20 x 40 centímetros. La preparación de los insumos se realizó de la siguiente manera:

Insumos secos:

- Bagazo seco y triturado de 2.5 centímetros de largo.
- Tierra arcillosa extraída y cernida de ladrillera de San Agustín Yatareni.
- Cemento y cal.

Insumos líquidos:

- Papel desecharo de fotocopiadora local triturado, remojado en agua, molido con aspa y taladro casero, colado.
- Mucílago de nopal picado y remojado en agua de 3 a 5 días.
- Vinaza con una antigüedad no mayor a tres meses.

Se realizó el control a través de vasos medidores y básculas digitales, se mezclaron mecánicamente los insumos secos e insumos líquidos hasta lograr su homogeneidad. Para el moldeo de piezas huecas se utilizó equipo de vibrocompactación de marca Vibrobloc Rosacometta Milano (Figura 1). Para la fabricación de los bloques sólidos se cambiaron las proporciones y el mezclado de insumos fue manual. Cuando se tuvo una mezcla homogénea, se procedió al moldeo de las piezas sólidas por medio del equipo de alta presión y vibrocompactación de Adopress 2000, con motor de 5 HP.

Una vez obtenidos bloques huecos y sólidos con 30 días de secado, se realizaron pruebas mecánicas de resistencia a la compresión y flexión, así como pruebas de densidad y pruebas térmicas como se observa en la Figura 2.

4 Discusión de resultados e impactos obtenidos

A continuación, se mencionan los resultados obtenidos sobre las pruebas de resistencia, densidad, calor específico y conductividad (Figura 3):

La mezcla 3 tuvo una resistencia a la compresión de 37.13 kg/cm², suficiente para trabajar como muro divisorio de acuerdo a lo establecido en NMX-C-441-ONNCCE-2013. Esta mezcla permitió contar con

61.67 seg. de tiempo para el desalojo de la gente al interior y el desplazamiento del material fue de 12.97 mm. Se observó que la mezcla 6 del BRE tuvo una resistencia a la compresión de 146.12 kg/cm² a mejorar para trabajar como muro de carga de acuerdo a lo establecido en NMX-C-404-ONNCCE-2012. Esta mezcla permitió contar con 145.7 seg. de tiempo para el desalojo del interior y, el desplazamiento del material fue de 22.99 mm. Las mezclas 3 y 6 se podrían desarrollar a mayor escala, siempre y cuando se hagan ajustes en las proporciones de los insumos para mejorar los resultados en las pruebas de resistencia a la compresión del BRE. Mientras mayor fue la resistencia a la compresión en los elementos de concreto ligero, el tiempo para llegar al punto de quiebre fue menor, representa un alto riesgo al interior de inmuebles en caso de sismos fuertes.

Mientras menor fue la resistencia a la compresión en los elementos del BRE, el tiempo para llegar al punto de quiebre fue mayor, esto permite el desalojo del interior en caso de sismos fuertes.

Sobre las pruebas de densidad, la mezcla 3 de los bloques huecos tuvo el segundo peso neto más alto de 7.9 kg, un volumen de agua derramado de 5.07 lt y una densidad de 1.56 kg/cm³. La mezcla 6 de los bloques sólidos tuvo el tercer peso neto más alto de 7.37 kg, un volumen de agua derramado de 5.06 lt y una densidad de 1.46 kg/cm³. Estas mezclas fueron las más resistentes a la compresión y las probetas evaluadas tuvieron pesos netos similares y un volumen de agua derramado casi igual.

En cuanto a las pruebas de calor específico, la mezcla 3 de bloques huecos tuvo el valor más bajo de 766.77 J/kg°C. Una vez que los bloques huecos de la mezcla 3 se hayan empleado en un muro, podrían tener valores más altos de calor específico por la capa de aire intermedia en el mismo muro. La mezcla 6 de bloques sólidos tuvo el segundo valor más bajo de calor específico, de 865.9 J/kg°C.

Con respecto a las pruebas de conductividad, la mezcla 3 para bloques huecos obtuvo el mayor valor de 0.3482 W/m°K. Una vez que los bloques huecos de la mezcla 3 se hayan empleado en un muro, podrían tener valores más altos de conductividad por la capa de aire intermedia en el mismo muro. La mezcla 6 para bloques sólidos obtuvo el menor valor de 0.2688 W/m°K. Mientras más alto sea el valor de conductividad, menor será el valor de resistividad, ya que son propiedades térmicas opuestas entre sí.

Con relación a las pruebas mecánicas (Figura 4), la NMX - C- 404 - ONNCCE - 2012 establece las especificaciones y métodos de ensayo que deben cumplir los bloques que se emplearán en los muros de uso estructural de las construcciones mexicanas, para pruebas mecánicas de bloques sólidos el resultado mínimo individual de la prueba de resistencia a la compresión debe ser de 120 kg/cm² por pieza, el resultado mínimo individual de la prueba de resistencia a la compresión de bloques huecos debe ser de 70 kg/cm² por pieza. La NMX - C- 441 - ONNCCE - 2012 establece las especificaciones y métodos de ensayo que deben cumplir los bloques fabricados con máquinas o manualmente que se emplearán en muros divisorios, de relleno, de revestimiento interior o exterior de las construcciones mexicanas, para bloques sólidos o huecos el resultado mínimo individual de la prueba de resistencia a la compresión debe ser de 28 kg/cm² por pieza.

5 Conclusiones y perspectivas futuras

Este proyecto presenta resultados positivos de resistencia a la compresión y muestra propiedades térmicas favorables, representa una opción conveniente como sistema constructivo que se puede mejorar con ajustes en las proporciones de los insumos de las mezclas 3 y 6 del BRE. Se logra un ahorro energético que favorece la inercia térmica y el bajo consumo eléctrico para un confort higrotérmico al interior de las viviendas. Se reduce la huella de carbono en la fabricación del BRE al compararse con la fabricación de los materiales de construcción convencionales.

Se vuelven necesarias las alianzas y subsidios financieros para desarrollar la fabricación masiva de este sistema constructivo que ofrece muchas ventajas en el cuidado al medio ambiente, en el acceso a la vivienda digna para la gente de bajos recursos a partir del residuo de la fabricación del mezcal oaxaqueño, se contribuye al logro de las metas de los ODS.

Es urgente fomentar el nuevo enfoque de la arquitectura y la construcción a través de proyectos y propuestas de materiales de construcción que respeten el medio ambiente, desde la economía circular, el diseño constructivo, la reutilización de residuos y las matrices poliméricas para obtener nuevos productos que se adapten a los cambios del clima y la naturaleza.

6 Referencias

1. Aguilar Penagos, A. (2017). Fabricación de bloques ecológicos a base de material producto de la construcción [Tesis de maestría, Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Ingeniería Civil y Construcción]. https://repositorio.unam.mx/contenidos/fabricacion-de-bloques-ecologicos-a-base-de-material-producto-de-la-construccion-62009?c=rWLOJ4&d=false&q=*&i=3&v=1&t=search_0&as=0
2. Alfonso González, A. (2018), Materiales de construcción con residuos industriales de vertederos ecológicamente invasivos, Arquitectura y Urbanismo, XXXIX (1), 5-26, <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=376858935002>
3. Montes, A. (2017). Mezcal y tierra. Editorial Carteles Editores.
4. ONU (2015). Organización de las Naciones Unidas. Objetivos de Desarrollo Sostenible. <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/objetivos-de-desarrollo-sostenible/>
5. Sánchez, J. (Ed.). (2019) Recursos naturales, medio ambiente y sostenibilidad. 70 años de pensamiento de la CEPAL. Organización de las Naciones Unidas, CEPAL. https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/44785/1/S1900378_es.pdf
6. SISPLADE (2022), Sistema de Planeación para el Desarrollo 2030. Gobierno Del Estado De Oaxaca 2016-2022. <http://sisplade.oaxaca.gob.mx/mun/>
7. Vega Vera, N., y Pérez Akaki, P. (2017). Oaxaca y sus regiones productoras de mezcal: Un análisis desde cadenas globales de valor, 15 (29, 103-132, <https://www.revistas.una.ac.cr/index.php/perspectivasrurales/article/view/9286/11001>

Tabla 1. Primeras pruebas mecánicas del BRE. Fuente: Elaboración propia.

Material	Medidas	Resistencia a la Compresión		Resistencia a la Flexión	
		kN:	kg/cm ² :	kN:	kg/cm ² :
Bloque Residual Ensamblable BRE	10x15x30 cm	34.33	23.34	----	----
Block de concreto ligero	10x15x30 cm	27.69	18.82	----	----
Ladrillo rojo recocido	7x14x28 cm	50.22	52.25	----	----
Bloque Residual Ensamblable BRE	10x15x30 cm	----	----	24.71	55.99
Block de concreto ligero	10x15x30 cm	----	----	20.57	46.61
Ladrillo rojo recocido	7x14x28 cm	----	----	21.02	51.03

Tabla 2. Diseño de mezclas para bloques huecos y sólidos para el BRE. Fuente: Elaboración propia.

Insumos	Bloques Huecos:				Bloques Sólidos:	
	Mezcla 01	Mezcla 02	Mezcla 03	Mezcla 04	Mezcla 05	Mezcla 06
Fibras de pencas de maguey	4.15%	3.18%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
Bagazo de maguey	2.45%	3.18%	2.79%	2.39%	6.42%	7.62%
Vinaza de maguey	6.23%	6.36%	7.76%	14.45%	4.68%	6.35%
Tierra arcillosa	53.09%	58.12%	52.39%	48.78%	53.48%	47.48%
Lodo de papel	10.38%	9.54%	8.34%	7.27%	10.68%	11.45%
Cemento	1.04%	0.95%	0.00%	9.03%	0.00%	10.16%
Cal	0.00%	0.00%	9.70%	0.00%	10.68%	0.00%
Agua	10.38%	9.54%	8.14%	7.23%	9.37%	10.58%
Mucílago de nopal	12.27%	9.14%	10.87%	10.84%	4.68%	6.35%
TOTAL	99.99%	100.01%	99.99%	99.99%	99.99%	99.99%



Figura 1. Lado izquierdo Vista de los equipos de vibro compactación para moldeo de bloques huecos y sólidos. Lado derecho Vista de los bloques huecos y sólidos del BRE en laboratorio para pruebas mecánicas. Fuente: Archivo de los autores.



Figura 2. Superior - Vista de las pruebas de resistencia a la compresión y flexión del BRE, La Salle Oaxaca. Medio -Vista de las pruebas de densidad del BRE, CIIDIR – IPN Oaxaca. Inferior- Vista de las pruebas de propiedades térmicas del BRE, LMSE – UNAM. Fuente: Archivo de los autores.

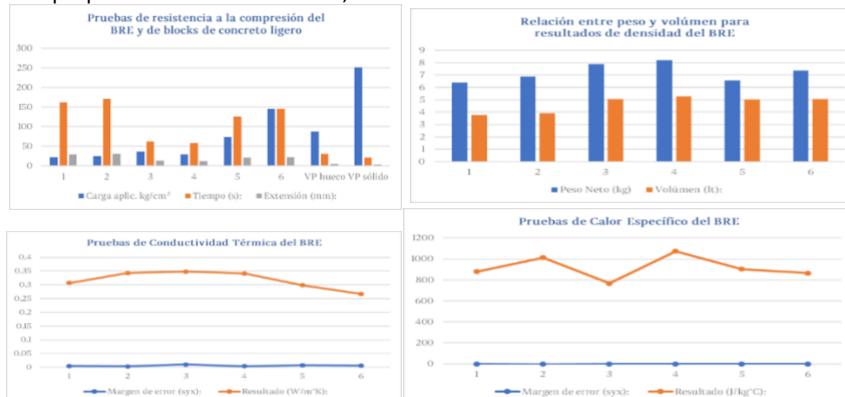


Figura 3. Resultados de las pruebas de resistencia a la compresión, densidad, conductividad y calor específico.

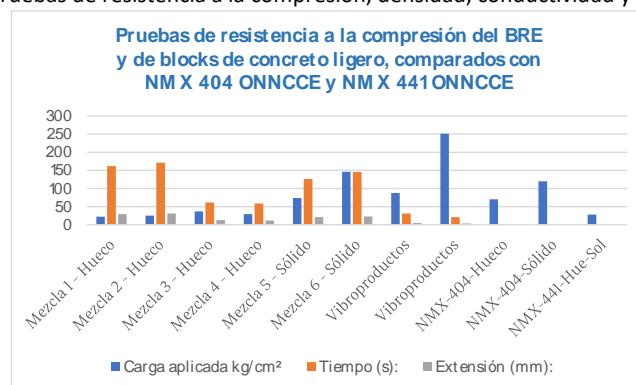


Figura 4. Comparativa de comportamiento de la resistencia a la compresión del BRE con relación a las normas mexicanas NMN - C- 404 - ONNCCE – 2012 y NMN - C- 441 - ONNCCE – 2012.