

Fabricación de bloque constructivo con residuos industriales del mezcal oaxaqueño en México

Karol Paulina Luría Figueroa^{1a} ; Lorena Carina Broca Domínguez² 

¹Maestría en Diseño Arquitectónico Sustentable, ²Dirección de Posgrado, Investigación y Extensión Universitaria, Universidad La Salle Oaxaca, Camino a San Agustín # 407, Santa Cruz Xoxocotlán, Oaxaca, México.

^a014411551@ulsaoaxaca.edu.mx ^akarol.figueroa14@gmail.com

Fecha recepción: marzo 23 de 2023

Fecha aceptación: junio 6 de 2023

Resumen

La industria de la construcción es la tercera fuente de contaminación mundial que produce un alto impacto ambiental desde la fabricación hasta la disposición final de residuos. Paralelamente, el acceso a la vivienda es un problema demandante para familias de bajos recursos que viven en condiciones vulnerables. Aunado a ello, la industria del mezcal oaxaqueño produce residuos contaminantes, tan solo en el 2020 generó 110 000 m³ de vinazas y 41 000 ton de bagazo, desechos que al ser mezclados con tierra arcillosa, lodo de papel, mucílago de nopal, cemento y/o cal, formaron bloques huecos y sólidos con moldeado mecánico. Los resultados de resistencia a la compresión para bloques huecos fueron de 40,15 kg/cm² y 67,11 kg/cm² para bloques sólidos, siendo factible su uso en muros divisorios en apego a la NOM-441-ONNCCE. Se efectuaron pruebas térmica y caracterizaciones termofísicas en la plataforma Ener Habitat, el bloque sólido obtuvo el mejor resultado del factor de decremento energético anual con respecto al adobe, bloque de concreto ligero y ladrillo rojo recocido. Lo anterior hace posible proponer el bloque como sistema constructivo aplicable a viviendas económicas térmica, energética y ambientalmente, sin necesidad de recurrir a mano de obra especializada para su construcción.

Palabras clave: Vinaza; Bagazo; Reutilización; Residuos.

Manufacturing of building block with industrial waste from oaxacan mezcal in México

Abstract

The construction industry is the third source of global pollution that produces a high environmental impact from manufacturing to the final disposal of waste. At the same time, access to housing is a demanding problem for low-income families living in vulnerable conditions. In addition, the Oaxacan mezcal industry discards pollutant residues, only in 2020, it generated 110,000 m³ of vinasse and 41,000 tons of bagasse, waste that, when mixed with clayey soil, paper sludge, nopal mucilage, cement, and lime, formed solid and hollow blocks with mechanical molding. The results of resistance to compression of the hollow blocks were 40.15 kg/cm² and 67.11 kg/cm² for the solid blocks, being feasible for their use in dividing walls by the NOM-441- ONNCCE. Furthermore, the platform Ener Habitat helped us to test the thermal capacity based on thermal tests and thermophysical characterizations. The solid block obtained the best result in the annual energy reduction factor concerning adobe, light concrete block, and annealed red brick. It is possible to consider the block as a construction system applicable to thermal, energetic, and environmentally economic housing units without having specialized labor for construction.

Keywords: *Vinasse; Bagasse; Reuse; Waste.*

Fabricação de bloco de construção com resíduos industriais de mezcal oaxacan no México

Resumo

A indústria da construção é a terceira fonte de poluição global que produz um alto impacto ambiental desde a fabricação até a disposição final dos resíduos. Ao mesmo tempo, o acesso à moradia é um problema exigente para as famílias de baixa renda que vivem em condições de vulnerabilidade. Além disso, a indústria de mezcal de Oaxaca produz resíduos poluentes, só em 2020 gerou 110 000 m³ de vinhaça e 41 000 toneladas de bagaço, resíduos que misturados com solo argiloso, borra de papel, mucilagem de nopal, cimento e/ou cal, formaram blocos vazados e maciços com moldagem mecânica. Os resultados de resistência à compressão para blocos vazados foram de 40,15 kg/cm² e 67,11 kg/cm² para blocos maciços, tornando viável sua utilização em paredes divisórias conforme NOM-441-ONNCCE. Foram realizados ensaios térmicos e caracterizações termofísicas na plataforma Ener Habitat, o bloco maciço obteve o melhor resultado do fator de diminuição anual de energia relativamente ao adobe, bloco de betão leve e tijolo vermelho recozido. Isto permite propor o bloco como sistema construtivo aplicável a habitações térmicas, energéticas e ambientalmente económicas, sem necessidade de recorrer a mão-de-obra especializada para a sua construção.

Palavras-chave: *Vinhaça; Bagaço; Reaproveitamento; Resíduo.*

Introducción

A nivel mundial la actividad constructiva ocupa el tercer lugar en contaminación ambiental y en México representa una fuente constante y segura de ingresos monetarios por la mano de obra de bajo coste, aun cuando la fabricación de materiales constructivos sigue siendo energética y ambientalmente onerosa.

En la República Mexicana se cuenta con la Denominación de Origen del Mezcal (DOM) [1] en nueve estados: Durango, Zacatecas, Tamaulipas, San Luis Potosí, Guanajuato, Michoacán, Puebla, Guerrero y Oaxaca. Esta DOM obliga a los fabricantes del mezcal a producirlo de acuerdo a las tradiciones ancestrales de cada entidad, a cultivar sus agaves de forma local y a generar fuentes de empleos para la gente dedicada a esta actividad.

En el reporte del Consejo Regulador del Mezcal del 2020 [2], se estableció que el estado de Oaxaca tuvo un 92,70 % de la producción de mezcal a nivel nacional, representando un total de 7 273,48 m³ de mezcal oaxaqueño, cantidad que se traduce en la generación de residuos industriales como el bagazo con 40 949,66 toneladas [3] y la vinaza con 109 102,12 m³ [4]. Estos remanentes generalmente son desechados a cielo abierto y en cuerpos de agua cercanos a los palenques mezcaleros, poniendo en riesgo la existencia de fauna y flora locales.

Al día de hoy existen opciones de bloques constructivos cuya materia prima son los residuos, como los bloques sólidos a base de residuos mineros mezclados con tierra, los bloques de arcilla triturada y cal y los bloques de arena sílice y papel, elaborados con residuos locales en México propuestos por González [5]. La investigación de Aguilar [6] a base de Residuos de Construcción y Demolición - RCD, viruta de madera, mucílago de nopal y residuos de excavación, que conforman un ecoladrillo hueco de alta resistencia y el trabajo de Montes [7] que consiste en mezclar bagazo de maguey, vinaza de maguey y tierra arcillosa, para moldear piezas tipo adobe.

De acuerdo a Luría [8] es necesaria la reutilización de todos los residuos generados diariamente, en

especial el bagazo y vinaza del mezcal oaxaqueño, que al mezclarse con tierra arcillosa, lodo de papel, mucílago de nopal, cal y/o cemento, puedan ser moldeados para obtener el bloque residual ensamblable, un material constructivo residual resistente, práctico y económico.

En esta primera etapa del proyecto el alcance fue únicamente proponer y probar una mezcla con características estructurales suficientes para su uso en muros divisorios y que contara con las propiedades térmicas necesarias para el clima de la Ciudad de Oaxaca. En la segunda etapa el alcance será mejorar la mezcla y realizar negociaciones ante diferentes instituciones para lograr alianzas y subsidios para la fabricación a mayor escala del BRE. La tercera etapa pretender facilitar el BRE a las personas en condición vulnerable en las colonias cercanas a la Ciudad de Oaxaca, además de contribuir a que la industria del mezcal oaxaqueño aspire a incorporar procesos sostenibles al propiciar la economía circular y el cuidado al medio ambiente inmediato.

Metodología

La arquitectura fue clasificada durante mucho tiempo en el área de humanidades y no había una metodología definida para trabajos arquitectónicos de investigación. Este trabajo se clasificó como Investigación Tecnológica de acuerdo a lo establecido en los textos de Muñoz [9] y Maya [10], porque se aplican conocimientos, técnicas y procesos específicos para diseñar y construir productos que atienden las necesidades de la población en general cómo se observa en la Figura 1.

Una vez establecida la metodología para la fabricación del bloque residual ensamblable, se creó un esquema de flujo con los parámetros previos para los 5 principales insumos del BRE, así como la propuesta de mezclas, el mezclado, el moldeado, el secado, el monitoreo y las pruebas de laboratorio de las diferentes mezclas, como se observa en la Figura 2.

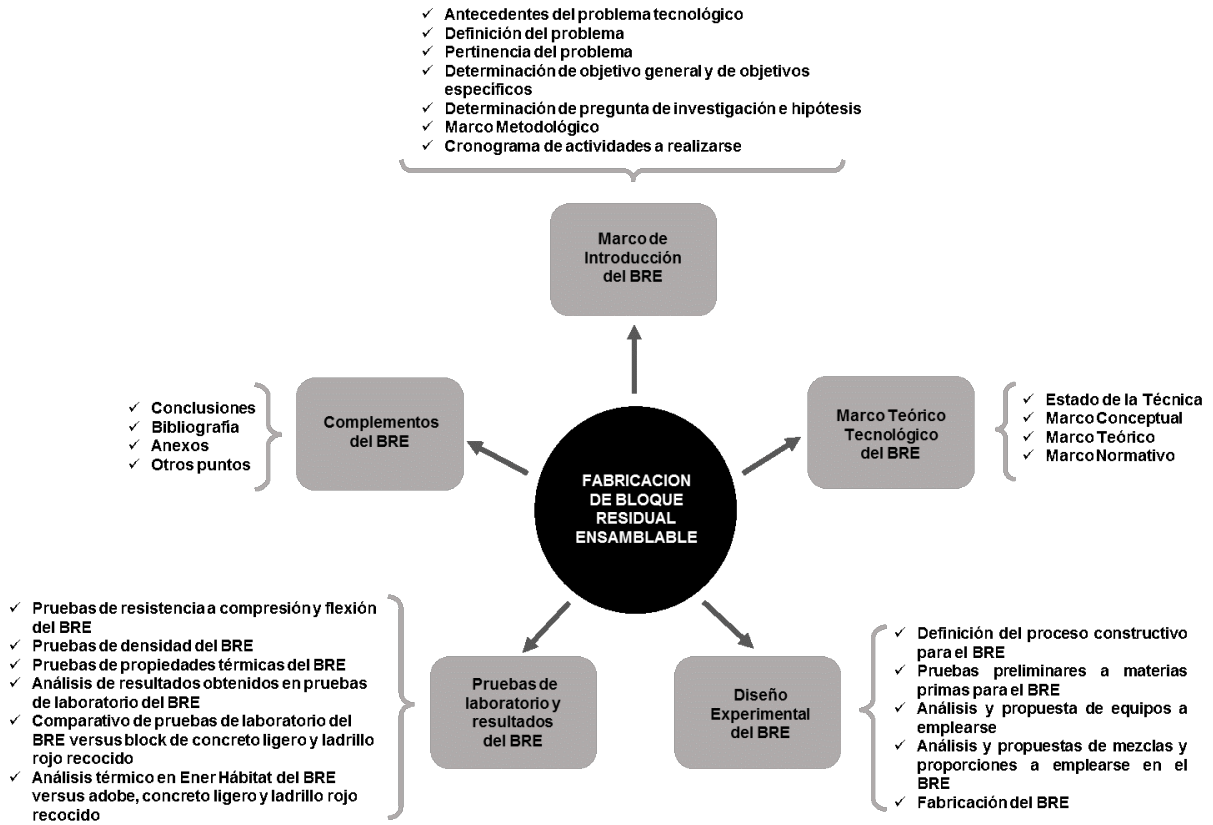


Figura 1. Metodología general para fabricar el BRE.

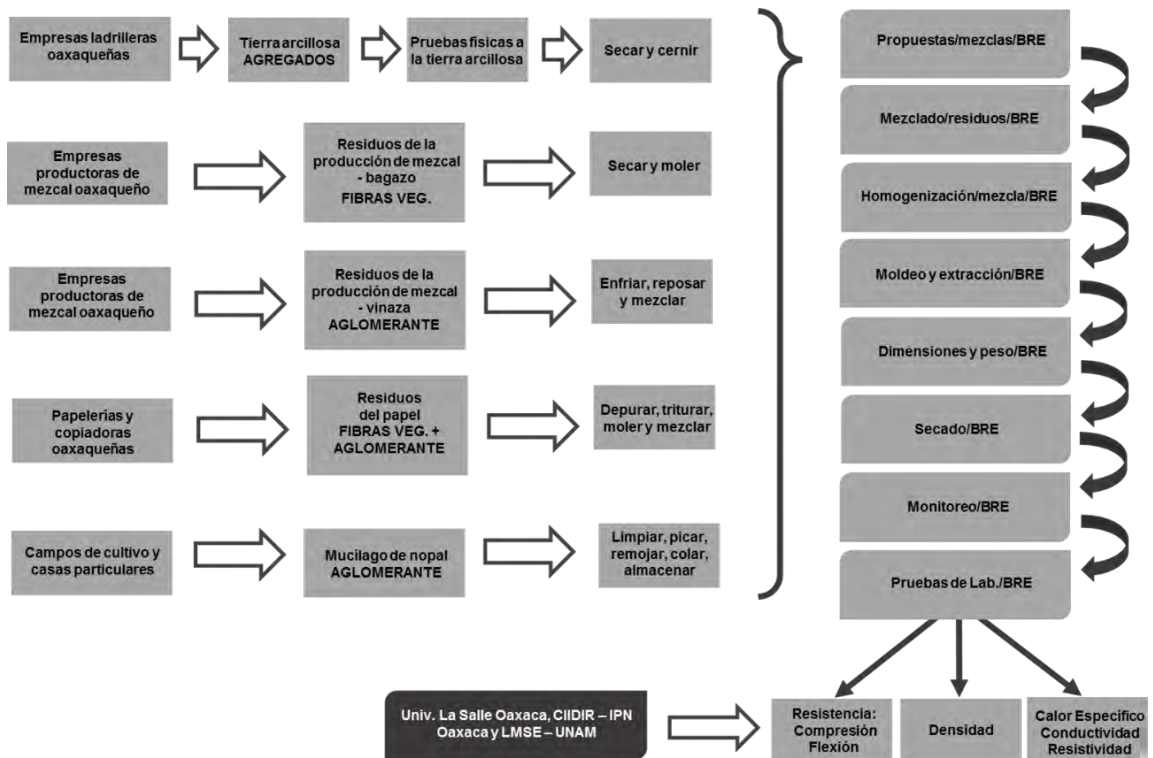


Figura 2. Esquema de flujo de insumos para el BRE.

Se definieron las mezclas M1, M2, M3 y M4 para bloques huecos y las mezclas M5, M6 y M7 para bloques sólidos, como se observa en la [Tabla 1](#). En las mezclas M1 y M2 se consideró agregar las fibras de penca de maguey de 10 cm para comprobar una mejora en la resistencia a la compresión en las piezas del BRE. En todas las mezclas del BRE se consideró el insumo del bagazo de maguey seco y molido.

Se definió incluir cemento en las mezclas M1, M2, M4, M5, M6 y M7 para probar una mejora en la resistencia de las piezas durante las pruebas de resistencia a la compresión. Se decidió incluir cal en las mezclas M3 y M5 para probar cambios en las piezas durante las pruebas de resistencia a la compresión.

Se localizaron los equipos a emplearse para la fabricación de las piezas del BRE, como se observa en las [Figuras 3 y 4](#).

Tabla 1. Propuestas de mezclas del BRE.

Insumos:	Bloques Huecos:				Bloques Sólidos:		
	M1 [%]	M2 [%]	M3 [%]	M4 [%]	M5 [%]	M6 [%]	M7 [%]
Fibras de pencas de maguey	4,15	3,18	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Bagazo de maguey	2,45	3,18	2,79	2,39	6,42	7,62	10,18
Vinaza de maguey	6,23	6,36	7,76	14,45	4,68	6,35	2,36
Tierra arcillosa	53,09	58,12	52,39	48,78	53,48	47,48	39,07
Lodo de papel	10,38	9,54	8,34	7,27	10,68	11,45	10,62
Cemento	1,04	0,95	0,00	9,03	0,00	10,16	14,76
Cal	0,00	0,00	9,70	0,00	10,68	0,00	0,00
Agua	10,38	9,52	8,14	7,23	9,37	10,58	20,66
Mucílago de nopal	12,27	9,14	10,87	10,84	4,68	6,35	2,35
Total	99,99	99,99	99,99	99,99	99,99	99,99	100,00



Figura 3. Vista de máquina de vibrocompactación Rosetta para bloques huecos del BRE.



Figura 4. Vista de máquina de compactación Adopress para bloques sólidos del BRE.

El diseño de experimentación que se estableció para el BRE considera la preparación de los insumos, el diseño de mezclas y el uso de herramientas y maquinaria especializada de vibrocompactación y compactación mostrados previamente. El diseño de mezclas se realizó en base a la comparación de insumos similares que proponen González [5], Aguilar [6] y Montes [7] en sus investigaciones y se agregaron insumos como el cemento y la cal para estabilizar la tierra en las mezclas del BRE. Una vez definidas las mezclas, se prepararon los insumos, se procedió al pesado de cada uno por medio de básculas digitales, vasos medidores y tinajas de plástico, de acuerdo a las proporciones de cada mezcla. Primero se mezclaron los insumos secos (bagazo molido, tierra arcillosa, cemento, cal) a una velocidad de 28 RPM durante 5 min. Posteriormente se agregaron los insumos líquidos (vinaza, lodo de papel, mucílago de nopal) a una velocidad de 28 RPM durante 5 min hasta lograr una mezcla uniforme. Las mezclas de los bloques huecos se mezclaron de forma mecánica, mientras que los bloques sólidos fueron mezclados de forma manual. Los bloques huecos fueron moldeados con la máquina bloquera de vibrocompactación Rosetta y los bloques sólidos fueron moldeados con la máquina bloquera de compactación Adopress. Todas las piezas de los bloques huecos y sólidos se secaron en un periodo de 30 días al sol, como se observa en las Figuras 5 y 6, a temperatura máxima promedio de 28,1 °C, debido a que el moldeado y secado se realizaron en el mes de mayo en la Ciudad de Oaxaca.

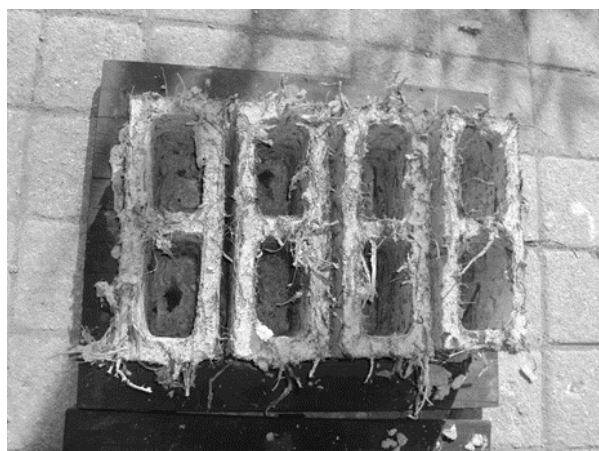


Figura 5. Bloques huecos/BRE secándose al sol.

Una vez secas las piezas huecas y sólidas del BRE, se realizaron las pruebas mecánicas de resistencia a la compresión en dos etapas. En la primera etapa se probaron las mejores 5 piezas de cada mezcla propuesta (sin fisuras o pedazos faltantes), esta es la cantidad mínima que exige el Organismo Nacional de Normalización y Certificación de la Construcción y la Edificación S.C. – ONNCCE en México. En la segunda etapa se probaron 3 piezas de las mejores mezclas para corroborar los resultados de la primera etapa. En todas las pruebas mecánicas se realizaron pruebas con bloques de concreto ligero de las mismas dimensiones del BRE para comparar los resultados entre sí. Todas las pruebas de resistencia a la compresión se realizaron en el Laboratorio de Materiales de la Escuela de Ingenierías y Arquitectura de la Universidad La Salle Oaxaca, en la Máquina de Ensayos Universal CMSUTM – 1000B, de CMS Metrology, con capacidad de carga de 1000 kN y equipo de control computarizado electrohidráulico para el registro de datos y gráficas de las pruebas realizadas, como se observa en las Figuras 7 y 8. Todas las piezas del BRE y del block de concreto ligero fueron sometidas a esta carga hasta llegar a su punto de falla para comparar los resultados de los dos materiales entre sí.



Figura 6. Bloques sólidos /BRE secándose al sol.



Figura 7. Vista de la Máquina de Ensayos CMS Metrology, con capacidad de carga de 1 000 kN.



Figura 8. Vista del equipo de cómputo de la Máquina de Ensayos CMS Metrology, donde se generan los datos y gráficas de las pruebas mecánicas de materiales.

Las pruebas de densidad se realizaron en el Laboratorio de Construcción del CIIDIR – IPN Oaxaca, donde se desecaron todas las piezas de las mezclas del BRE por medio del Horno Humbolt MFG.CO, Chicago IL. 60656 USA, sometiendo los bloques huecos a 24 h y los bloques sólidos a 36 h, a una temperatura de +105 °C a masa

constante, de acuerdo a la normatividad de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes – SCT de México, como se observa en la [Figura 9](#).



Figura 9. Vista del Horno Humbolt MFG CO, donde se desecaron las piezas del BRE para eliminar la humedad ambiental.

Se les retiraron los sobrantes de material de las probetas, se pesaron en una báscula digital como se observa en la [Figura 10](#), se registró el peso y las medidas de cada pieza de cada mezcla.



Figura 10. Pesado del block sólido del BRE en báscula digital, para registrar el peso de cada pieza.

Todas las piezas fueron recubiertas con parafina derretida por medio de brochas de ½" y 1", se pesaron nuevamente y se registraron los datos. Se prepararon dos tinas, una de 50 L y la otra de 80 L, para realizar la inmersión individual de cada una de las piezas y medir el derrame de agua por pieza a través de vasos de precipitado de 5 L como se observa en la [Figura 11](#). Toda esta información se registró con la finalidad de realizar los cálculos de densidad por cada mezcla del BRE.



Figura 11. Vista del vaciado del agua derramada en la inmersión de las piezas del BRE en agua.

Después de realizar las pruebas de densidad de las piezas del BRE, se procedió a las pruebas térmicas. Estas evaluaciones se realizaron en el Laboratorio de Materiales de Sistemas Estructurales – LMSE, de la Facultad de Arquitectura de la UNAM. La primera actividad que se realizó fue la ubicación y perforación de los puntos que se decidió medir en cada pieza de cada mezcla del BRE, como se observa en la [Figura 12](#).



Figura 12. Vista de los puntos definidos para perforar en las piezas del BRE.

Por medio de un taladro de banco de 8", marca KNOVA, modelo KN DP-2000 y brocas de 1/16", se realizaron las perforaciones para que las puntas del sensor (previamente recubiertas con grasa térmica) SH-3 del equipo Meter de marca TEMPOS pudieran entrar sin forzarlas, como se observa en la [Figura 13](#).



Figura 13. Vista del block sólido del BRE siendo perforado con el taladro de banco y las brocas de 1/16".

Una vez listas las perforaciones, se elaboró una caja de madera forrada con capas de unicel para evitar pérdidas de calor en las pruebas térmicas y que las mediciones fueran lo más exactas posibles. Posteriormente se programó el equipo

Meter con las especificaciones necesarias: fecha y hora, tipo de lectura (tierra), tipo de sensor (SH-3), energía (alta), tiempo de lectura (2 min), unidades de conductividad y de resistividad, para obtener la información de capacidad calorífica volumétrica, conductividad y resistividad de cada una de las piezas del BRE, como se observa en la [Figura 14](#).



Figura 14. Vista de la caja térmica, con el equipo Meter trabajando en las pruebas térmicas del BRE.

El equipo Tempos fue diseñado bajo la norma ISO 9001:2015 y las normas EN 61326-1:2013 y EN 55022/CISPR 22. Este equipo tiene un margen de error muy preciso, ya que si durante las pruebas térmicas que se realizan en los materiales los valores reportan datos inferiores a 0,00 son buenos resultados. Si los valores son superiores a 0,1 son valores que significa susceptibilidad a la falla por lo que es necesario calibrar el equipo y volver a realizar las pruebas.

Una vez que se contó con los datos de la capacidad calorífica volumétrica y de la densidad es posible obtener los datos del calor específico del BRE. Para poder realizar la evaluación térmica del BRE y de materiales convencionales en México como el adobe, el block de concreto ligero y el ladrillo rojo recocido, se requirió contar con los valores de propiedades termofísicas de la densidad, el calor específico y la conductividad necesarios para programar la plataforma de Ener Hábitat de la UNAM.

Resultados y análisis

Los resultados obtenidos en las pruebas mecánicas de resistencia a la compresión del BRE y de los bloques huecos y sólidos de concreto ligero, así como la información referente a la distancia de desplazamiento y el tiempo transcurrido hasta el punto de falla de cada mezcla, son el promedio

de las 5 piezas probadas de cada mezcla del BRE y de las piezas de block de concreto ligero. Esta información se puede observar en la [Tabla 2](#).

Al analizarse la información de dicha tabla, se comprueba que la M3 de los bloques huecos presentó una resistencia a la compresión de 40,15 kg/cm², mientras que la M6 de los bloques sólidos presentó una resistencia a la compresión de 35,11 kg/cm² y la M7 de los bloques sólidos presentó una resistencia a la compresión de 67,11 kg/cm².

Al compararse estos valores de las M3, M6 y M7 del BRE con los valores de la NMX-C-441-ONNCCE-2013 [11] se observa que las tres mezclas mencionadas están por arriba de la resistencia mínima individual de 28 kg/cm², para bloques macizos o huecos y de la resistencia media individual de 35 kg/cm², para bloques macizos o huecos, requerida para muros divisorios.

Se analizaron los datos de los bloques de concreto ligero de la empresa Vibroproductos y se observa que los bloques huecos presentaron una resistencia a la compresión de 87,48 kg/cm² y los bloques sólidos presentaron una resistencia a la compresión de 251,21 kg/cm².

Al contrastarse estos valores de los bloques de Vibroproductos con los valores de la NMX-C-404-ONNCCE-2013 [12] se observa que el bloque hueco se encuentra muy cerca de la resistencia media para piezas huecas de 90 kg/cm² y arriba del valor de la resistencia mínima individual de 70 kg/cm², mientras que el bloque sólido se encuentra arriba del valor de resistencia media de 150 kg/cm² y de la resistencia mínima individual de 120 kg/cm², requeridos para muros de carga.

Una vez revisada toda la información de resultados de las pruebas a compresión de las mezclas del BRE y de los bloques de concreto ligero de Vibroproductos, se puede determinar que mientras mayor sea la resistencia a la compresión de los bloques de concreto ligero, el tiempo transcurrido para que lleguen a su punto de falla es menor, lo que representa un alto riesgo para las personas que se encuentren al interior de algún edificio con este sistema constructivo en caso de que se presente un sismo de gran magnitud.

Los bloques del BRE tuvieron una menor resistencia a la compresión, sin embargo, el tiempo que demoraron en llegar a su punto de quiebre fue mucho mayor al compararse con los tiempos de los bloques de concreto ligero, lo que permite a la gente ponerse a salvo en caso de un sismo de gran magnitud.

Para respaldar los comentarios anteriores, existen eventos históricos particulares, los fuertes sismos del 2017 y 2019, en el Istmo de Oaxaca, México, eventos naturales que afectaron a las edificaciones de los estados de Tabasco, Chiapas, Oaxaca, Puebla, CDMX, Morelos y Guerrero. Durante este evento se apreció claramente el comportamiento plástico que tuvieron las construcciones con bloques de concreto ligero y los edificios de adobe (material similar al BRE). Escamiroso [13], desarrolló una investigación donde realizó pruebas de resistencia a la compresión a 15 probetas huecas de concreto ligero y 15 probetas sólidas de concreto ligero, fabricadas manual y mecánicamente en diferentes

empresas, logrando descubrir que ninguna de esas empresas cumple con los requisitos de la NMX-C-404-ONNCCCE-2013 para muros de carga, concluyendo que es de suma importancia vigilar que las empresas que se dedican a la fabricación y venta de bloques de concreto ligero cumplan con dicha normatividad y se pueda reducir el riesgo y la vulnerabilidad de la gente de bajos recursos, quienes generalmente eligen este material de bajo costo para construir sus viviendas y desconocen que ante los fuertes sismos pueden derrumbarse rápidamente.

Los resultados obtenidos en las pruebas de densidad del BRE, se observan en la [Tabla 3](#).

Tabla 2. Pruebas de resistencia a la compresión del BRE y de blocks de concreto ligero.

Mezcla	Bloque	Prueba	R. Final [kg/cm ²]	Tiempo [s]	Extensión [mm]	Observaciones
1	Hueco	Resistencia a la compresión	22,14	161,67	29,17	Se probaron 5 pz
2	Hueco	Resistencia a la compresión	25,03	171,2	30,99	Se probaron 5 pz
3	Hueco	Resistencia a la compresión	40,15	78,22	12,97	Se probaron 5 pz
4	Hueco	Resistencia a la compresión	29,47	58,33	11,67	Se probaron 5 pz
5	Sólido	Resistencia a la compresión	73,64	126,5	21	Se probaron 5 pz
6	Sólido	Resistencia a la compresión	35,11	137,17	22,61	Se probaron 5 pz
7	Sólido	Resistencia a la compresión	67,11	132,56	23,01	Se probaron 5 pz
Vibroproductos	Hueco	Resistencia a la compresión	87,48	31,23	4,68	Se probaron 3 pz
Vibroproductos	Sólido	Resistencia a la compresión	251,21	21,1	3,87	Se probaron 3 pz

Tabla 3. Pruebas de densidad del BRE.

Mezcla	Bloque	Prueba	Prom. Peso [g]	Prom. Vol [cm ³]	Densidad [kg/m ³]	Observaciones
1	Hueco	Densidad	6 379	3 766,33	1 693,69	Se probaron 3 pz
2	Hueco	Densidad	6 879,67	3 905,67	1 761,46	Se probaron 3 pz
3	Hueco	Densidad	7 900,33	5 072,67	1 557,43	Se probaron 3 pz
4	Hueco	Densidad	8 193	5 270	1 554,65	Se probaron 3 pz
5	Sólido	Densidad	6 554,67	5 034,33	1 301,99	Se probaron 3 pz
6	Sólido	Densidad	7 370,67	5 050	1 459,54	Se probaron 3 pz

La densidad es la propiedad de cualquier material gaseoso, líquido o sólido que nos permita medir su ligereza o pesadez, por lo que mientras mayor sea la densidad de un material, más pesado parecerá. Al analizarse los datos de la [Tabla 3](#), se observa que la mezcla 3 de los bloques huecos del BRE tuvo el segundo peso más alto de 7,9 kg y un volumen de agua derramado de 5,07 L, arrojando una densidad total de 1 557,43 kg/cm³, mientras que la mezcla 6 de los bloques sólidos tuvo el tercer peso más alto de 7,37 kg y un volumen de

agua derramado de 5,06 L, arrojando una densidad total de 1 459,64 kg/cm³.

Es importante mencionar que no se cuenta con datos de las pruebas termofísicas de la M7 (densidad, calor específico, conductividad y resistividad), debido a que ya se habían realizado estas evaluaciones a las primeras seis mezclas del BRE, cuando se propuso el diseño de la M7.

Los resultados obtenidos en las pruebas térmicas del BRE, se observan en las [Tablas 4, 5 y 6](#).

Tabla 4. Pruebas de calor específico del BRE.

Mezcla	Bloque	Prueba	Margen de error	Cap. Cal. Volumétrica [J/m ³ K]	Calor Específico [J/(kg °C)]	Observaciones
1	Hueco		0,0046	1,4913	880,43	Se probaron 3 pz
2	Hueco	Capacidad	0,0031	1,7873	1 014,59	Se probaron 3 pz
3	Hueco	Calorífica	0,0098	1,1943	766,77	Se probaron 3 pz
4	Hueco	Volumétrica	0,0042	1,67	1 074,2	Se probaron 3 pz
5	Sólido		0,0073	1,177	904,03	Se probaron 3 pz
6	Sólido		0,0059	1,2637	865,9	Se probaron 3 pz

El calor específico es la cantidad de calor que hay que proporcionar a un gramo de una sustancia para elevar un grado centígrado su temperatura. Al analizarse los valores de calor específico del BRE de la [Tabla 4](#), se observa que la M6 de los bloques sólidos tuvo el segundo valor más bajo

con 865,9 J/kg°C, mientras que la M3 de bloques huecos tuvo el valor más bajo con 766,77 J/kg°C. Una vez que los bloques huecos de la M3 se utilicen en un muro, se podrían registrar valores más altos de calor específico, gracias a la capa de aire intermedia en el mismo material.

Tabla 5. Pruebas de conductividad del BRE.

Mezcla	Bloque	Prueba	Margen de error	Conductividad Térmica [W/(m °K)]	Observaciones
1	Hueco	Conductividad	0,0046	0,307	Se probaron 3 pz
2	Hueco	Conductividad	0,0031	0,3427	Se probaron 3 pz
3	Hueco	Conductividad	0,0098	0,3482	Se probaron 3 pz
4	Hueco	Conductividad	0,0042	0,3414	Se probaron 3 pz
5	Sólido	Conductividad	0,0073	0,2985	Se probaron 3 pz
6	Sólido	Conductividad	0,0059	0,2688	Se probaron 3 pz

La conductividad es la capacidad de ciertos materiales de permitir el paso de calor a través sus moléculas.

Mientras más alto sea el valor de conductividad, será menor el valor de resistividad, ya que son propiedades térmicas opuestas entre sí.

Al analizarse los valores de conductividad del BRE de la [Tabla 5](#), se observa que la M3 de los bloques huecos obtuvo el mayor valor de conductividad de 0,3482 W/m°K, mientras que la M6 de los bloques sólidos obtuvo el menor valor de conductividad de 0,2688 W/m°K.

Tabla 6. Pruebas de resistividad del BRE.

Mezcla	Bloque	Prueba	Margen de error	Resistividad Térmica [°K m/W]	Observaciones
1	Hueco	Resistividad	0,0046	3 333	Se probaron 3 pz
2	Hueco	Resistividad	0,0031	2 938	Se probaron 3 pz
3	Hueco	Resistividad	0,0098	2 875	Se probaron 3 pz
4	Hueco	Resistividad	0,0042	2 929	Se probaron 3 pz
5	Sólido	Resistividad	0,0073	3 377	Se probaron 3 pz
6	Sólido	Resistividad	0,0059	3 783	Se probaron 3 pz

La resistividad es la capacidad que tiene un material para oponerse al flujo de electrones a través de sí mismo. Cuando es más alta la resistividad de un material, menor será su conductividad. Al analizarse los valores de resistividad del BRE de la [Tabla 6](#), se observa que la M6 de los bloques sólidos es la que tuvo el valor más alto de resistividad de 3 783 °Km/W, mientras que la M3 de bloques huecos tuvo el valor más bajo de resistividad de 2 875 °Km/W. Con estos datos se confirma que las propiedades de Resistividad y Conductividad son opuestas y los valores con respecto a la [Tabla 5](#) son contrarios a los de la [Tabla 6](#).

Una vez que se tuvieron estos datos de propiedades térmicas del BRE, se buscaron los datos de propiedades térmicas del adobe, del block de concreto ligero y del ladrillo rojo recocido, para subir toda esta información a la plataforma Ener Habitat, como se observa en la [Figura 15](#), para poder realizar las simulaciones térmicas de estas cuatro opciones de materiales constructivos, como se observa en la [Figura 16](#), para comprobar cuál de ellos tiene el Factor de Decremento más bajo, lo que representa un menor consumo energético anual en cualquier edificación, como se observa en la [Figura 17](#).



Figura 15. Registro de los datos de las propiedades térmicas de los materiales en Plataforma Ener Habitat.



Figura 16. Vista del registro de datos en plataforma Ener Habitat, para correr las simulaciones térmicas del BRE versus adobe, block de concreto ligero y ladrillo rojo recocido.

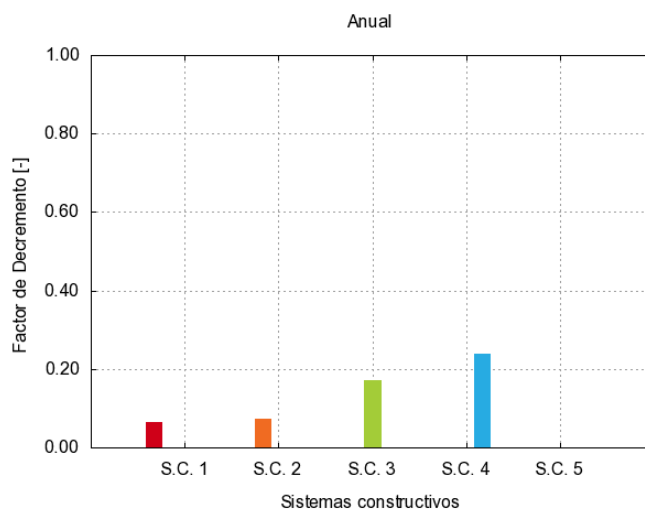


Figura 17. Vista de la gráfica generada en Ener Habitat, en la que se observa el Factor de Decremento Energético Anual de los materiales en Ener Habitat, donde SCI = BRE, SC2 = Adobe, SC3 = Block de concreto ligero y SC4 = Ladrillo rojo recocido.

Considerando la información de las Figuras 15, 16 y 17, se pueden establecer los siguientes resultados:

En el caso de las evaluaciones térmicas de los sistemas con capas homogéneas del Ener Hábitat (bloques sólidos), al compararse el BRE con el adobe, el block de concreto ligero y el ladrillo rojo recocido, se observa que el BRE es el sistema constructivo que requiere de menor energía para lograr el rango de confort higrotérmico al interior de los edificios, quedando en segundo lugar el adobe, en tercera posición el block de concreto ligero y en cuarto lugar el ladrillo rojo recocido.

Anualmente el BRE tiene un factor de decremento (consumo energético anual) de 0,08, mientras que el del adobe es de 0,09, el del block de concreto ligero es de 0,18 y el del ladrillo rojo recocido es de 0,24.

Conclusiones

Las civilizaciones ancestrales edificaron sus refugios con los materiales que tenían a su alcance y perfeccionaron sus técnicas constructivas a tal grado que muchos de sus edificios son vigentes al día de hoy. La Arquitectura e Ingeniería Civil tienen una gran área de oportunidad para retomar la construcción con tierra, mejorarla y ponerla al servicio de la gente que lo necesite, contribuyendo así a la preservación de usos, costumbres y saberes antiguos valiosos.

Las mezclas M3, M6 y M7 son las mezclas que tuvieron mayor resistencia a la compresión, siendo sus valores suficientes para su uso en muros divisorios, de acuerdo a lo que establece la NMX-441-ONNCCE, sin embargo, el BRE presenta una plasticidad mayor con respecto a los bloques de concreto ligero, permitiendo a la gente ponerse a salvo en caso de un sismo de gran intensidad y que el material no les caiga encima, caso contrario al de los bloques de concreto ligero.

La mezcla M6 en la simulación termofísica en la plataforma de Ener Habitat presentó el valor de decremento más bajo que el adobe, que el block de concreto ligero y el ladrillo rojo recocido.

Con esta información se puede concluir que el BRE es la mejor opción para muros divisorios porque cuenta con las mejores propiedades térmicas para lograr una mayor inercia térmica acorde al clima de la Ciudad de Oaxaca de Juárez y sus alrededores, además de contribuir al ahorro económico y energético de los clientes que decidan emplearlo en sus edificaciones.

Referencias

- [1] Vega Vera NV, Pérez Akaki P. Oaxaca y sus regiones productoras de mezcal: Un análisis desde cadenas globales de valor. *Perspectivas Rurales*, Nueva Época. 2017;15(29):103-132.
- [2] Consejo Mexicano Regulador de la Calidad del Mezcal A.C. Informe Estadístico. Oaxaca,

- México: Consejo Regulador del Mezcal; 2020.
- [3] Robles C, Flores P, Castañeda E. Generación y caracterización básica de bagazos de la agroindustria del mezcal en Oaxaca. *Revista Mexicana Ciencias Agrícolas*. 2020;11:437-1445.
- [4] SAGARPA, CONADESUCA, Universidad Autónoma Chapingo. *Vinazas: Alternativas de uso*. Ciudad de México, D.F.: CONADESUCA; 2016.
- [5] González AA. Materiales de construcción con residuos industriales de vertederos ecológicamente invasivos, *Arquitectura y Urbanismo*. 2018;39(1):5-26.
- [6] Aguilar A. Fabricación de bloques ecológicos a base de material producto de la construcción. Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Ingeniería Civil y Construcción. 2017:1-132.
- [7] Montes A. *Mezcal y tierra*, Editorial Carteles Editores, Primera Edición. 2017:9-101.
- [8] Luría K, Broca L. *Fabricación del Bloque Residual Ensamblable – BRE* (tesis de maestría). Santa Cruz Xoxocotlán, Oaxaca, México: Universidad La Salle Oaxaca; 2022.
- [9] Muñoz Rozo C. *Cómo elaborar y asesorar una investigación de tesis*. México: Editorial Prentice Hall; 2011.
- [10] Maya E. *Métodos y técnicas de investigación – Una propuesta ágil para la presentación de trabajos científicos en las áreas de Arquitectura, Urbanismo y disciplinas afines*. México: UNAM; 2014.
- [11] Organismo Nacional de Normalización y Certificación de la Construcción y la Edificación (ONNCCE). Norma Mexicana NMX-C-441-ONNCCE-2013, *Industria de la Construcción-Mampostería - Bloques, tabiques o ladrillos y tabicones para uso No Estructural – Especificaciones y métodos de ensayo*. México; 2013.
- [12] Organismo Nacional de Normalización y Certificación de la Construcción y la Edificación (ONNCCE). Norma Mexicana NMX-C-404-ONNCCE-2012, *Industria de la Construcción-Mampostería - Bloques, tabiques o ladrillos y tabicones para Uso Estructural – Especificaciones y métodos de ensayo*. México; 2012.
- [13] Escamirosa Montalvo LF, Molina Narvaez N. Análisis de la resistencia a la compresión de bloques de concreto usados en la construcción de viviendas en la Ciudad de Tuxtla Gutiérrez, Chiapas. *Espacio I+D, Innovación más Desarrollo*. 2022;11:29 doi.org/10.31644/IMASD.29.2022.a03