

# Análisis de la resistencia mecánica ante compresión de bloques de adobe con agregados de fibra de bagazo de caña



## Colaboración

Adolfo Robles Rojo; Santiago Arceo Díaz; José Ricardo Moreno Peña; Dominga Zuleica Chávez Pérez. Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico de Colima; Jorge Armando Ojeda Sánchez, Universidad de Colima

Fecha de recepción: 29 de enero de 2021

Fecha de aceptación: 12 de noviembre de 2021

**RESUMEN:** Se elaboraron bloques de adobe con fibra de bagazo de caña de azúcar, con la finalidad de evaluar si presentan ventajas mecánicas, respecto a bloques de adobe tradicional. Se analizaron el esfuerzo normal necesario para causar una fractura en los bloques, y la deformación asociada, en tres tratamientos experimentales y un tratamiento testigo, con la máquina de esfuerzos Shimadzu UH-500KNI. Estos bloques fueron diseñados tomando en cuenta las características de la máquina y la norma ASTM E8M. Los resultados muestran que el agregado de fibra de bagazo de caña incrementa la resistencia mecánica y la elasticidad de los bloques. Se encontró que los bloques con un porcentaje en peso de agregado de bagazo de caña de entre el 5 % y 10 %, mostraron tanto un incremento en resistencia como en deformación previa a la fractura, respecto a la de los bloques hechos con adobe tradicional.

**PALABRAS CLAVE:** Adobe, construcción deformación, esfuerzo normal, fibra, materiales naturales.

**ABSTRACT:** Adobe blocks were made with sugarcane bagasse fiber, in order to evaluate whether they present mechanical advantages compared to traditional adobe blocks. The normal stress necessary to cause a fracture in the blocks, and the associated deformation, were analyzed in three experimental treatments and a control treatment, with the Shimadzu UH-500KNI stress machine. These blocks were designed taking into account the characteristics of the machine and the ASTM E8M standard. The results show that the addition of cane bagasse fiber increases the mechanical resistance and elasticity of the blocks. It was found that the blocks with a percentage by weight of sugarcane bagasse aggregate between 5% and 10%, showed both an increase in resistance and in deformation prior to fracture, compared to that of blocks made with traditional adobe.

**KEYWORDS:** Adobe, construction deformation, normal stress, fiber, natural materials.

**INTRODUCCIÓN**

En la actualidad es cada vez más frecuente que se considere el impacto ambiental y el uso de materiales sostenibles en la industria constructiva. Tal es el caso del adobe, tradicionalmente utilizado en muchas regiones del mundo, que se caracteriza por su baja conductividad térmica, la facilidad con la que la tierra del sitio de construcción puede utilizarse para la fabricación de elementos constructivos y el bajo costo de producción asociado [1]. En este sentido, las propiedades físicas del adobe favorecen el enfriamiento pasivo del interior de las edificaciones, implicando un ahorro considerable de energía [2]. Sin embargo, la vulnerabilidad ante la humedad es un factor que pone en riesgo la estructura [3].

En trabajos previos se ha propuesto el uso de fibra de bagazo de caña para mejorar las propiedades mecánicas de materiales constructivos hechos de concreto. Enfocándose en el análisis de la resistencia a compresión y flexión de mezclas de concreto, con un agregado de 2.5%, en volumen, de fibras de bagazo de caña, se encontró que la mezcla experimental presentaba ventajas respecto al material tradicional [4]. En la actualidad diversas investigaciones arrojan los resultados de las propiedades de las fibras naturales utilizadas en la construcción [5 - 9].

La presente investigación describe el proceso de preparación de bloques en los que un porcentaje del volumen de tierra fue sustituido por fibra de bagazo de caña de azúcar basado en las dimensiones mínimas de 5 cm, la forma cubica de las probetas de la norma ASTM E8M y la máquina Shimadzu UH-500KNI que se utilizó para medir el esfuerzo normal. Principalmente, se comparó la resistencia ante compresión y la deformación resultante, antes de que se presentará una fractura, sirviendo como un estudio exploratorio de la viabilidad de la incorporación de la fibra de bagazo de caña en mezclas tradicionales de adobe que pudieran ser usadas en la industria constructiva.

**MATERIALES Y MÉTODOS**

**Hipótesis**

El bagazo de caña de azúcar agregado a una mezcla de adobe aumenta la resistencia de los bloques de adobe ante compresión y deformación respecto al adobe convencional.

**Metodología**

Para la elaboración de este experimento se desarrollaron las siguientes actividades:

**Obtención de los materiales**

La materia prima para la fabricación de adobe se obtuvo directamente de la ladrillera Padilla ubicada en el municipio de Villa de Álvarez, Colima, México, que produce bloques de barro cocido (también conocido en la región como ladrillo rojo) y su ubicación lo describe la Figura 1 [10].

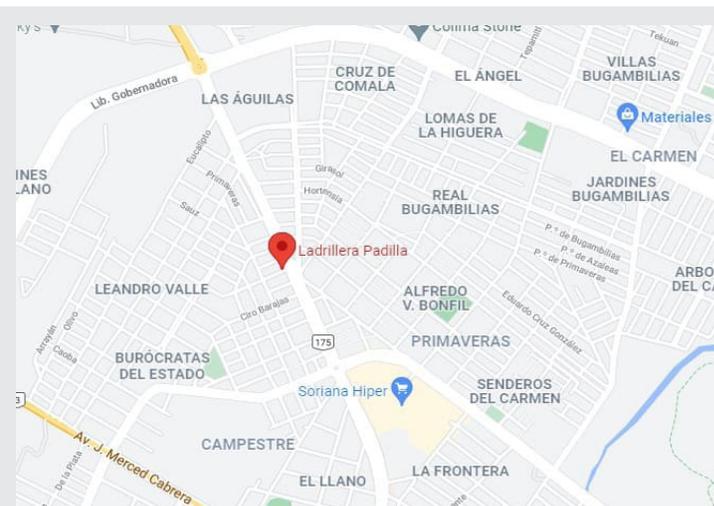


Figura 1 “Obtención de la tierra para adobe” Fuente: Google Maps.

El bagazo de caña de azúcar fue obtenido directamente del almacén del ingenio de Quesería, Cuauhtémoc, Col. Perteneciente al Grupo Beta San Miguel (Figura 2).

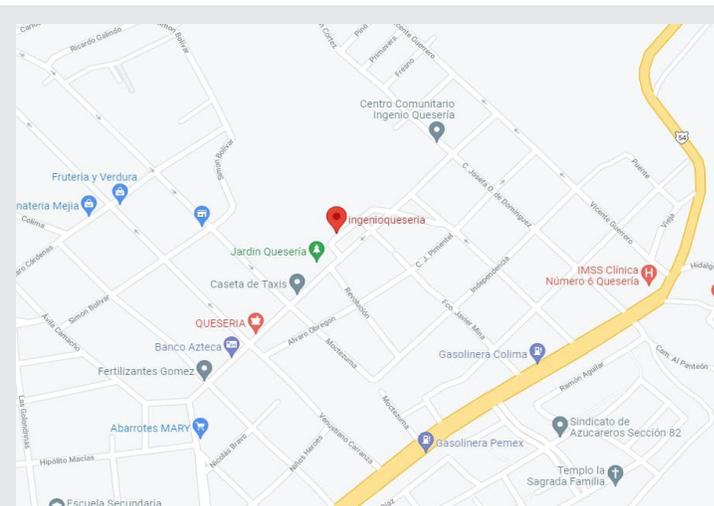


Figura 2 “Obtención de fibras” Fuente: Google Maps.

**Proporción de las mezclas para los bloques**

Para la elaboración de los bloques de adobe y fibra se plantearon las proporciones mostradas en la Tabla 1, en las que un porcentaje del peso de la tierra utilizada para preparar un bloque fue reemplazado por un peso equivalente de fibra de bagazo de caña de azúcar. Los porcentajes utilizados son del 1 %, 5% y 10% del peso de tierra sustituido con fibra de bagazo de caña.

Tabla 1 Tabla de proporciones de mezclas

Muestras	Proporciones de mezclas										
	0%		1%			5%			10%		
	Tierra (g)	Agua	Tierra (g)	Fibra (g)	Agua (ml)	Tierra (g)	Fibra (g)	Agua (ml)	Tierra (g)	Fibra (g)	Agua (ml)
1	200	14.25	198	2	14.25	190	10	14.25	180	20	14.25
2	200	14.25	198	2	14.25	190	10	14.25	180	20	14.25
3	200	14.25	198	2	14.25	190	10	14.25	180	20	14.25
4	200	14.25	198	2	14.25	190	10	14.25	180	20	14.25
Total	800	57	792	8	57	760	40	57	720	80	57

**Producción de los bloques**

Para la producción de los bloques se elaboró un molde de madera de 50 cm de largo, 9 cm de ancho y

con espacio para 7 cavidades cúbicas, en las que se colocaron las muestras utilizadas. Las cavidades cúbicas en las que se prepararon los bloques tienen 5 cm de arista. Adicionalmente, para facilitar el desmolde de los bloques, el molde de madera fue curado con aceite vegetal quemado, 24 horas antes del ingreso de las mezclas. Si bien el tamaño de los bloques utilizados no se ajusta a las recomendaciones de la norma, NMX-040-ONNCCE, que determina las dimensiones que debe tener un bloque de construcción [11], se eligió este tamaño de acuerdo a las dimensiones máximas que podían introducirse en el dispositivo experimental utilizado para ensayar los bloques.

se dejaron secar a la sombra durante una semana, en donde se procuró que fueran expuestos a las mismas condiciones ambientales y de temperatura.

### Caracterización de los materiales

La tierra que se usó para la elaboración de los bloques está compuesta principalmente de arena, limos y arcillas en porcentajes aproximados de 30%, 40% y 30%, respectivamente, de acuerdo con el distribuidor de la ladrillera y los procesos de cribado. Este tipo de material suele ser de tipo limo-arcilloso, el cual presenta proporciones equilibradas de arena y arcilla permitiendo la fabricación de bloques resistentes y porosos [12].

Por otro lado, las fibras empleadas fueron seleccionadas por medio de observación directa, de color café amarillento y tamaño no mayor a 3 cm de largo y se escogieron las que presentaran un grosor similar. Estas fibras son el resultado del desecho de la producción de azúcar (bagazo de caña), en el ingenio se procuró recuperar las de condiciones físicas similares y en mejor estado para su análisis.

### Curado del bagazo

Las fibras de bagazo utilizadas, se recolectaron del almacén del ingenio de Quesería, tal como se observa en la Figura 2, municipio colindante con el estado de Colima.

Durante su transporte, se cuidó que las fibras no fueran expuestas a agentes externos y a la radiación solar. La preparación de la fibra comenzó con su lavado con agua, para disminuir azúcares o residuos adheridos. Así mismo, se siguió la recomendación de lavado previo de manos, utilizando jabón neutro, para minimizar la contaminación de las fibras con grasa y otros posibles agentes externos. Después del lavado de la fibra, esta se dejó secar, primero, por exposición a la luz solar durante 12 horas y por 12 horas a la sombra, minimizando el riesgo de que la fibra absorbiera la humedad ambiental durante las horas de noche. La fibra seca fue cortada con tijera, asegurando que las mezclas contuvieran solo segmentos de 2.5 cm de longitud. Así mismo, se procuró mediante inspección visual que las fibras utilizadas en las mezclas tuvieran grosor y color similares.

### Sitio de análisis

Las pruebas a compresión y deformación se realizaron en el Instituto Tecnológico de Colima, en el laboratorio de mecatrónica, con la máquina para esfuerzos y deformaciones Shimadzu UH-500KNI [12].

Para cumplir con las condiciones técnicas requeridas por el equipo, tanto en las pruebas de compresión como de deformación, se siguió la norma ASTM E8M, que indica que la prueba de compresión, que se realiza en un módulo de placa de diámetro de 120 mm,



Figura 3 "Materiales y herramientas"

Fuente: elaboración propia.

### Producción de bloques de control y los experimentales

Se verificó que cada uno de los bloques de control utilizados tuvieran el peso similar, 200 gramos. Este peso fue usado como referencia para la preparación de los bloques experimentales.

El procedimiento para cada mezcla consistió en pesar las proporciones dentro de una bolsa de plástico y con ayuda de una báscula digital.

Después, se vertieron los materiales en un recipiente de plástico con cucharas de albañilería. A continuación, se mezclaron los ingredientes, agregando agua hasta obtener una mezcla homogénea. Se colocó una bolsa de plástico a lo largo de la base del molde de madera, con el fin de impedir filtraciones y agrietamientos al verter las mezclas en las cavidades cúbicas del molde de madera. Por último, la mezcla contenida en las cavidades del molde fue apisonada constantemente hasta formar los bloques, asegurando que llenara completamente cada cavidad y se dejaron secando a la luz solar.

### Obtención de los bloques

Después de 10 horas de exposición a la luz solar, los bloques se desmontaron del molde, se separaron y

requiere que la geometría de los bloques sea cúbica o cilíndrica [13-14]. El esfuerzo normal aplicado por la máquina puede describirse mediante la ecuación 1:

$$\sigma = \frac{F}{A} \quad \text{Ec. (1)}$$

que define el esfuerzo normal ( $\sigma$ ) de los bloques como la fuerza aplicada (F) dividida entre el área transversal de la superficie de contacto (A), que en el caso de los bloques utilizados era de 25 cm<sup>2</sup>. La deformación resultante de la compresión se tomó directamente de los valores estimados por la máquina de ensayo universal.



Figura 4 “Maquina para esfuerzos” Fuente: <http://photos.la-bwrench.com/equipmentManuals/10779-4286.pdf>

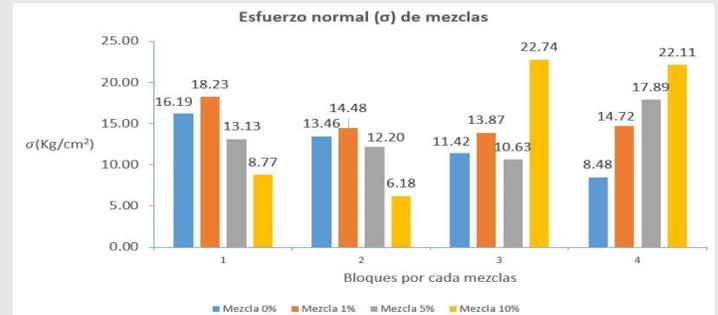
**RESULTADOS**

La Tabla 2 muestra los resultados de las pruebas de esfuerzo normal (en kilogramos) y deformación ante compresión de los bloques (en milímetros) de 5cm elaborados. En esta se representa los valores obtenidos de las cuatro mezclas para cada probeta analizada.

Tabla 2 Resultados de las pruebas para cada tipo de mezcla

Porcentaje fibra	Fuerza (Kg)	Esfuerzo normal $\sigma$	Deformación unitaria $\epsilon$	$\sigma$ promedio	$\epsilon$ promedio
0.00	404.82	16.19	2.30	12.39	3.08
	336.50	13.46	4.30		
	285.52	11.42	2.50		
	212.10	8.48	3.20		
0.01	455.81	18.23	2.60	15.33	2.60
	361.99	14.48	2.20		
	346.70	13.87	3.20		
	368.11	14.72	2.40		
0.05	328.34	13.13	3.50	13.46	3.18
	304.89	12.20	3.30		
	265.63	10.63	3.20		
	447.14	17.89	2.70		
0.10	219.24	8.77	4.00	14.95	13.53
	154.59	6.18	5.20		
	568.48	22.74	21.90		
	552.68	22.11	23.00		

En el caso de los bloques de control, el esfuerzo normal  $\sigma$  varió en un rango entre 8.48 y 16.19 Kg/cm<sup>2</sup>, mientras que la deformación ( $\epsilon$ ) varió entre 2.3 y 3.2 mm/mm. Los valores obtenidos para cada una de las repeticiones pueden observarse en las columnas 3 y 4 de la Tabla 2, mientras que su magnitud relativa se muestra en las Gráficas 1 y 2. Los valores obtenidos sirvieron de referencia comparativa contra los de los bloques experimentales.



Gráfica 1 “Esfuerzos normales para cada uno de las cuatro iteraciones de la prueba de resistencia mecánica”

Como se puede observar en la Gráfica 1 los esfuerzos normales de las 4 diferentes mezclas que se analizaron y de los cuatro diferentes prototipos, se puede comparar su variación respecto una con otra. Los número del 1 al 4 en las abscisas representan las 4 repeticiones que se hicieron para cada mezcla (Tabla 2). Así, por ejemplo, el bloque número 1 de la mezcla con cero porcentajes de agregado de fibra (bloques de control) obtuvo aproximadamente 16 kg/cm<sup>2</sup>, en contra parte con el bloque número 2 de la misma mezcla obtuvo aproximadamente 13.5 kg/cm<sup>2</sup>.

La Gráfica 1 muestra el esfuerzo norma obtenido de las cuatro pruebas para cada uno de los tratamientos con una proporción específica de fibra. Como puede observarse, los bloques del grupo de control (representados por las barras azules, presentan un esfuerzo normal que varía entre 8 y 16 kg/cm<sup>2</sup>. En cuanto a los tratamientos experimentales, el que tiene 10% de fibra agregada presenta la mayor variabilidad (entre 6 y 22 kg/cm<sup>2</sup>), seguido por los tratamientos con 5%, y 1%.

En términos de los valores promedio, mostrados en la Tabla 2, todos los tratamientos con fibra superaron al grupo de control.



Gráfica 2 “Deformación de los bloques”

Mediante la Gráfica 2 se muestra la deformación de los bloques analizados para cada bloque. Destacan las deformaciones de la mezcla con mayor porcentaje de fibra. De manera similar a la gráfica anterior esta segunda contrasta los valores, pero en este caso de la deformación de todos los bloques ensayados para cada tipo de mezcla.

Para la mezcla con agregados del 1% de fibra, el esfuerzo normal varió entre 14.72 y 18.23 kg/cm<sup>2</sup>, los valores obtenidos para cada bloque se muestran en la Tabla 2. Comparando los valores promedio para el esfuerzo normal entre los bloques control y este primer tratamiento experimental (12.39 y 15.33 kg/cm<sup>2</sup>, respectivamente), se observa que el tratamiento con 1 % de fibra de bagazo de caña muestra una resistencia promedio 25 % mayor. En cuanto a la deformación, el valor promedio de los bloques experimentales es de 2.6 mm/mm, que corresponde a un 86 % de la deformación promedio registrada en los bloques de control. En ambos parámetros, los bloques experimentales con 1 % de fibra mostraron menos variabilidad que los bloques control (Gráficas 1 y 2).

Para la mezcla con 5 % de agregado de fibra de bagazo de caña, el esfuerzo normal promedio registrado en los bloques fue 8 % mayor que el de los bloques de control, en un rango que varió entre 13.13 y 17.89 kg/cm<sup>2</sup>. La deformación promedio registrada fue de 3.18 mm/mm, apenas 3 % por encima de la deformación promedio registrada en los bloques experimentales (los registros para cada bloque se muestran en la Tabla 2). Al igual que los bloques hechos con la mezcla con 1% de agregado de fibra de bagazo de caña, los bloques experimentales con 5 % muestran menos variabilidad en ambos parámetros cuando se comparan con los bloques de control (Gráficas 1 y 2).

Los bloques elaborados con la mezcla en la que 10% del peso de tierra fue reemplazado con fibra de bagazo de caña, mostraron un comportamiento dual (Gráfica 1). En dos de ellos, el esfuerzo normal registrado fue menor que 10 kg/cm<sup>2</sup>, mientras que, para los restantes, fue de alrededor de 22 kg/cm<sup>2</sup>. Sin embargo, el estado final de los bloques que registraron los esfuerzos más pequeños fue distinto al de los preparados con otras proporciones, ya que se compactaron, cediendo a la fuerza aplicada por la máquina, sin presentar fractura. En el caso de los bloques que registraron los mayores esfuerzos normales, estos también presentaron las deformaciones más grandes, 21.9 y 23 mm/mm (Gráfica 2). Los bloques de este último grupo presentaron los valores promedio más altos, en cuanto al esfuerzo normal y la deformación: 15 kg/cm<sup>2</sup> y 13.5 mm/mm (Tabla 2).

## CONCLUSIONES

Se comprobó que el agregar fibra de bagazo de caña ayuda a mejorar las propiedades mecánicas de los

bloques, tal y como se demuestra en este análisis experimental.

Respecto a la resistencia promedio medida en los bloques prototipo, los bloques con fibra obtuvieron resistencias superiores entre un 10% (bloques con 5% de fibra) y 20% (bloques con 1% y 10% de fibra). Si bien la apariencia de las caras externas de los bloques variaba mucho, de acuerdo al porcentaje de fibra, los esfuerzos normales promedio de las mezclas con 1% y 10% de fibra son similares. En el caso de los bloques con 5% de fibra, se observó una posible dependencia de la resistencia de acuerdo al acomodo de las fibras en los bloques. Esta dependencia en el acomodo de la fibra, también parece haber afectado a los bloques con la mezcla de 10% de fibra añadida ya que se observó una variación del esfuerzo normal para dos de los bloques que representan apenas el 41% y 27% del máximo que fue de aproximadamente 22 kg/cm<sup>2</sup>.

Respecto al tipo de falla observada en los bloques, se observó una clara diferencia entre los bloques prototipos y los bloques con fibra añadida. Mientras que los bloques prototipo presentaron fallas frágiles, los bloques con fibra añadida se comportaron como un material dúctil ante la compresión, presentando mayores índices de deformación antes de que se produjera la fractura; esto se observó principalmente en los bloques cuyo porcentaje de fibra añadida estaba entre 5% y 10%. Esto podría parecer atractivo al momento de implementar un sistema constructivo a base de materiales naturales y orgánicos. Sin embargo, es importante mencionar la posible dependencia en el acomodo de las fibras que afectó a dos de los bloques con 10% de fibra agregada. En un trabajo a futuro se plantea estudiar la influencia de la geometría de las fibras combinadas con el adobe, para extender el estudio presentado en esta investigación exploratoria. Así mismo, se plantea estudiar las propiedades térmicas de los bloques y su interacción con el agua, ya que se observó durante la elaboración de los bloques, que lavar la fibra con agua, para remover excesos de azúcares, provoca una hinchazón notable, así como un cambio en la textura. Estas fibras tienen buenas propiedades de absorción de agua, por lo que resultaría útil realizar un análisis de su capacidad de absorción de agua dentro de los bloques. Se contempla utilizar la nomenclatura propuesta por la NMX-C-404-ONNC-CE y a través del estudio de los mismos plantear una alternativa justificada mediante la factibilidad técnica y ecológica para su posible industrialización.

## AGRADECIMIENTOS

Se agradece el apoyo del Dr. Jorge Armando Ojeda Sánchez, del Laboratorio de Arquitectura de la Facultad de Arquitectura y Diseño de la Universidad de Colima y del Dr. Azael García Rebolledo, del Laboratorio del Departamento de Mecatrónica del Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico de Colima,

por su apoyo durante la realización de las pruebas y su guía en el análisis de los resultados.

#### BIBLIOGRAFÍA

[1] Quagliarini, E., & Lenci, S. (2010). *The influence of natural stabilizers and natural fibres on the mechanical properties of ancient Roman adobe bricks*. *Journal of Cultural Heritage*, 11(3), 309-314.

[2] Pal, R. K. (2015). *Thermal Performance of Mud Houses*. *Research Journal of Engineering and Technology*, 6(4), 439-442.

[3] Lovón, R., & Lovón, E. (2019). *The Impact of Humidity on the Resistance of Historic Adobe Monuments*. In *Structural Analysis of Historical Constructions* (pp. 1959-1967). Springer, Cham.

[4] Saraz, J. A. O., Aristizabal, F. V., & Mejía, J. A. H. (2007). *Comportamiento mecánico del concreto reforzado con fibras de bagazo de caña de azúcar*. *Dyna*, 74(153), 69-79.

[5] Morales, B. & Cuevas, J. (2019) *Estudio de las propiedades mecánicas del concreto reforzado con fibras de bagazo de caña de azúcar*. *Revista Ingeniería UC*, 26 (2), 202-222.

[6] Sharma, V., Marwaha, B. M., & Vinayak, H. K. (2016). *Enhancing durability of adobe by natural reinforcement for propagating sustainable mud housing*. *International Journal of Sustainable Built Environment*, 5(1), 141-155.

[7] Sharma, V., Vinayak, H. K., & Marwaha, B. M. (2015). *Enhancing sustainability of rural adobe houses of hills by addition of vernacular fiber reinforcement*. *International journal of sustainable built environment*, 4(2), 348-358.

[8] Gómez, S.A (2009). *Diseño, Experimentación y Evaluación del Sistema Constructivo Sam (Sistema de bloques fibrorreforzados con fibra del desecho del fruto del coco, para la construcción de vivienda)*. Universidad de San Carlos de Guatemala.

[9] Reyna, C. (2016). *Reutilización de plástico PET, papel y bagazo de caña de azúcar, como materia prima en la elaboración de concreto ecológico para la construcción de viviendas de bajo costo*.

[10] Ladrillera Padilla, Colima, Mexico. Google Maps.com, 09 de Septiembre de 2021.

[11] Mexicana, N. NMX-C-404-ONNCCE-(2012). *Bloques, tabiques o ladrillo tabicones para uso estructural-especificaciones y métodos de ensayo*.

[12] Rivera Torres, J. C. (2012). *El adobe y otros materiales de sistemas constructivos en tierra cruda: caracterización con fines estructurales*. *Apuntes: Revista de Estudios sobre Patrimonio Cultural-Journal of Cultural Heritage Studies*, 25(2), 164-181.

[13] SHIMADZU. (2015). *Fixed Compression Plates*. 12 de mayo de 2021 de SHIMADZU sitio web: [https://www.ssi.shimadzu.com/sites/ssi.shimadzu.com/files/test/accessory/compression/n9j25k-00000jtvra-att/C224-E100A\\_FixedCompressionPlates.pdf](https://www.ssi.shimadzu.com/sites/ssi.shimadzu.com/files/test/accessory/compression/n9j25k-00000jtvra-att/C224-E100A_FixedCompressionPlates.pdf).

[14] Kardak, A. A., & Sinclair, G. B. (2020). *Stress Concentration Factors for ASTM E8/E8M-16a Standard Round Specimens for Tension Testing*. *Journal of Testing and Evaluation*, 48(1), 711-719.