



# MURO DE BAJAREQUE COMPUESTO CON CAÑA DE MAÍZ Y FIBRA DE TULE

**Ana Luisa Hernández Cardona<sup>1</sup>; Mario Rodolfo Corzo Ávila<sup>2</sup>**

Centro de Investigaciones de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala

<sup>1</sup>analuch93@yahoo.com; <sup>2</sup>sabandijaretorcida@yahoo.com.mx

**Palabras clave:** construcción con tierra, fibras vegetales

## Resumen

En la presente investigación se plantea el diseño de un muro de bajareque compuesto con caña de maíz y fibra de tule como alternativa a la construcción tradicional de elementos de mampostería. El diseño de muro propuesto se efectuó de manera empírica, en base al desarrollo de visitas técnicas de campo al área rural del país donde existen construcciones de este tipo, así mismo, se tomó en consideración la disponibilidad de materia prima in situ y la construcción del muro sin necesidad de emplear mano de obra calificada. Para evaluar el comportamiento estructural del muro y sus componentes, se ejecutaron diversos ensayos mecánicos sobre los elementos que conforman el muro y sobre el muro propuesto, los cuales fueran determinados: tracción sobre las propuestas de amarre con fibra de tule, granulometría sobre la fibra obtenida de caña de maíz, compresión sobre cubos de tierra, compresión sobre espécimen de columna (formada con caña de maíz), corte sobre paneles de mampostería, compresión de muro. Los ensayos ejecutados se encuentran normados y fueron adaptados a los materiales propuestos y el equipo de laboratorio disponible. Los resultados obtenidos en la presente investigación demuestran que el muro planteado es una alternativa viable estructuralmente para la construcción de vivienda de tipo bajareque en el área rural.

## 1 INTRODUCCIÓN

Según información de la Encuesta Nacional de Condiciones de Vida (ENCOVI) elaborado en el año 2011 por el Instituto Nacional de Estadística (INE, 2011), los materiales predominantes empleados en las viviendas son el block, madera y adobe (tabla 1); se observa que aún existe un porcentaje considerable de viviendas que emplean bajareque, principalmente por aquella población en condiciones de pobreza.

Tabla 1. Características de la vivienda y el hogar por condición económica (INE, 2011)

Material de la pared	Nivel de pobreza			No pobre	Población total
	extremo	no extremo	total		
adobe	78.469	279.431	357.900	198.738	556.638
bajareque	11.389	18.681	30.070	10.361	40.431
block (hormigón)	58.327	428.180	486.507	1.211.645	1.698.152
ladrillo (cerámica)	327	5.498	5.825	22.674	28.499
madera	77.632	194.901	272.533	133.252	405.785
lámina (figura 1)	17.899	51.280	69.179	74.650	143.829
lepa (pieza de madera)	27.913	32.444	60.357	13.066	73.423
otros	2.378	9.438	11.816	24.970	36.786
Total	274.334	1.019.853	1.294.187	1.689.356	2.983.543



Figura 1. Vivienda con pared de lámina

En Guatemala, el maíz constituye el principal cultivo de granos básicos, debido a que conforma una parte importante de la dieta base de la población dado a su alto contenido energético y de proteínas. Datos del Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación, reflejan que durante el año agrícola 2013/2014 se tuvo una producción de 1.820.520 toneladas (39.576.530 quintales) de maíz cosechadas en un área de 863.303 ha (1.233.290 manzanas), esta cifra abarca la producción de distintos tipos de maíz, principalmente el maíz blanco.

El grano de maíz representa aproximadamente la mitad del peso de una planta cosechada y la otra mitad corresponde a los residuos, compuestos por la caña, hojas, mazorca y demás partes de la planta. Se produce aproximadamente entre 20 y 25 toneladas de residuos por hectárea, por lo que en Guatemala existe una gran disponibilidad del residuo dejado después de cada temporada de cosecha.

En el país, generalmente se queman los residuos debido a que es la manera más económica de deshacerse de estos residuos y de esta forma despejar el terreno para la próxima cosecha, sin embargo, esta no es práctica ambientalmente aceptable.

Debido a las razones anteriormente expuestas, en la presente investigación se pretende proveer una propuesta que integre caña de maíz y fibra de tule como elementos principales de refuerzo como una alternativa constructiva principalmente enfocada hacia el área rural del país.

## 2 OBJETIVO

Proveer un sistema constructivo de bajareque compuesto con caña de maíz y fibra de tule que posea seguridad estructural para uso en vivienda y con elementos accesibles a las personas de las comunidades marginales.

## 3 MATERIALES Y MÉTODOS

El sistema constructivo de bajareque hace parte de la familia denominada técnicas mixtas que, en líneas generales, son compostas por los más diversos materiales y se componen de los siguientes elementos: a) el sistema estructural, compuesto de la estructura maestra y auxiliar, que es como el esqueleto que lo sostiene; y b) la tierra en estado plástico, reconocido como barro, que tiene la función de relleno y de revestimiento (Garzón, 2011).

El sistema constructivo de bajareque propuesto es compuesto por la caña de maíz como elemento estructural y tierra mezclada con fibra de caña de maíz como repello, que le evita las grietas. El espesor del repello es de 1 cm. Los elementos estructurales (de caña de maíz) son amarados con fibra de tule.

### 3.1 Caña de maíz

Corresponde a el tallo principal de la planta de maíz (*Zea mays*) que es utilizado como forraje para animales de carga y como material de construcción, entre otros.

En este proyecto se utiliza la caña en forma individual para la estructura auxiliar (de unión entre columnas y base para el relleno de tierra) y en paquete para las columnas (estructura maestra).

### 3.2 Fibra de tule

El tule (*Cyperuscanus J.S*) es una planta rizoma perenne, de 1-1,5 metros de alto, 4 mm de espesor en la punta, 6-10 mm de espesor en la base, obtusamente trígono, multirayado, liso o muy minuciosamente áspero, firme; las hojas se reducen a vainas en la base del culmo, de color marrón violáceo (Hernández, 2014).

En Guatemala, es empleada principalmente como materia prima para la elaboración de artesanías principalmente para el tejido de petates que son usadas como camas; crece en sitios húmedos, campos inundados, o a lo largo de bancos de corriente de ríos, sobre todo entre rocas, sitios sombreados o abiertos. Se ha determinado que es bastante escasa en su hábitat natural, con frecuencia es plantada en pequeños parches o campos, sobre todo en la boca costa del Pacífico y cerca de Cobán, Alta Verapaz (Girón; Martínez; 2009).

El diámetro medio de la fibra de tule obtenido experimentalmente es de 3,6 mm, sin embargo debido a que es una fibra natural sus diámetros no son homogéneos, se considera una variación de 3,2 mm hasta 4,3 mm.

En esta investigación se desarrollaron diversas formas de amarre sobre las fibras de tule que simulan a aquellos que se le proveen para su uso en artesanías, con la finalidad de evaluar su posible aplicación como sistema de amarre en un muro tipo bajareque.

### 3.3 Fibra de caña de maíz

Se obtiene la fibra de caña de maíz a partir de trozos de la caña secados al sol por aproximadamente una semana. Los trozos son colocados en una superficie plana y pisados hasta generar pequeñas piezas (figura 2a) y de estos se separan las partes finas (fibras) a través del empleo de una tamiz (figura 2 b). La granulometría de las fibras obtenidas (figura 2c) son determinadas de acuerdo al ensayo basado en la norma ASTM C125 (2019).

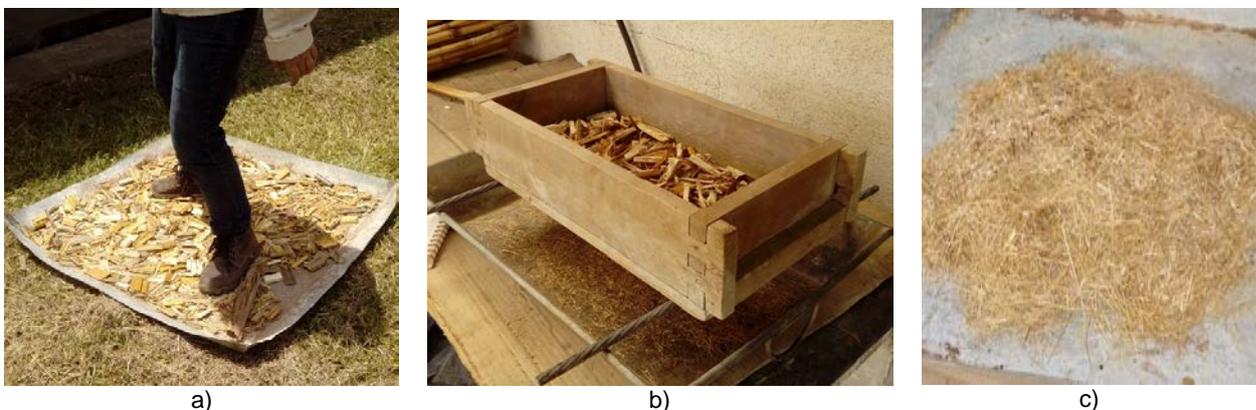


Figura 2. a) aplastamiento de caña a través del pisado; b) tamizaje; c) fibra obtenida

### 3.4 Sistema constructivo propuesto

Para el diseño y posterior elaboración del muro de bajareque compuesto con caña de maíz y fibra de tule se empleó el saber basado principalmente en la experiencia de campo de los investigadores.

La concepción del sistema estructural es el siguiente:

- El marco principal (estructura maestra) del muro está conformado por las cañas de 1 m de longitud colocadas a lo largo de toda la altura del muro, las cuales son ancladas a 2 paquetes de cañas para columna
- Para elaborar un paquete de cañas, se une tres varas de caña de maíz con fibra de tule humedecida mediante dos tipos de amarre, los cuales se muestran en las figuras 3a, 3b y 3c. El espécimen de columna, está conformado por cuatro paquetes de cañas, amarrados en su totalidad por fibras de tule (figura 3d).
- Se colocan cañas de 50 cm de longitud en sentido longitudinal, ancladas al marco principal por amarres de tipo cruceta con fibra de tule, según se muestra en la figura 4a y 4c.
- En ambos lados del muro se colocan tensores de fibra de tule a 45° distribuidos en toda la longitud del muro, según se observa en la figura 4b.
- El armado final del muro se observa con mayor detalle en las figuras 4d y 4e.



Figura 3. a) Detalle del primer amarre del paquete de cañas; b y c) Detalle del amarre en forma de cruceta del paquete de cañas; d) Detalle de armado de columna propuesta

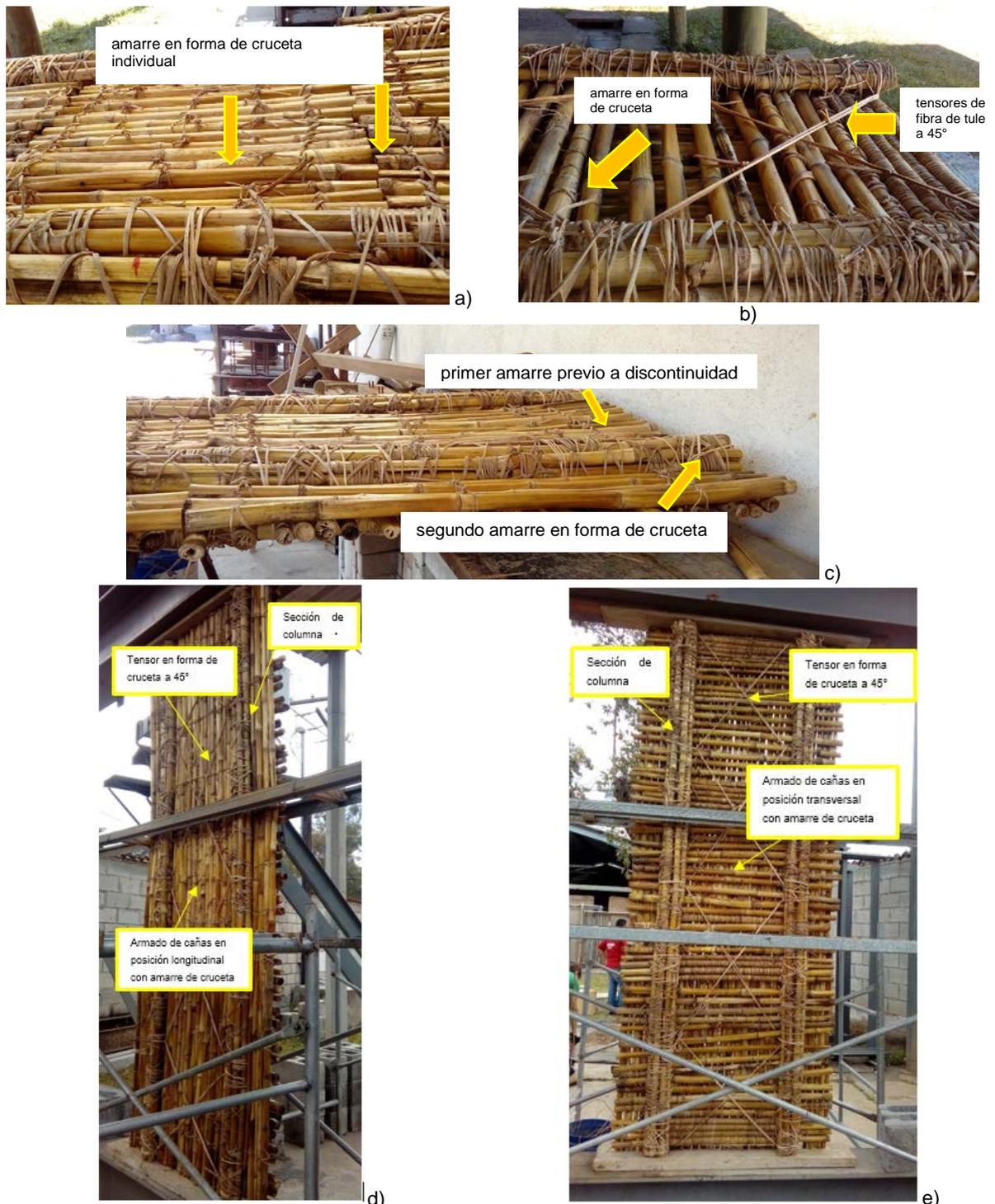


Figura 4. a y b) Detalle de armado longitudinal y transversal respectivamente del muro propuesto; c) Detalle de armado de columna; d y e) Armado de muro propuesto lado uno y lado dos respectivamente

El procedimiento para la preparación del barro y repello del muro es el siguiente:

- Se adoptó una mezcla en proporción volumétrica de 25% de arena, 60% de tierra y 15% de fibra de caña de maíz.
- El cálculo volumétrico de los materiales se elaboró en base a las medidas del muro, se consideró un incremento del 30% de los materiales debido a los vacíos entre cañas.
- La arena y la tierra fueron cernidos y posteriormente mezclados con la fibra de caña de maíz a través del uso de palas sobre una superficie lisa y libre de otros materiales (figura 5a).

- A esta mezcla se le añadió agua hasta obtener una mezcla de consistencia pastosa y homogénea (figura 5b).
- El repello se colocó en tres capas hasta alcanzar el espesor propuesto de 1 cm (figura 5c)
- Después de colocado el repello se alisó la superficie (figura 5d).



a)



b)



c)



d)

Figura 5. a) Mezcla de materiales para el preparo del barro; b) Preparación del barro; c) Colocación del repello; d) Alisado de la superficie del barro

## 4 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Para definir los testes empíricos y ensayos de laboratorio, se consideró únicamente el cumplimiento de la seguridad estructural, objetivo planteado en la presente investigación. Los testes fueran desarrollados para atender el objetivo del trabajo; los ensayos fueron adaptados de normativa internacional al tipo de material y equipo de laboratorio disponible.

### 4.1 Fibra de tule

Para la fibra de tule se determinó su resistencia a tracción. El procedimiento empleado consistió en la medición del incremento de la longitud de la fibra después de aplicada una carga. La longitud de referencia medida en la caña es de 10 cm. Para aplicación de la carga se utilizó una cubeta fichada a una extremidad que se va llenando con 900 g de arena a cada 2 minutos hasta la falla del espécimen (figura 6).

Para la determinación del tipo de amarre óptimo empleando fibra de tule, se elaboraron pruebas para determinar la resistencia a la tracción sobre diversos tipos de amarre

planteados. Para cada tipo de amarre propuesto, se efectuaron como mínimo 3 ensayos cuyos resultados promedios se muestran en la tabla 2.

El esfuerzo de diseño se refiere al esfuerzo último resistido por el amarre aminorado por un factor de seguridad de 1,25, en tanto que el esfuerzo por fibra se refiere al esfuerzo de diseño dividido entre el número de fibras que conforma el amarre analizado.



Figura 6. a) Sistema para determinar la resistencia a la tracción de fibra de tule; b) Equipo para aplicación de la carga a tracción; c) Falla de la fibra

Tabla 2 – Comparación de los esfuerzos de diseño

Sistema de amarre de tule	Esfuerzo de diseño (MPa)	Esfuerzo por fibra (MPa)
Una fibra suelta	4,0	4,0
Tres fibras trenzadas	2,4	0,8
Cinco fibras trenzadas	2,0	0,4
Tres fibras entorchado	1,8	0,6
Seis fibras trenzadas	1,2	0,4
Seis fibras entorchado	1,0	0,167
Cuatro fibras trenzadas	0,8	0,2
Tres fibras sueltas	0,32	0,107
Seis fibras sueltas	0,08	0,013

De la tabla 2, se observa que la fibra suelta soporta mayor cantidad esfuerzo por fibra que el resto de los amarres propuestos, considerándose como la forma de amarre con fibra de tule más óptima y por ello fue escogido como el tipo de amarre a emplear.

A través del desarrollo experimental de la presente investigación, se obtuvieron las siguientes observaciones:

- Durante la elaboración de los amarres, se constató que la manejabilidad de la fibra aumenta considerablemente al humedecerla. Sin embargo, en el presente trabajo de investigación se elaboraron muestras tanto en húmedo como en seco.
- Las fibras fueron humedecidas empleando una pileta con agua durante un tiempo aproximado de 4 horas, con la finalidad de evitar la pudrición de la fibra.

- La selección de las fibras que conformaron cada muestra se efectuó de manera aleatoria.
- Cada amarre se efectuó aplicando la fuerza adecuada para evitar vacíos entre fibras de tal forma muestra quedara lo más homogénea posible, sin llegar a su rotura.
- Previo al desarrollo de cada ensayo, las muestras preparadas se secaron naturalmente al sol.

#### 4.2 Fibra de caña de maíz

La distribución granulométrica de la fibra de caña de maíz, obtenida de acuerdo con el procedimiento establecido en la ASTM C125 (2019) es presentada en la figura 7.

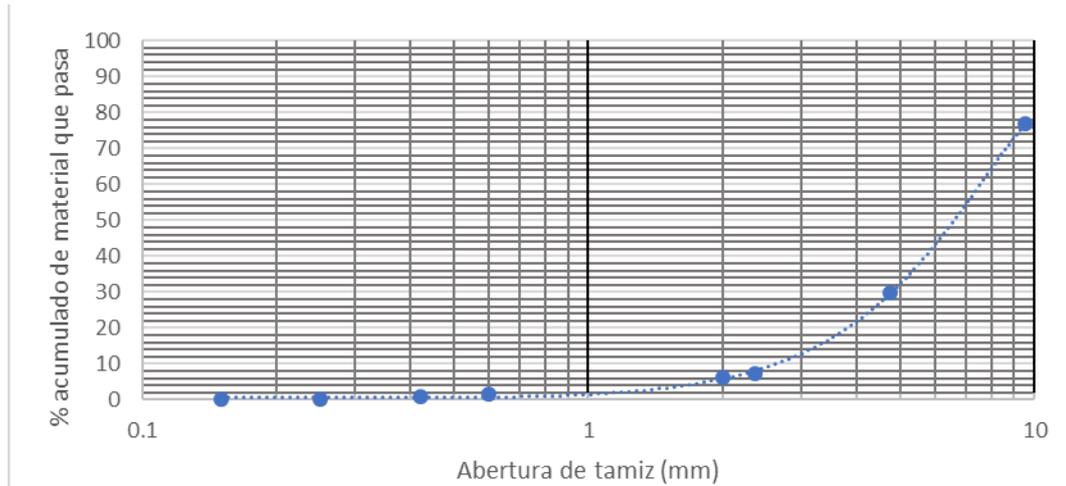


Figura 7. Curva de distribución granulométrica de fibra de caña de maíz

Tal como se observa en la gráfica, la muestra de fibra obtenida se compone básicamente de partículas comprendidas entre 10 mm a 0,5 mm de grosor.

#### 4.3 Barro de repello del muro

Para el barro aplicado en el repello del muro, se determinó su resistencia a compresión de acuerdo con la norma ASTM C-109 (1985). Se realizaron seis cubos de 5 cm de arista para determinar la resistencia a compresión del barro. La figura 8 presenta el aparato para el ensayo y la tabla 3 los resultados para cada cubo.



Figura 8. Aparato y detalle del ensayo a resistencia a compresión

Tabla 3 – Resistencia a compresión

Cubo	Carga (kgf)	Área (cm <sup>2</sup> )	Esfuerzo (MPa)
1	292,50	21,16	1,4
2	315,00	21,29	1,5
3	337,50	22,76	1,5
4	225,00	22,38	1,0
5	225,00	21,42	1,1
6	258,75	21,92	1,2
Resistencia media a la compresión (MPa)			1,3

La resistencia media a la compresión del barro propuesto es de 1,3 MPa. El ensayo de compresión sobre los cubos de adobe provee una aproximación sobre la calidad del barro a emplear. Los valores de resistencia a la compresión del barro seco, según Minke (2001), están en el rango de 1 a 3 MPa.

#### 4.4 Columna de cañas y fibra de tule

Para las columnas, se determinó su resistencia a compresión. Se sometió al espécimen a la acción de un gato hidráulico de 10 toneladas y con un área efectiva de 14,45 cm<sup>2</sup>. Durante el ensayo se efectuaron dos ciclos de carga. La carga máxima soportada por la columna fue de 158 kgf con una deformación de 4,8 cm en uno de sus ejes (figura 9).

Para la determinación de la carga a compresión soportada por la columna, se calculó la carga crítica de Euler. En la presente investigación se determinó un área equivalente a partir de una sección cuadrada con lado promedio de 9,26 cm y un factor de modificación de área de 0,98 debido a los vacíos en la sección de la columna. Según estas especificaciones se determinó que la carga a compresión de teórica de la columna es de 15,65 kgf.



Figura 9. Ensayo a resistencia a compresión en columna

#### 4.5 Muro de bajareque

Se realizaron dos ensayos: el de corte en paneles y el de compresión en el muro

Se realizaron ensayos de corte en paneles con dimensiones 50 cm por 100 cm preparados de la misma manera que el muro en relación a los materiales empleados y el uso de repello.

A los paneles se dejó secar por un periodo de 28 días previo a la ejecución del ensayo. El esfuerzo fue realizado utilizando un gato hidráulico de 5 toneladas con un área efectiva de  $6,38 \text{ cm}^2$

La figura 10 muestra el ensayo en los tres paneles y la tabla 4 presenta los resultados de la resistencia a corte de cada uno.



Figura 10. a) Falla del panel 1; b) Falla del panel 2; c) Falla del panel 3

Tabla 4 - Resultados finales de la resistencia a corte obtenida en cada panel

Panel número	Resistencia a corte (MPa)
1	0,030
2	0,018
3	0,021

El ensayo de compresión del muro fue elaborado en base a la norma ASTM E 72 (1980). La transmisión de carga de compresión se efectuó a través de 2 gatos hidráulicos de 5 toneladas y  $6.38 \text{ cm}^2$  de área colocados sobre cada columna. Se incrementó la carga a cada  $0,69 \text{ MPa}$ , hasta llevar el espécimen a su falla. En este ensayo únicamente se efectuó un ciclo de carga y descarga. La lectura de deformaciones para cada incremento de carga, se efectuó sobre el eje horizontal en cada columna y al centro en ambos lados del muro.

Para efectuar el análisis del muro a compresión propuesto, se comparó la carga máxima del muro durante el ensayo a compresión y la carga de peso generada por dos tipos de techos, usualmente empleados en el área rural los cuales consisten en un techo de cubierta con lámina y techo de cubierta de teja de barro. El área de vivienda empleada para efectuar este análisis corresponde a una propuesta de diseño de Arévalo (2013) para una vivienda sostenible del área rural de  $40,5 \text{ m}^2$  de área construida.

Los resultados finales obtenidos a través de la integración de cargas muertas para cada tipo de techo propuesto (conformado por una estructura de madera de pino y la cubierta) son:

- Carga por metro lineal para techo de cubierta de lámina:  $138,07 \text{ kgf/m}$
- Carga por metro lineal para techo de cubierta de teja de barro:  $165,99 \text{ kgf/m}$

La carga por metro lineal a compresión resistida por el muro propuesto durante la ejecución del ensayo a compresión del muro es de  $1800 \text{ kgf/m}$ . Se observa que el muro propuesto es apto para soporte de ambos tipos de techo.

## 5 CONCLUSIONES

Por medio del desarrollo experimental y fundamentos teóricos aplicables al muro de bajareque propuesto, se concluye lo siguiente:

- A través de la comparación de los esfuerzos por fibra obtenidos de los ensayos de tracción de la fibra de tule, se determinó que la forma de amarre óptimo es empleando una única fibra.
- La manejabilidad de la fibra de tule mejora al humedecerla, sin embargo se recomienda humedecerla por un periodo corto antes de su uso, para evitar la pudrición de la fibra.
- Se determinó que la carga a compresión máxima de la columna propuesta obtenida a través de la ecuación de Euler es de 15,65 kgf, mientras la máxima carga obtenida a través del ensayo a compresión fue de 158 kgf, sin llegar al colapso del elemento.
- El espesor de 1 cm utilizado para el repello final, fue elegido debido a que mayores espesores generan debilitamiento en la estructura de cañas debido al peso del repello.
- A través del análisis de muro a compresión, se establece que el armado propuesto en la presente investigación es factible para su aplicación en construcción de viviendas de bajareque en el área rural, debido a que soporta el peso de los techos comúnmente empleados en las mismas.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Arévalo, J. (2013). Modelo de vivienda sostenible para el área rural del Cerro Alux San Pedro Sacatepéquez, Guatemala. Tesis de licenciatura. Guatemala: Facultad de Arquitectura, USAC.

ASTM C-109 (1985). Method of test for tensile strength of hydraulic cement mortars. USA: ASTM International

ASTM C-125 (2019). Standard Terminology Relating to Concrete and Concrete Aggregates. USA: ASTM International

ASTM E-72 (1980). Standard Methods of Conducting Strength Tests of Panels for Building Construction. USA: ASTM International

INE (2011). Caracterización República de Guatemala. Instituto Nacional de Estadística. Disponible en <http://www.ine.gob.gt/sistema/uploads/2014/02/26/L5pNHMXzxy5FFWmk9NHCrK9x7E5Qqvvy.pdf>

Garzón, L. E. (2011). Técnicas mixtas. En: Neves, C.; Faria, O. B. (org.). Técnicas de construcción con tierra. Bauru: FEB-UNESP/PROTERRA, p. 62-71. Disponible en <http://www.redproterra.org>

Girón, J.; Martínez, J. (2009). Caracterización organizativa, producción y comercialización de artesanías de tule (*Cyperus canus*) que realiza el Grupo de Mujeres Artesanas del Municipio de San Juan Tecuaco, Departamento de Santa Rosa, Guatemala 2009. Disponible en <https://digi.usac.edu.gt>

Hernández, M. L. (2014). Caracterización del sistema de cultivo del cibaque (*Cyperuscanus* J.S), diagnóstico y servicios desarrollados en la aldea Agua hedionda, municipio de San Andrés Sajcabajá, departamento de Quiché, Guatemala, C.A. Tesis de licenciatura. Guatemala: Facultad de Agronomía, USAC.

Minke, G. (2001). Manual de construcción en tierra. Uruguay: Editorial- Nordan Comunidad.

## AGRADECIMIENTOS

Al Centro de Investigaciones de la Facultad de Ingeniería

A los practicantes del área de estructuras del Centro de Investigaciones de la Facultad de Ingeniería del primer y segundo semestre del 2018

## AUTORES

Ana Hernández, pensum cerrado de la carrera de Ingeniería Ambiental y de la carrera de Ingeniería Civil de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala.

Mario Corzo, ingeniero civil, jefe de la Sección de Estructuras del Centro de Investigaciones de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala; catedrático del Área de Estructuras de la Escuela de Ingeniería Civil de la Universidad de San Carlos de Guatemala; investigador, asesor en la facultad de Ingeniería de la universidad de San Carlos de Guatemala.