

## **CARACTERIZACIÓN DE UN SISTEMA DE CERRAMIENTO PARA VIVIENDA UTILIZANDO TIERRA Y CAÑAS DE MAÍZ**

**Werner Josué Chic Comey<sup>1</sup>, Saulo Moisés Méndez Garza<sup>2</sup>, Francisco Javier Quiñónez de la Cruz<sup>3</sup>, Edgar Virgilio Ayala Zapata<sup>4</sup>**

Escuela de Ingeniería Civil, Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala

<sup>1</sup>w\_josue@hotmail.es; <sup>3</sup>javierquinonez@yahoo.es

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

<sup>2</sup>mendezgarza@yahoo.com; <sup>4</sup>virgilioayala@yahoo.com

**Palabras clave:** desechos agrícolas, sistema emparedado, bajareque, vivienda rural, revestimientos

### **Resumen**

En Guatemala existen más de 600,000 viviendas construidas con tierra, albergando aproximadamente a un tercio de la población, especialmente rural. Los sistemas predominantes de estas viviendas son adobe y bajareque. Muchas críticas se hacen a estos sistemas, asociadas entre otras, a los fenómenos de migración, dependencia tecnológica y efectos de sismos. Son raras las propuestas de nuevos sistemas que emplean tierra y desechos agrícolas, que beneficien la conservación ambiental y que se incorporen a los requerimientos técnicos actuales. En este artículo se expone una forma de utilizar tierra y desechos provenientes del cultivo del maíz, en el proceso de cerramiento de un sistema propuesto para vivienda rural. Se presenta la forma de armar el sistema y de hacer la evaluación de un muro de cerramiento bajo cargas laterales en el laboratorio de estructuras, utilizando un marco de reacción con carga estática. Se establecen las características del sistema de cerramiento propuesto, indicando las partes y la función de cada una de ellas: elementos transitorios (formados por los desechos agrícolas); revestimiento primario (a base de tierra); elementos de refuerzo (mallas) y revestimiento final (tierra y aglomerante). La construcción de elementos de transición de tierra y desechos agrícolas fue posible con propósitos de caracterización preliminar y se logró construir el muro modelo para someterlo a cargas laterales estáticas. El sistema propuesto disminuye sustancialmente el uso de materiales modernos y utiliza una técnica sencilla, favorece la conservación del ambiente, reduce significativamente el costo de los materiales e intensifica la mano de obra no calificada; es muy liviano y la capacidad de carga lateral en el plano del muro resultó ser tres veces su masa.

### **1. INTRODUCCIÓN**

Guatemala es un país con relevantes características de amenaza sísmica. Múltiples estudios han evidenciado esa situación y los sismos permanentes, así como los efectos de los terremotos lo han confirmado. Ante esa situación, las construcciones habitacionales en general, deben cumplir con las condiciones de habitabilidad (sanidad, confort térmico y acústico), pero sobre todo deben satisfacer altos índices de seguridad estructural.

El déficit habitacional en Guatemala es uno de los principales problemas que la sociedad afronta y es otro síntoma del escaso desarrollo. La construcción de viviendas con sistemas tipo emparedado ha demostrado ser una aportación tecnológica para contribuir a la solución del problema. En estos sistemas, la seguridad estructural está determinada por las membranas que recubren a los núcleos que constituyen la parte central del emparedado. Los núcleos son los medios de apoyo de las membranas en estado fresco y aportan las condiciones de confort térmico y acústico. Este sistema de construcción es económico, durable, fácil y rápido de construir.

La producción de maíz es muy diseminada en todo el país; los desechos que se obtienen de ese cultivo escasamente son utilizados en la actualidad y la mayoría de ellos se incineran en el proceso de preparación de los terrenos para la siembra siguiente. Esa incineración no solo causa pérdida de tiempo y molestias para los campesinos, sino que genera

contaminación al ambiente por la generación de CO<sub>2</sub>. Este recurso puede asociarse al uso de la tierra en la construcción.

Las ventajas del uso de sistemas emparedados y la viabilidad de uso de residuos del cultivo del maíz y de tierra en la elaboración de los núcleos, pueden representar una fuente sostenible, económica y versátil para la construcción de vivienda rural.

En este trabajo, se experimentó con la construcción de núcleos elaborados de tierra y aligerantes de caña de maíz. El sistema fue completado con la utilización de mallas de refuerzo y morteros, que constituyen las membranas. Las cañas individuales y en conjuntos fueron caracterizadas en el laboratorio, así como los tipos de mortero y su combinación con diferentes tipos de mallas. Se construyó un muro experimental, de 2,50 m de longitud, 2,50 m de altura y un espesor de 16 cm, utilizando este sistema. Finalmente, fue evaluado el muro bajo cargas laterales, que constituye la base fundamental del comportamiento ante sismos, ya que proporciona datos sobre la capacidad de carga y deformación.

Los ensayos preliminares de laboratorio y el proceso de evaluación del muro a escala natural, fueron realizados de acuerdo a las recomendaciones de la normativa internacional. El muro construido presentó una capacidad de carga de tres veces su masa, evidenciando estar dotado de elasticidad. El ensayo de carga realizado no mostró colapso, sin embargo, se observó una fisuración múltiple, así como una zona de resiliencia alta.

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1. General**

Caracterizar en el laboratorio el comportamiento de un muro a escala natural, sometido a cargas laterales, representativo de un sistema constructivo de cerramiento para vivienda tipo emparedado, utilizando en la construcción un núcleo de tierra y cañas de desecho del cultivo del maíz.

### **2.2. Específicos**

Los objetivos específicos de la investigación son:

- a) Diseñar un sistema de paneles tipo emparedado para construcción de un muro de cerramiento para vivienda económica, en el que se utilice la tierra y desechos de las cañas del cultivo del maíz, como componentes del núcleo central.
- b) Experimentar la construcción de núcleos de paneles transitorios para cerramiento de vivienda, utilizando como base los desechos de la caña del cultivo del maíz.
- c) Experimentar la aplicación de mortero de tierra como revestimiento primario en los paneles transitorios.
- d) Experimentar la aplicación de mallas de refuerzo en la construcción del muro, como parte flexible de la membrana.
- e) Experimentar la aplicación del mortero final en el muro, utilizando tierra y aglomerante, como parte rígida de la membrana.
- f) Evaluar en el laboratorio, el comportamiento de un muro de cerramiento construido a escala natural con el sistema propuesto, sometido a la acción de cargas laterales estáticas, que simulan la acción de un sismo, de acuerdo a las recomendaciones de la normativa internacional.

## **3. MARCO TEÓRICO**

En Guatemala, el acceso a una vivienda digna y construida con buenas especificaciones técnicas constituye uno de los principales problemas de la sociedad, debido principalmente a las condiciones socioeconómicas de la población y al elevado costo de la tierra y de los

materiales de construcción. Además, las propuestas actuales, que la mayoría de oferentes de unidades habitacionales utilizan, impactan en la sostenibilidad ambiental, ya que la producción de los materiales de construcción y los residuos de la misma, afectan de manera negativa al ambiente.

Al igual que lo que sucede en toda Latinoamérica, para este problema predomina una única respuesta; planes basados en importantes complejos habitacionales que se entregan a un afortunado y a veces cuasi selecto contingente de familias. Casas o apartamentos de nivel indudable, financiados a plazos largos, que dan como resultado grandes inflaciones. Estas unidades casi nunca llegan a los sectores pobres de la sociedad y nunca a los más carenciados. Son unidades de costo elevado en relación a la situación económica de los latinoamericanos. Resultan cuotas solamente accesibles a ciertas capas intermedias de la escala socio-económica. En ese sentido, nuevos materiales al alcance de los más necesitados y nuevos métodos de construcción sencillos, podrían considerarse como la generación de opciones que contribuyan a solucionar la problemática, sobre todo para los habitantes del área rural (Ferrero; Uboldi, 1991).

Existen investigaciones que han permitido identificar en los residuos naturales provenientes de la producción agro-industrial, una gran disposición de materiales que podrían utilizarse en la construcción de viviendas (Amigó, 2007; Santos, 2010; Quiñónez, 2010). Los residuos vegetales han sido poco utilizados como material de construcción, sin embargo, el déficit de vivienda en el mundo, la necesidad de erradicar los asentamientos precarios, proporcionar vivienda digna y de minimizar los impactos ambientales, han llevado a estudiar materiales de construcción procedentes de fuentes naturales (Jacobo, 2004).

La utilización de estos residuos ha permitido generar materiales de bajo costo, con menos consumo de energía y cuidando el ambiente. En los últimos años, se han desarrollado algunas investigaciones con la finalidad de determinar su viabilidad como material de construcción para la vivienda (Pilar, 2004; Celano, 2004; Quiñónez, 2009).

Bedoya (2007) indica que construyó paneles de material vegetal que fueron evaluados en el Laboratorio de Estructuras de la Universidad de Medellín. Los materiales vegetales seleccionados para la construcción de los paneles, fueron viruta, cascarilla de arroz, cascarilla de café y papel. Además, evaluaron estos materiales combinados con diferentes aglutinantes como urea formaldehído, almidón, pega papel, pega madera y resina acrílica. Después de seleccionar los materiales y sus dosificaciones, se elaboraron paneles aligerados con material vegetal.

Estos núcleos, que se construyeron con materiales vegetales y diferentes tipos de aglomerante, fueron posteriormente utilizados como alma de un sistema constructivo que adicionó membranas para conformar muros de viviendas. De esta manera, se obtuvo un sistema constructivo a base de núcleos y membranas. Estas tienen la función de proporcionar rigidez, resistencia y ductilidad, así como durabilidad al conjunto, mientras que los núcleos proporcionan las características de habitabilidad y se utilizan como medios transitorios en el proceso de construcción. Las membranas están hechas de mallas de alambres, embebidas en un mortero de buenas propiedades, tanto en estado fresco como endurecido (Bedoya, 2010).

La construcción de viviendas a partir de elementos de pared delgada o membranas es económica, durable, fácil y rápida de construir (Naaman, 2008). En el caso de las viviendas generadas a partir de elementos emparedados, los factores como la habitabilidad y el comportamiento termo-acústico de las viviendas, determinan la elección de los materiales componentes del núcleo.

Las ventajas del uso de sistemas emparedados y la viabilidad de uso de residuos agro-industriales, podría representar una fuente sostenible, económica y versátil para la construcción de vivienda económica, especialmente para el área rural; en ese sentido, se han encontrado experiencias interesantes de construcción de viviendas con posibilidades de aprovechar esos residuos (Hurtado, 2010).

### 3.1 Sistemas constructivos tipo emparedado para vivienda económica

Se ha encontrado que, los sistemas constructivos del tipo emparedado para la generación de viviendas, mejoran sustancialmente las condiciones de habitabilidad (confort térmico y acústico), además satisfacen los requerimientos de resistencia y durabilidad. Los materiales compuestos tipo emparedados, son comunes en el mercado actual de la construcción; teniendo aplicación en muros, losas, cubiertas o viviendas en general (figura 1).



Figura 1. Ejemplo de panel tipo emparedado, común en la construcción actual  
(Fuente: <https://teoriadeconstruccion.net/blog/paneles-sandwich/>)

Para la construcción de muros tipo emparedado, se suele utilizar membranas de alto desempeño estructural y núcleos de buen comportamiento termo-acústico, lo cual se considera una combinación muy eficiente.

Para los núcleos, los materiales que más se han utilizado son el poliuretano, el poliestireno expandido, el polietileno reticulado, la lana de roca y también algunas cámaras de aire. Sin embargo, estos materiales presentan niveles de contaminación y demandan generosos consumos de energía para su producción.

Los núcleos son los materiales encapsulados dentro de las membranas de recubrimiento; generalmente, son de mayor espesor que las membranas, entre 2 a 6 veces. Los núcleos no contribuyen a la resistencia mecánica del sistema emparedado, sin embargo, aportan a las propiedades termo-acústicas del mismo, lo cual determina la habitabilidad en el caso de la construcción de viviendas, además de servir de apoyo en un proceso de transición en el momento de la construcción.

Los núcleos son susceptibles de construirse con desechos agro-industriales. Los desechos de actividades agrícolas e industriales, presentan una fuente sostenible para generar materiales de construcción, lo cual implica mínimo consumo de energía en la producción, menores impactos negativos al ambiente, una disminución en los costos de construcción y mejora de la habitabilidad cuando se trata de vivienda (Amigó, 2007).

El conglomerado para elaborar los núcleos puede ser de residuos vegetales y un aglutinante no cementicio, como el tipo polimérico. También se pueden utilizar aglutinantes a base de silicatos, ya que tienen alto poder adhesivo en poco tiempo y no necesitan altas temperaturas para su secado final, además, poseen propiedades fungicidas que pueden aportar a la durabilidad del conglomerado. Para la elaboración del conglomerado de los núcleos, se puede añadir directamente el aglutinante sobre los residuos vegetales hasta alcanzar un amasado uniforme o utilizar técnicas de riego (Bedoya, 2010). En este artículo, se considera la viabilidad de utilizar la tierra con este propósito.

La resistencia mecánica de los núcleos de residuos agro-industriales debe ser determinada. Aunque no se espera un aporte estructural del núcleo al material emparedado, este debe tener una resistencia mínima para su manipulación y colocación en la construcción de la vivienda.

### 3.2 Disponibilidad de los desechos agrícolas y su importancia para Guatemala

Guatemala tiene como uno de sus recursos más amables y tiernos al maíz (*ixi'im* en maya), que ha dado alimento a quienes han vivido en este suelo fértil desde los albores de los tiempos. El maíz (*Zea mays*), descubierto en Guatemala en la región de Paxil, ubicada en el

actual departamento de Huehuetenango, ha generado múltiples leyendas, consejos, mitos y ritos, entre los forjadores que pisaron Guatemala, desde los primeros destellos de la historia hasta los días actuales, sobre todo en donde vive el pueblo maya con todo su esplendor resguardando mitos y actualizando ritos. El grano de maíz es parte de la mitología, la cosmogonía, los calendarios y ha sido parte fundamental de la espiritualidad y prácticas culturales del pueblo Maya (figura 2); en la Guatemala contemporánea, la obra Los Hombres de Maíz fue llevado a la literatura universal por el Premio Nobel de Literatura, el guatemalteco Miguel Ángel Asturias (figura 3).



Figura 2. Espiritualidad y prácticas culturales del pueblo Maya en relación al maíz (crédito: Deguate.com)

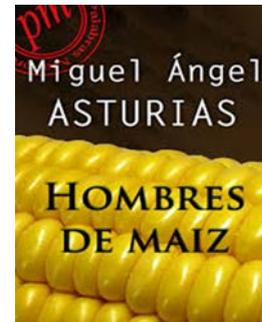


Figura 3. Libro del literato guatemalteco de Miguel Ángel Asturias (crédito: Quiñónez, 2021)

El Gobierno de Guatemala señaló que, el maíz es considerado un elemento fundamental para la alimentación y la espiritualidad del pueblo Maya y, por eso, se tomó la decisión de declararlo como Patrimonio. También se comprometió a realizar y apoyar todas las acciones necesarias para proteger el cultivo, conservación y la promoción de investigaciones sobre el maíz y todo lo relacionado con el grano, la planta y los usos que puedan darse a los subproductos que de él dependan. Para el año agrícola 2011/2012, se estimó una producción de 1,8 millones de toneladas de maíz. De acuerdo con los rendimientos y la producción guatemalteca, se dispondría de aproximadamente unas 1,5 a 2,0 millones de toneladas de residuos de caña y todos sus componentes.

A pesar de que existen algunos usos del residuo del maíz y habiendo investigaciones en proceso, se considera que, debido a la gran disponibilidad de este recurso en Guatemala, por muchos años habrá una gran cantidad de cañas de maíz disponible.

De la disponibilidad de la tierra, no hace falta tratarla; siempre ha estado allí, y así como el maíz, la tierra ha sido parte de la cosmovisión maya. Los guatemaltecos la han utilizado desde tiempos precolombinos en la construcción, basta con ver los datos del último censo de habitación del año 2018 (INE, 2019), donde se pone de manifiesto que existen más de seiscientos mil unidades habitacionales construidas con tierra, que albergan a más de un tercio de la población guatemalteca.

#### 4. METODOLOGÍA

Se diseñó un sistema de paneles tipo emparedado para la construcción de vivienda económica, en el que se consideró la utilización de la tierra y los desechos de las cañas del cultivo del maíz como componentes del núcleo. La función del núcleo es proporcionar un medio transitorio para la colocación del refuerzo y la aplicación del mortero final. El núcleo también se utiliza como medio para lograr una adecuada inercia del panel y contribuye al aislamiento térmico y acústico en las edades tempranas.

El sistema está formado por paneles de 0,50 m x 0,12 m x 2,40 m, preparados con núcleos de cañas de maíz, donde luego se aplica un revestimiento primario de tierra, seguido de una malla metálica, que se recubre con un mortero de aglomerante, como acabado final.

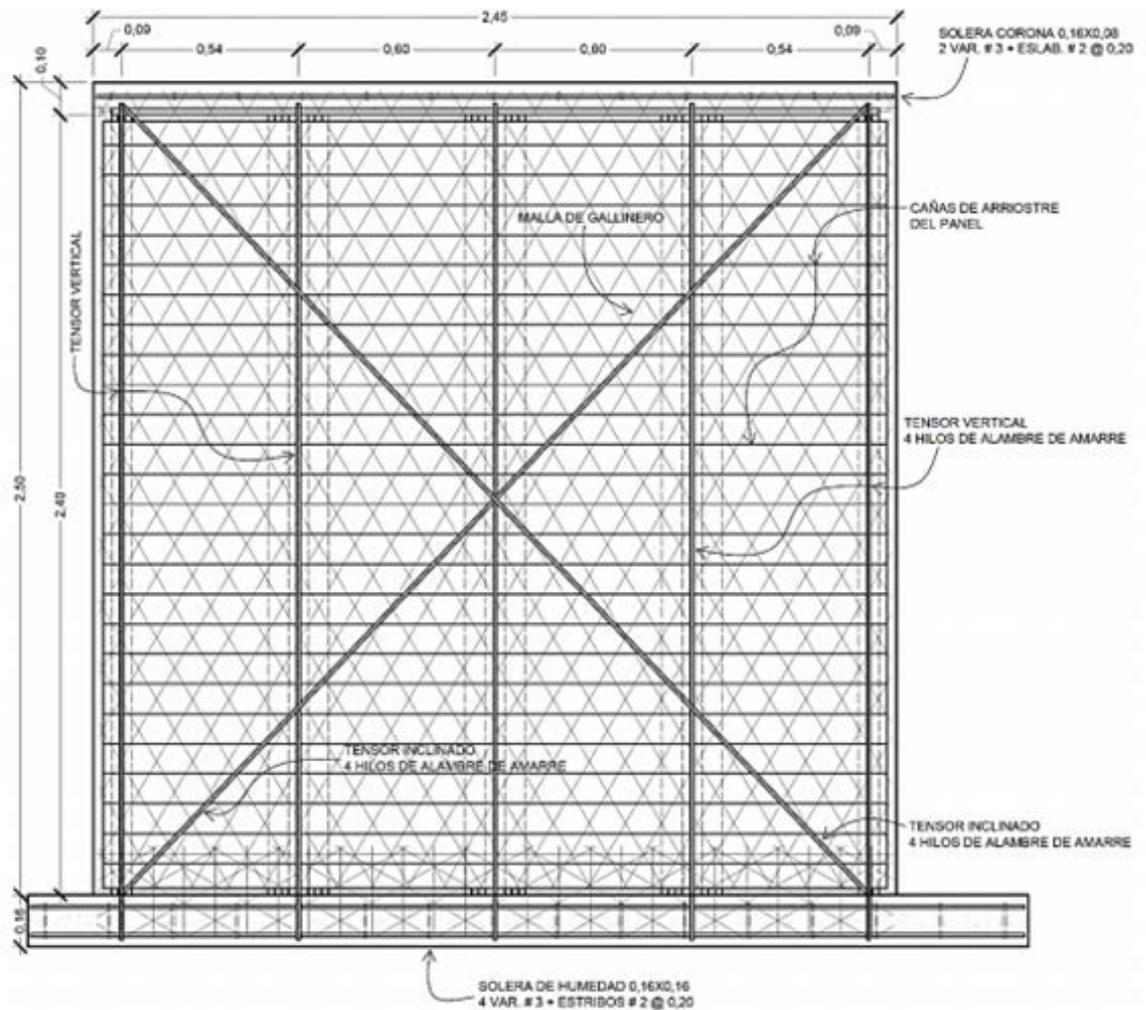


Figura 4. Componentes del sistema tipo emparedado, propuesto para su evaluación (crédito: Chic, 2014)

Se decidió utilizar un mortero de tierra como material aglomerante sobre la base de paneles de cañas de maíz. Para la membrana del sistema, se decidió utilizar un refuerzo de malla hexagonal de alambre y un mortero de aglomerante de uso general en la construcción y arena de río.

Múltiples pruebas preliminares fueron realizadas para establecer el tipo de aglomerante y la respuesta de los morteros de la membrana en prototipos de pequeña escala. Se experimentó con diferentes tipos de mallas y diversos tipos de morteros. En algunos prototipos se realizaron ensayos de flexión y compresión, según el caso.

Se decidió la construcción de un muro de dos metros con 0,50 m longitud, 2,40 m de altura y 16 cm de espesor. El muro fue diseñado con cinco paneles de 0,50 m de ancho. El núcleo se dejó establecido por la unión de los cinco paneles de caña de maíz y la aplicación de mortero de tierra arcillosa con arena de río. El diseño consideró una membrana formada por malla de alambre, la cual es conocida con el nombre de malla de gallinero, es unida, tensada y recubierta de un mortero de cemento y arena de río. La membrana debería tener un espesor de 2 cm. Las características del sistema propuesto pueden verse en la figura 4.

Finalmente, se consideró la experimentación de un muro a escala natural, construido de acuerdo a lo indicado, el cual debería someterse a la acción de cargas laterales, con un marco de reacción de carga estática, para evaluar su comportamiento. Para tal propósito, se utilizó el procedimiento recomendado por ASTM E-564 (2016). Esta práctica describe métodos para evaluar la capacidad de corte de una sección típica de un muro enmarcado,

apoyado sobre una base rígida y con carga aplicada en el plano del muro a lo largo del borde opuesto al soporte rígido y en una dirección paralela a él. El objetivo de este procedimiento fue determinar la rigidez al cortante y la resistencia como muro cortante del sistema.

## 5. RESULTADOS

Múltiples ensayos se realizaron para establecer las características mecánicas de cañas individuales y en paquetes. También fueron ensayadas columnas de secciones formadas por varias cañas de maíz y de diferentes longitudes. De la misma forma, se experimentó con opciones de morteros, en las que se incluyeron aglomerantes a base de cemento de uso general en la construcción, cementos naturales a base de puzolana y cal y diferentes tipos de tierra.

Los paneles básicos formados por cañas de maíz, tuvieron un ancho de 0,5 m, un espesor de 0,12 m y una altura de 2,40 m. Los paneles estuvieron formados por empaquetaduras de cañas traslapadas y unidas mediante amarres de cinta de polietileno. Las uniones entre paneles también se hicieron con amarres de la misma cinta. Para la elaboración de los paneles de cañas, fue necesaria la selección de cañas rectas y de aproximadamente el mismo diámetro. Las cañas no necesariamente tuvieron la altura del panel; es permisible la utilización de cañas de diferentes longitudes, siempre cuidando un adecuado traslape que conserve la continuidad. Se experimentaron diferentes posibilidades para el efecto. La práctica indicó la mejor disposición para la elaboración de los paneles de caña de maíz, para lo cual fue necesario hacer muchas pruebas con la participación de varios estudiantes de ingeniería civil, quienes propusieron sus ideas.

Los paneles se conformaron por una estructura de dos columnas de cañas colocadas en los extremos, arriostradas por una serie de cañas horizontales. Los muros estuvieron formados por una unión de paneles, con cinta de polietileno, habiéndose propuesto como alternativa el uso de alambre de amarre. En la figura 5, se observa la conformación de los paneles y su facilidad de transporte.



Figura 5. Paneles de cañas de maíz. Facilidad en la transportación (Crédito: Quiñónez, 2014)

Luego de la conformación de la base del muro, constituido por cinco paneles de las dimensiones ya indicadas, se aplicó el mortero primario de tierra, que solidificó la base del núcleo (figura 6). La aplicación de este mortero, resultó ser muy fácil y de gran atractivo para los estudiantes que participaron en el proceso, quienes mostraron interés en la preparación del mortero y en su aplicación. Una vez terminada esta aplicación, se completó la fase del núcleo transitorio, contando con una superficie plana y suficientemente rígida para las etapas posteriores.



Figura 6. Aplicación de revestimiento primario (crédito: Chic, 2014)

La membrana se reforzó con una malla de alambre de pequeño diámetro. La función de la malla es proporcionar la elasticidad necesaria para absorber la energía del movimiento sísmico y evitar un colapso repentino. Además, tiene la función de evitar el agrietamiento de la matriz en estado fresco. La malla de refuerzo de la membrana, es del tipo tejida cincada (malla de gallinero) la cual estuvo disponible en rollos de 1,75 m de altura y con diámetros de alambre de 250  $\mu$  y 25 mm de abertura, de alta resistencia. La colocación fue sencilla, aunque su tensado resultó bastante laborioso.

Para la aplicación del mortero final, se decidió, conservadoramente, utilizar un mortero de cemento Portland de uso general en la construcción y arena de río tamizada por la malla número 4 (4,76 mm). Otros morteros, que utilizaron diferentes proporciones de puzolana natural e hidróxido de calcio como aglomerante natural, fueron experimentados en prototipos pequeños y se consideró que sería importante evaluarlos en muros a escala natural. Habiendo aplicado el mortero final, se tuvo cuidado en realizar el curado con agua durante 28 días. Finalizada la construcción, se procedió a preparar el muro para su ensayo y evaluación.

El ensayo al que fue sometido el muro consistió en la aplicación progresiva de carga horizontal, por medio de un gato hidráulico, registrando los valores de carga y de desplazamiento en la parte superior e inferior del otro extremo del muro. Otros valores de desplazamiento fueron registrados para complementar la información. Además, una inspección permanente del muro se realizó durante todo el proceso de carga. Se produjo agrietamiento múltiple en el muro, provocado por la simulación unidireccional de la fuerza lateral, en la superficie del muro, paralela a la dirección de carga, el cual fue registrado. El resultado del comportamiento mecánico del muro a carga lateral, representativo del sistema emparedado en el ensayo de carga, se presenta en las figuras 7 y 8.

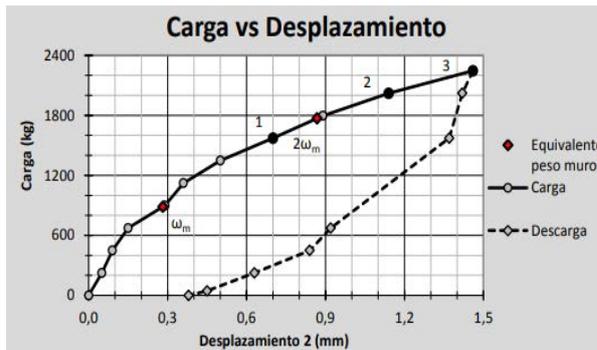


Figura 7. Resultado del primer ciclo de carga en el sistema emparedado propuesto

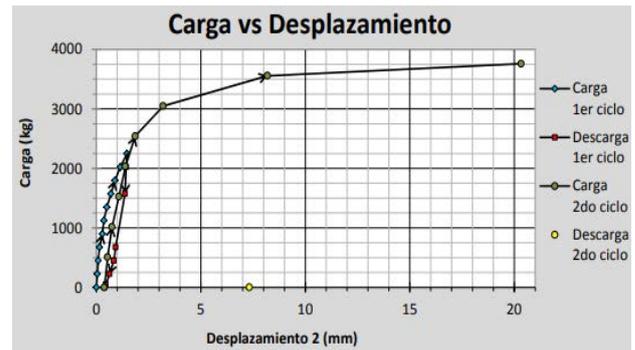


Figura 8. Resultado de los tres ciclos de carga en las pruebas de carga del sistema

## 6. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Las características físicas de las cañas de maíz son muy variadas: no poseen tallos uniformes, además de las variaciones de diámetro, longitud entre nudos y masa. Se supone que estas variaciones son debidas al tipo de semilla, condiciones del suelo y clima. Se observó, en los ensayos de resistencia a compresión, que las cañas de los paquetes tuvieron fallas locales, cerca de los nudos, y también que cada caña trabajó de forma individual. Es notorio el aumento de carga al incrementar la cantidad de cañas. Los resultados mostraron que hay poca variación del esfuerzo al aumentar el número de cañas en la sección, esto se debe a que las cañas tienen un esfuerzo a compresión muy similar.

En la aplicación de carga lateral, en el muro tipo emparedado evaluado, se evidenció en el primer ciclo de carga, que cuando la fuerza alcanzó el equivalente a la masa del muro, se alcanzó un desplazamiento de solamente 0,28 milímetros (figura 7).

Para el segundo ciclo de carga, cuando la fuerza fue equivalente al doble de la masa del muro, se alcanzó un desplazamiento de 0,87 mm. Pequeñas fisuras producidas por esfuerzos de tracción empezaron a aparecer en la zona crítica de flexión, para cargas mayores a dos veces la masa del muro. La zona de aparición de las fisuras no sorprendió, ya que se esperaba que eso ocurriera. Para la fuerza aplicada, de un equivalente a 2,5 veces la masa del muro, se pudo medir un desplazamiento de 1,46 mm, considerando que el muro estaba llegando al límite de su zona elástica (figura 7) por lo que el sistema fue descargado. Para este segundo ciclo de carga, el sistema ensayado mostró una recuperación de 73,9 por ciento del desplazamiento total, medido una hora después de la descarga. El comportamiento para el segundo ciclo, es muy similar al primero, como se observa en la figura 8.

Un tercer ciclo de carga fue aplicado al sistema, esta vez haciéndolo llegar hasta la falla del mismo. Para una fuerza aproximada de 3 t, empezaron a aparecer varias fisuras en la zona de flexión, y fisuras de corte cuando la fuerza alcanzó 3,5 t, aproximadamente el cuádruple de la masa del muro.

El muro falló finalmente a corte por tracción diagonal, con una fuerza de 3,76 t y con un desplazamiento menor a 20 mm, después de lo cual, la carga se incrementó muy levemente y el desplazamiento aumentó considerablemente, sin llegar al colapso.

## 7. CONSIDERACIONES FINALES

Anualmente se generan en Guatemala aproximadamente 1,5 millones de toneladas de caña de maíz, desechos que son quemados, provocando incendios forestales y generando contaminación al ambiente, ya que no tienen un uso específico. También, existen muy pocos estudios que investigan sobre la utilización de la caña de maíz.

Todas las cañas de maíz poseen las mismas características estructurales, pero sus características físicas son muy variadas. La capacidad de una caña de maíz para soportar

fuerza a compresión es baja comparada con otros materiales, pero puede aumentar al incrementar el número de cañas y dotándolas de confinamiento, de manera que trabajen como un solo elemento.

Se diseñó y experimentó un muro representativo del sistema para construcción de vivienda, utilizando como base la caña del cultivo del maíz con revestimiento de tierra, con propósitos de caracterización estructural. El proceso de construcción fue sencillo, utilizando materiales locales casi en su totalidad y mano de obra no calificada.

Los paneles de caña fueron muy livianos, aunque tuvieron bajas capacidades mecánicas por sí solos, su estabilidad fue suficiente para los fines propuestos de transición.

La malla de refuerzo utilizada, dotó al muro de una flexibilidad muy grande, cuestión que quedó evidenciada en la figura 8, donde se puede apreciar la elasticidad del sistema. Es importante mencionar que no hubo colapso del muro, el ensayo se detuvo cuando se observó un incremento progresivo del desplazamiento, con un ligero incremento de la fuerza.

El muro mostró una capacidad de soportar fuerza lateral equivalente a tres veces su masa (2.655 kg) y un desplazamiento de la zona crítica menor a 2,0 mm; a partir de ese valor, los desplazamientos aumentaron significativamente, produciendo en el muro finas fisuras de tracción en la zona de flexión y fisuras de corte al haber alcanzado una carga de 3,760 kgf, mayor a cuatro veces su masa, y un desplazamiento mayor de 20 mm, momento en el cual el ensayo fue suspendido, sin haber presentado colapso.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Amigó, Vicente (2007). Residuos agro-industriales: fuente sostenible de materiales de construcción. Jornada sobre materiales y tecnologías no convencionales para construcciones sostenibles de bajo coste en los países en vías de desarrollo. II Simposio Aprovechamiento de Residuos Agro-industriales como Fuente Sostenible de Materiales de Construcción. Memorias... Valencia, España. ICITECH. p. 40-65.

ASTM E-564 (2016). Práctica estándar para la prueba de carga estática para resistencia al corte de muros enmarcados para edificios. USA: ASTM International.

Bedoya, Daniel (2007). Comportamiento mecánico de paneles de material vegetal. International Conference on Non-Conventional Materials and Technologies. In: Conferência Internacional de Materiais e Tecnologias Não Convencionais: Materiais e Tecnologias para Construções Sustentáveis – IC-NOCMAT. Memories... Alagoas, Brasil.

Bedoya, Daniel (2010). Uso de residuos agro-industriales en la construcción de vivienda. II Simposio Aprovechamiento de Residuos Agro-industriales como Fuente Sostenible de Materiales de Construcción, 2. Memorias..., Valencia, España: ICITECH-CYTED, p. 325-344

Celano, J. (2004). Desarrollo de sistemas industriales de producción de sistemas constructivos prefabricados para vivienda de interés social de la región NEA. Instituto de Investigaciones Tecnológicas para el Diseño Ambiental del Hábitat Humano. Consejo de Comunicaciones Científicas y Tecnológicas. Buenos Aires, Argentina.

Chic, Werner Josué (2014). Diseño, construcción y evaluación de un elemento constructivo para vivienda utilizando cañas de maíz. Trabajo de graduación de Licenciatura. Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala. junio de 2014. 81 p.

Ferrero, A.; Uboldi, Héctor (1991). Porqué el déficit de viviendas no se soluciona con planes de vivienda. Viviendo y construyendo. Santiago, Chile. Programa de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo p. 30-55.

Hurtado, J. (2010). Experimental and analytical research on seismic vulnerability of low-cost dwelling houses. Journal of Structure and Infrastructure Engineering, Vol. 6, No. 1-2, Febrero-Abril, p. 55-62.

Instituto Nacional de Estadística (2019). Censo 2018, XII Censo Nacional de Población y VII de Vivienda de Guatemala, INE.

Jacobo, G. (2004). Tecnología ecológica en la edificación arquitectónica. Universidad Nacional del Nordeste. Buenos Aires, Argentina.

Naaman, A. E. (2008). Laminated cementitious composites. Michigan, Ed. Techno Press 3000.

Pilar, C. (2004). Análisis de las condicionantes tecnológicas, socioeconómicas y ambientales para la aplicación de sistemas constructivos para la Ciudad de Resistencia. Estado de avance. Universidad Nacional del Nordeste, Argentina.

Quiñónez, F. J. (2009). Evaluación experimental de matrices fibro-reforzadas con desechos del fruto del coco (*Cocus Nocifera L.*) y de paneles para construcción de vivienda económica (Sistema constructivo de matriz fibro-reforzada PANCOCO). Informe Final del Proyecto FODECYT No. 075-2006. Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología. Guatemala.

Quiñónez, F. J. (2010). Caracterización de fibras de coco en Guatemala mediante equipo construido con desechos. In: Simposio Aprovechamiento de Residuos Agro-Industriales como Fuente Sostenible de Materiales de Construcción, 2. Memorias... Valencia, España. ICITECH- CYTED. p. 33-44.

Santos, S. F. (2010). Avaliação do potencial dos resíduos agroindustriais em compósitos cimentícios:contribucao para materiais construtivos mais sustentáveis. In: Simposio Aprovechamiento de Residuos Agro-industriales como Fuente Sostenible de Materiales de Construcción, 2. Memorias.... Valencia, España. ICITECH-CYTED. p. 33-44.

## **AGRADECIMIENTOS**

Los autores agradecen a José Luis Chiroy Mendoza, por su valiosa contribución al artículo.

## **AUTORES**

Werner Josué Chic Camey: ingeniero civil, profesional independiente, miembro del Colegio de Ingenieros de Guatemala.

Saulo Moisés Méndez Garza: maestro en formulación y evaluación de proyectos, ingeniero industrial, profesor investigador de la Sección de Ecomateriales del Centro de Investigaciones de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, Miembro de la Comisión de Calidad del Consejo Nacional de CTi de Guatemala, miembro de la red PROTERRA Mesoamérica.

Francisco Javier Quiñónez de la Cruz: especialista en investigación científica, ingeniero civil, profesor titular, jefe de la Unidad de Investigación de la Escuela de Ingeniería Civil y jefe de la Sección Ecomateriales del Centro de Investigaciones de Ingeniería, ambas de la Universidad de San Carlos de Guatemala. Miembro de la Comisión Técnica de Construcción del Sistema Nacional de CTi de Guatemala. Miembro de Red Iberoamericana PROTERRA; Miembro de la Red Tz'unun (CC-adaptación); Miembro de la Red Sika (GIRD).

Edgar Virgilio Ayala Zapata: doctor en filosofía, doctor en ingeniería civil, ingeniero civil, profesor titular, jefe de la Sección de Tecnología de Materiales del Centro de Investigaciones de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala. Miembro de la red Iberoamericana PROTERRA y de la red PROTERRA Mesoamérica.