



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

**DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y EVALUACIÓN DE UN ELEMENTO  
CONSTRUCTIVO PARA VIVIENDA UTILIZANDO CAÑAS DE MAÍZ**

**Werner Josué Chic Camey**

Asesorado por el Ing. Francisco Javier Quiñónez de la Cruz

Guatemala, junio de 2014



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y EVALUACIÓN DE UN ELEMENTO  
CONSTRUCTIVO PARA VIVIENDA UTILIZANDO CAÑAS DE MAÍZ**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA  
FACULTAD DE INGENIERÍA

POR

**WERNER JOSUÉ CHIC CAMEY**

ASESORADO POR EL ING. FRANCISCO JAVIER QUIÑÓNEZ DE LA CRUZ

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

**INGENIERO CIVIL**

GUATEMALA, JUNIO DE 2014



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE INGENIERÍA



**NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA**

DECANO	Ing. Murphy Olympto Paiz Recinos
VOCAL I	Ing. Alfredo Enrique Beber Aceituno
VOCAL II	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL III	Inga. Elvia Miriam Ruballos Samayoa
VOCAL IV	Br. Walter Rafael Véliz Muñoz
VOCAL V	Br. Sergio Alejandro Donis Soto
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

**TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO**

DECANO	Ing. Murphy Olympto Paiz Recinos
EXAMINADOR	Ing. Guillermo Francisco Melini Salguero
EXAMINADOR	Ing. Mario Estuardo Arriola Ávila
EXAMINADOR	Ing. Daniel Alfredo Cruz Pineda
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

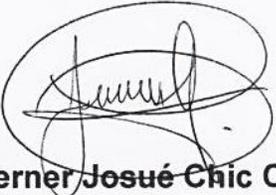


## **HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR**

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

### **DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y EVALUACIÓN DE UN ELEMENTO CONSTRUCTIVO PARA VIVIENDA UTILIZANDO CAÑAS DE MAÍZ**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Civil, con fecha marzo de 2013.



**Werner Josué Chic Camey**





CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERIA  
FACULTAD DE INGENIERIA  
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



Guatemala, 12 de mayo de 2 014

Ingeniero  
Hugo Leonel Montenegro Franco  
Director de la Escuela de Ingeniería Civil  
Facultad de Ingeniería

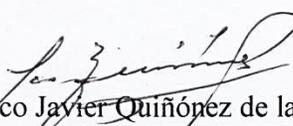
Señor Director:

Tengo el agrado de dirigirme a usted para informarle que he revisado el trabajo de graduación **“Diseño, construcción y evaluación de un elemento constructivo para vivienda utilizando cañas de maíz”**, realizado por el estudiante universitario **Werner Josué Chic Camey**, quien contó con la asesoría del suscrito.

Considero que el trabajo realizado por el estudiante **Chic Camey**, cumple con los objetivos para los cuales fue planteado, por lo que recomiendo su aprobación.

Agradezco a usted la atención que se sirva prestar a la presente.

Atentamente,

  
Francisco Javier Quiñonez de la Cruz  
Ingeniero Civil Colegiado No. 1941  
Jefe Sección Ecomateriales CII/USAC  
Asesor



Cc archivo





**USAC**  
TRICENTENARIA  
Universidad de San Carlos de Guatemala

<http://civil.ingenieria.usac.edu.gt>

Universidad de San Carlos de Guatemala  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
Escuela de Ingeniería Civil



Guatemala, 12 de mayo de 2014

Ingeniero  
Hugo Leonel Montenegro Franco  
Director Escuela de Ingeniería Civil  
Facultad de Ingeniería  
Universidad de San Carlos de Guatemala

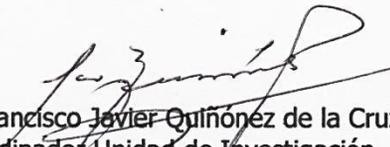
Señor Director:

Tengo el agrado de informarle que he revisado el trabajo de graduación titulado **DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y EVALUACIÓN DE UN ELEMENTO CONSTRUCTIVO PARA VIVIENDA UTILIZANDO CAÑAS DE MAÍZ**, realizado por el estudiante universitario **Werner Josué Chic Camey**, quien contó con la asesoría del suscrito.

Considero que el trabajo realizado por el estudiante **Chic Camey** cumple con los objetivos para los que fue planteado, por lo que recomiendo su aprobación.

Agradezco a usted la atención que se sirva prestar a la presente.

Atentamente,

  
Ing. Francisco Javier Quinonez de la Cruz  
Coordinador Unidad de Investigación  
Escuela de Ingeniería Civil



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
UNIDAD DE INVESTIGACIÓN  
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL  
FACULTAD DE INGENIERÍA

Cc archivo

Mas de **134** años de Trabajo Académico y Mejora Continua







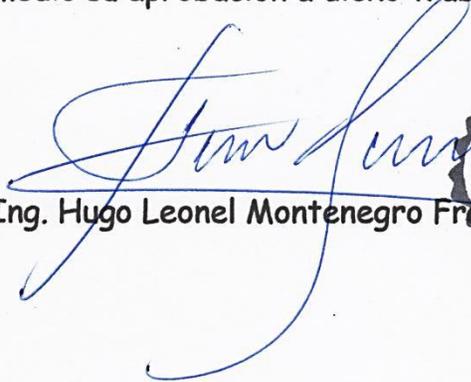
**USAC**  
**TRICENTENARIA**  
 Universidad de San Carlos de Guatemala

<http://civil.ingenieria.usac.edu.gt>

Universidad de San Carlos de Guatemala  
 FACULTAD DE INGENIERÍA  
 Escuela de Ingeniería Civil



El director de la Escuela de Ingeniería Civil, después de conocer el dictamen del Asesor y Jefe del Departamento de Investigación Ing. Francisco Javier Quiñónez de la Cruz al trabajo de graduación del estudiante Werner Josué Chic Camey, titulado **DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y EVALUACIÓN DE UN ELEMENTO CONSTRUCTIVO PARA VIVIENDA UTILIZANDO CAÑAS DE MAÍZ**, da por este medio su aprobación a dicho trabajo.

  
 Ing. Hugo Leonel Montenegro Franco



Guatemala, junio 2014.

/bbdeb.

Mas de **134** años de Trabajo Académico y Mejora Contínua





Universidad de San Carlos  
de Guatemala

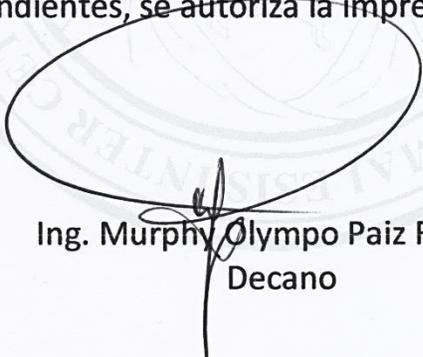


Facultad de Ingeniería  
Decanato

DTG. 270.2014

El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Civil, al Trabajo de Graduación titulado: **DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y EVALUACIÓN DE UN ELEMENTO CONSTRUCTIVO PARA VIVIENDA, UTILIZANDO CAÑAS DE MAÍZ**, presentado por el estudiante universitario **Werner Josué Chic Camey**, y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, se autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:



Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos  
Decano

Guatemala, 6 de junio de 2014

/gdech





## **ACTO QUE DEDICO A:**

- Dios** Por ser la mayor inspiración y el guía para alcanzar todas mis metas.
- Mis padres** Pedro Chic y Mary Comey. Su ejemplo, instrucción, esfuerzo y amor son motivación en mi superación personal y profesional.
- Mis hermanas** Lizzeth y Jeaneth Chic Comey. Su apoyo y cariño han influido en este logro.



## **AGRADECIMIENTOS A:**

<b>Dios</b>	Porque en su infinito amor y misericordia le ha placido darme la oportunidad de alcanzar una meta más.
<b>Mis padres</b>	Pedro Chic y Mary Camey. Por su amor y esfuerzo para financiar mis estudios.
<b>Mis hermanas</b>	Lizzeth y Jeaneth Chic Camey. Por ofrecerme siempre su amistad, cariño y consejos de forma incondicional.
<b>Mi demás familia</b>	Por su apoyo incondicional.
<b>Universidad de San Carlos de Guatemala</b>	Por la oportunidad de estudiar y lograr un título a nivel de licenciatura en esta prestigiosa casa de estudios.
<b>Facultad de Ingeniería</b>	Por brindarme la oportunidad de obtener el conocimiento teórico-experimental necesario para desarrollarme como profesional.
<b>Mi asesor</b>	Ing. Javier Quiñónez. Por dedicar tiempo al desarrollo de este trabajo de investigación, conocimiento y demás cosas.

**Sección de  
Ecomateriales**

Ing. Javier Quiñónez, Dr. Virgilio Ayala, Jesús Moreno y Daniel Ramos. Por su principal colaboración en la realización de este trabajo, amistad y por compartir su conocimiento.

**Sección de Estructuras**

Ing. Mario Corzo, Don Fabio Sánchez y sus practicantes del segundo semestre 2013. Por su colaboración en el desarrollo de este trabajo.

**Mis amigos**

Luis Corcuera, Pablo Gramajo, Rocío Palacios, Maybi Herrera, Ingrid Camey, Laura Lanuza y Nefi Orellana. Por brindarme su amistad incondicional, constante apoyo y de más cosas.

**Mis compañeros de  
promoción**

Gerber González, Kevin Martínez, Jimmy Yoc, Javier Hernández, Carlos Calderón, José Galicia, Edy Rodríguez, Carlos Godoy, Pedro Suntecún, Fernanda Ramírez, Tony Velásquez, Mario Cute, Narda Lucia, Mario Corado, José Valdez, Carlos Xoquic, Cesar Bernal y Diego Mejía. Por su amistad, apoyo y por cada momento que compartimos.

## ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	V
LISTA DE SÍMBOLOS .....	IX
GLOSARIO .....	XI
RESUMEN.....	XV
OBJETIVOS.....	XVII
INTRODUCCIÓN.....	XIX
1. MARCO TEÓRICO.....	1
1.1. Problema de la vivienda en Guatemala .....	1
1.1.1. Las causas.....	2
1.1.2. Déficit habitacional.....	4
1.1.3. Solución, obligación del Estado .....	5
1.2. Cultivo de maíz.....	7
1.2.1. Historia del cultivo del maíz .....	8
1.2.2. Producción del cultivo del maíz .....	9
1.3. Desecho del cultivo del maíz .....	11
1.3.1. Partes del desecho .....	12
1.3.2. Utilización en Guatemala del desecho.....	13
1.3.3. Desecho del maíz en la construcción .....	14
2. MARCO EXPERIMENTAL .....	17
2.1. Análisis de la información .....	17
2.2. Dotación del recurso.....	18
2.3. Preparación del recurso.....	19
2.4. Caracterización de la caña .....	19

2.4.1.	Propiedades mecánicas .....	19
2.4.2.	Características físicas .....	20
2.5.	Evaluaciones preliminares .....	20
2.5.1.	Evaluación de paquete de cañas .....	20
2.5.2.	Evaluación de columna de cañas de maíz .....	21
2.5.3.	Evaluación de tensores de alambre de amarre .....	22
2.5.4.	Evaluación de ferrocemento.....	23
2.6.	Diseño del elemento y del sistema constructivo.....	25
2.7.	Construcción de una fracción típica del muro .....	25
2.7.1.	Construcción de paneles .....	26
2.7.2.	Construcción de cimiento .....	29
2.7.3.	Construcción de muro .....	30
2.7.4.	Fundición de solera corona y tallado del muro .....	36
2.8.	Evaluación de sección de muro .....	37
2.8.1.	Preparación del muro para el ensayo de carga .....	37
2.8.2.	Colocación de equipo de ensayo .....	37
2.8.3.	Ensayo de carga lateral en el muro.....	41
3.	RESULTADOS.....	43
3.1.	Caracterización de la caña.....	43
3.1.1.	Determinación de propiedades mecánicas de la caña .....	43
3.1.2.	Características física – descripción de la caña.....	45
3.2.	De pruebas previas .....	46
3.2.1.	Resistencia a compresión paquete de cañas .....	46
3.2.2.	Resistencia a compresión de columna .....	48
3.2.3.	Resistencia a tensión de tensores.....	51
3.2.4.	Resistencia a tensión de briquetas.....	54
3.3.	Estructura y características de los componentes del muro .....	56

3.4.	Resistencia a corte de muro .....	58
4.	ANÁLISIS DE RESULTADOS .....	67
4.1.	Características del recurso .....	67
4.2.	Ensayos preliminares .....	68
4.3.	Resistencia a corte de muro .....	72
	CONCLUSIONES .....	75
	RECOMENDACIONES .....	77
	BIBLIOGRAFÍA .....	79
	APÉNDICE .....	83



# ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

## FIGURAS

1.	Precariedad de asentamientos humanos .....	1
2.	Mala calidad de vivienda, zona 18 ciudad de Guatemala.....	3
3.	Influencia del cultivo de maíz en la civilización Maya .....	8
4.	Mazorcas de maíz .....	10
5.	Distribución de la producción a nivel nacional.....	11
6.	Partes de la planta del maíz .....	12
7.	Proporción de las partes de la planta del maíz.....	13
8.	Bloque reforzados con fibras de maíz .....	14
9.	Utilización de la caña de maíz en techos .....	15
10.	Dotación del recurso.....	17
11.	Preparación del recurso .....	18
12.	Construcción de briquetas.....	23
13.	Ensayo de briquetas.....	24
14.	Marco para armado de columna.....	26
15.	Armado de columna .....	27
16.	Armado de panel .....	28
17.	Construcción de cimiento .....	29
18.	Anclaje entre paneles .....	30
19.	Anclaje de paneles a cimiento.....	31
20.	Aplicación de revestimiento base .....	32
21.	Aplicación de forjado .....	33
22.	Colocación de malla .....	34
23.	Aplicación de mortero.....	35

24.	Fundición de solera corona.....	36
25.	Pintado del muro.....	38
26.	Preparación de base de respaldo del gato hidráulico .....	38
27.	Amarre de cimiento, muro y colocación de base .....	39
28.	Montaje de instrumentos.....	40
29.	Ensayo de muro.....	42
30.	Gráfica de carga <i>versus</i> longitud – ensayo de caña individual .....	44
31.	Gráfica de carga <i>versus</i> esbeltez – ensayo de caña individual.....	44
32.	Gráfica de carga <i>versus</i> número de cañas .....	47
33.	Gráfica de carga <i>versus</i> esbeltez – general (CI+PC).....	48
34.	Sección de columna de cañas .....	48
35.	Gráfica de carga <i>versus</i> deflexión – ensayo de columna.....	50
36.	Gráfica de esfuerzo <i>versus</i> deformación – ensayo de columna.....	51
37.	Gráfica de carga <i>versus</i> cantidad de hilos en tensor .....	52
38.	Gráfica de esfuerzo <i>versus</i> deformación – tensor 4.....	53
39.	Gráfica de esfuerzo <i>versus</i> deformación – zona elástica.....	53
40.	Ubicación de fallas en briquetas – refuerzo simple .....	54
41.	Ubicación de fallas en briquetas – refuerzo doble .....	55
42.	Esquema de componentes del muro.....	56
43.	Detalles de la estructura del muro.....	57
44.	Esquema de ensayo de muro .....	58
45.	Gráfica de carga <i>versus</i> desplazamiento – 1er. ciclo, muro.....	60
46.	Desplazamiento por fuerza última – ambos ciclos .....	60
47.	1er. ciclo de ensayo de muro – esquema de fallas, izquierdo.....	61
48.	1er. ciclo de ensayo de muro – esquema de fallas, derecha .....	62
49.	Gráfica de carga <i>versus</i> desplazamiento – 2do. ciclo, muro.....	63
50.	2do. ciclo de ensayo de muro – esquema de fallas, izquierdo.....	64
51.	2do. ciclo de ensayo de muro – esquema de fallas, derecho .....	65
52.	Gráfica de carga <i>versus</i> desplazamiento – muro ambos ciclos .....	66

53.	Comparación de ambos ciclos – ensayo de muro.....	73
-----	---	----

## TABLAS

I.	Componentes fundamentales de una casa .....	4
II.	Carencia de necesidades básicas.....	5
III.	Precio de venta .....	7
IV.	Maíz: área, producción y rendimiento .....	10
V.	Resultados de ensayo a compresión de caña de maíz .....	43
VI.	Comparación de carga teórica y experimental .....	46
VII.	Resultados de ensayo a compresión de paquete de cañas .....	47
VIII.	Resultado de características físicas de columna .....	49
IX.	Resultados del 1er. ciclo, ensayo a compresión de columna.....	49
X.	Resultados del 2do. ciclo, ensayo a compresión de columna .....	50
XI.	Resultados de ensayo a tensión de tensores.....	51
XII.	Resultados de resistencia a tensión – tensor No. 4 .....	52
XIII.	Ensayo a tensión de briquetas – refuerzo simple.....	54
XIV.	Ensayo a tensión de briquetas – refuerzo doble .....	55
XV.	Distribución del peso del muro .....	58
XVI.	Resultados de ensayo de muro – 1er. ciclo, carga .....	59
XVII.	Resultados de ensayo de muro – 1er. ciclo, descarga.....	59
XVIII.	Resultados de ensayo de muro – 2do. ciclo carga.....	63



## LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
<b>A</b>	Área
<b>P</b>	Carga
<b>P<sub>c</sub></b>	Carga a compresión
<b>P<sub>t</sub></b>	Carga a tensión
<b>P<sub>r</sub></b>	Carga de ruptura
<b>P<sub>cc</sub></b>	Carga en cada caña
<b>P<sub>u</sub></b>	Carga última
<b>cm</b>	Centímetro, unidad de longitud
<b>cm<sup>2</sup></b>	Centímetro cuadrado, unidad de área
<b>cm<sup>3</sup></b>	Centímetro cúbico, unidad de volumen
<b>cm<sup>4</sup></b>	Centímetro elevado a cuatro, unidad de inercia
<b>def.</b>	Deformación, cambio en longitud por fuerza externa
<b>ε</b>	Deformación unitaria
<b>desp.</b>	Desplazamiento
<b>∅</b>	Diámetro
<b>λ</b>	Esbeltez
<b>σ<sub>c</sub></b>	Esfuerzo a compresión
<b>σ<sub>t</sub></b>	Esfuerzo a tensión
<b>g</b>	Gramos, unidad de masa
<b>I</b>	Inercia
<b>kg</b>	Kilogramo, unidad de fuerza (peso)
<b>L<sub>e</sub></b>	Longitud de entrenudo
<b>La</b>	Longitud de lado

<b>mz</b>	Manzanas, unidad de área
<b>máx.</b>	Máximo
<b>Mpa</b>	Mega pascales, unidad de esfuerzo
<b>m</b>	Metro, unidad de longitud
<b>m<sup>2</sup></b>	Metro cuadrado, unidad de área
<b>mm</b>	Milímetro
<b># o No.</b>	Número
<b>NC</b>	Número de cañas
<b>ω</b>	Peso
<b>ω<sub>m</sub></b>	Peso de muro
<b>PL</b>	Peso lineal
<b>%</b>	Porcentaje
<b>psi</b>	<i>Pounds per square inch</i> (libras por pulgada cuadrada)
<b>prom.</b>	Promedio
<b>Q</b>	Quetzales
<b>qq</b>	Quintal, unidad de masa
<b>r</b>	Radio de giro
<b>S<sub>u</sub></b>	Resistencia última a corte
<b>G</b>	Rigidez a corte
<b>Ton</b>	Tonelada

## GLOSARIO

<b>ANACOVI</b>	Asociación Nacional de Constructores de Vivienda.
<b>Arriostrar</b>	Acción de rigidizar o estabilizar una estructura mediante el uso de elementos que impidan el desplazamiento.
<b>ASTM</b>	Siglas en inglés de la Sociedad Americana para Ensayo y Materiales (American Society for Testing and Materials).
<b>Avalúo</b>	Es un dictamen técnico en el que se indica el valor de un artículo a partir de sus características físicas, su ubicación y su uso.
<b>Bajareque</b>	Es un sistema de construcción de viviendas a partir de palos o cañas entretrejidos y barro.
<b>Briqueta</b>	Pieza sólida de mortero con reducción de área al centro del mismo.
<b>Carga crítica</b>	Fuerza que depende de la longitud de la pieza, del material, de su sección transversal y de las condiciones de unión o sujeción en los extremos.

<b>Carga sostenida</b>	Fuerza aplicada por un largo lapso de tiempo significativo.
<b>CEPAL</b>	Comisión Económica Para América Latina y el Caribe, organismo dependiente de la Organización de las Naciones Unidas.
<b>CII</b>	Centro de Investigaciones de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala.
<b>Compresión</b>	Fuerza que se ejerce sobre un elemento reduciendo su tamaño o volumen.
<b>CornBoard</b>	Tablero fabricado con rastrojo triturado, prensado y unido con resina.
<b>Deflexión</b>	Es aquella deformación que sufre un elemento por el efecto de flexiones internas.
<b>Deformación</b>	Es el cambio en el tamaño o forma de un cuerpo debido a esfuerzos internos producidos por una o más fuerzas aplicadas sobre el mismo.
<b>Deformómetro</b>	Es un instrumento de medición de precisión para medir deformaciones.
<b>Enzunchar</b>	Acción de reforzar en forma de espiral a un elemento alargado para evitar las deformaciones trasversales.

<b>Esbeltez</b>	Es la relación que existe entre la sección del elemento y su longitud.
<b>Esfuerzo</b>	Es la resistencia que ofrece un área unitaria del material del cual está hecho el miembro para una fuerza aplicada.
<b>Fuerza última</b>	Fuerza que soporta un elemento hasta fracturarse o colapsar.
<b>Gato hidráulico</b>	Es un dispositivo utilizado para generar o aplicar fuerza sobre un elemento.
<b>Grietas</b>	Es una abertura larga y estrecha producto de la separación de dos materiales.
<b>Hacinamiento</b>	Se refiere a la relación entre el número de personas en una vivienda o casa y el espacio o número de cuartos disponibles.
<b>Inercia</b>	Es la resistencia que un cuerpo en rotación opone al cambio de su velocidad de giro.
<b>Mortero</b>	Es una mezcla de conglomerantes orgánicos, áridos y agua.
<b>Neopreno</b>	Es un material perteneciente a la familia de cauchos sintéticos.

<b>Puzolana</b>	Materiales con alto contenido de silicio y aluminio, con poca o ninguna propiedad cementante sino hasta pasar por algún proceso físico o químico combinadas con cal y agua.
<b>Radio de giro</b>	Es la forma en la cual el área transversal o una distribución de masa se distribuye alrededor de su eje centroidal.
<b>Rastrojo</b>	Es el conjunto de restos de tallos y hojas que quedan en el terreno tras cortar un cultivo.
<b>Roza</b>	Es una práctica basada en la quema del rastrojo o de desechos agrícolas.

## RESUMEN

Se presenta el estudio desarrollado de la posible utilización de un desecho agrícola, la caña del cultivo del maíz, en la construcción de vivienda de bajo costo, con el fin de presentar una posible opción de solución a la problemática de la vivienda en Guatemala.

Se han utilizado documentos bibliográficos para respaldar lo visto en el campo y dar a conocer el panorama actual del problema de la vivienda en Guatemala, también el que genera la caña del cultivo del maíz.

La parte experimental de la investigación se realizó en la Sección de Ecomateriales del Centro de Investigaciones de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala. Se hizo una caracterización física y se estudió el comportamiento bajo esfuerzo de compresión de las cañas de maíz; se realizaron ensayos previos a concebir el diseño final del elemento constructivo y del sistema de cerramiento que lo integra; se construyó una sección de pared típica de acuerdo al diseño y, se evaluó el comportamiento y capacidad de resistencia al corte.

Los resultados del ensayo de carga lateral estática unidireccional revelan que el muro soporta tres veces su peso sin presentar mayor desplazamiento y las fallas son muy pequeñas, por lo que no provocan el colapso. El diseño propuesto utilizando como base las cañas de cultivo del maíz en conclusión es auto-construible, de bajo impacto al ambiente y posee buena resistencia a corte.



# OBJETIVOS

## General

Diseñar, construir y evaluar en el laboratorio un elemento constructivo para cerramiento de vivienda, utilizando cañas del cultivo de maíz.

## Específicos

1. Evaluar las características del estado actual del desecho de cañas de maíz.
2. Caracterizar la caña del cultivo del maíz.
3. Diseñar un sistema para construcción de vivienda económica en el que se utilice los tallos del cultivo del maíz.
4. Construir paneles para cerramiento de vivienda utilizando como base la caña del cultivo del maíz, con propósitos de caracterización estructural.
5. Evaluar estructuralmente en el laboratorio, el elemento constructivo para cerramiento de vivienda económica, bajo solicitaciones de corte.



## INTRODUCCIÓN

El problema de la vivienda en Guatemala tiene diversas causas que han ido variando según el tiempo, pero las principales son los desastres naturales, el excesivo crecimiento poblacional, la pobreza y el alto costo de la adquisición de vivienda; las dos últimas han influido significativamente en la actualidad. La dimensión de este problema es conocido como déficit habitacional y actualmente es de 1 773 981 unidades divididas entre cualitativa y cuantitativas, con el 60 y 40 por ciento respectivamente.

El Estado en búsqueda de soluciones ha aprobado la Ley de Vivienda en el 2012, su objetivo es desarrollar congruentemente el sector vivienda, sus servicios y equipamiento social.

Por otro lado, se tiene el problema creado por los desechos agrícolas; el cultivo del maíz es el que más área sembrada ocupa, también hay que resaltar que los tallos forman la mayor porción del desecho que se deja tirado sobre el terreno después de la cosecha. Se cosechan aproximadamente 1,23 millones de manzanas generando aproximadamente 25 millones de quintales de residuos de tallos.

Existen muy pocos estudios en búsqueda de la utilización del desecho del maíz en la construcción; se puede mencionar el estudio de los bloques reforzados con fibras de maíz de la Universidad Politécnica de Catalunya, el de morteros de cemento portland con ceniza de rastrojo de maíz de la Universidad Politécnica de Valencia y el tablero creado a base de rastrojo de la Universidad de Illinois.

El propósito de esta investigación fue utilizar la caña del cultivo de maíz como material de construcción, siendo el objetivo principal diseñar, construir y evaluar un elemento constructivo para cerramiento de vivienda.

Se construyó una fracción del sistema propuesto, luego fue sometido a una simulación unidireccional de la fuerza sísmica siguiendo el procedimiento de la Norma ASTM E-564 Método estándar de ensayo de carga estática para la resistencia al corte de paredes enmarcadas para edificios; se determinó el comportamiento y resistencia a corte. El resultado fue satisfactorio, se logró un elemento constructivo de bajo impacto ambiental, económico y con grandes capacidades mecánicas; la resistencia al corte final fue de 1 534,4 kilogramos por centímetro y la rigidez a corte de 1 740,3 kilogramos por centímetro.

Es justificable esta investigación, ya que, la utilización de un desecho agrícola en la construcción aporta un valor significativo a la conservación ecológica; también económica por la reducción del costo, porque utiliza mano de obra no calificada y reduce la cantidad de materiales de construcción modernos.

# 1. MARCO TEÓRICO

## 1.1. Problema de la vivienda en Guatemala

Es un problema social que existe en todos los países del mundo; no obstante, la diferencia es la magnitud con la que esté se presenta, teniendo como factor común sus causas.

En Guatemala es indiscutible y prueba de ello es el crecimiento excesivo de asentamientos donde se están construyendo viviendas en condición infrahumana, sin servicios básicos y difícil acceso a servicios públicos, como se observa en la figura 1. Este problema no discrimina a las personas por su color de piel, origen étnico, edad o sexo, pero sí, por su condición económica.

Figura 1. Precariedad de asentamientos humanos



Fuente: Zaki Magoa. [http://zakimagoa.blogspot.com/2012\\_03\\_01\\_archive.html](http://zakimagoa.blogspot.com/2012_03_01_archive.html).

Consulta: 4 de marzo de 2014.

### **1.1.1. Las causas**

Las más relevantes son los desastres naturales, el excesivo crecimiento poblacional, el crecimiento desordenado de la ciudad, la emigración de la población del área rural al área urbana, el alto costo en la adquisición de vivienda, la falta de control en la construcción de nuevas viviendas y el bajo nivel de vida (pobreza).

Guatemala es uno de los países más propensos a fenómenos naturales, el suceso natural más reciente y que más daño provocó a las viviendas fue, el terremoto de 7,2 que ocurrió el 7 de noviembre del 2012 en el departamento de San Marcos. Este evento afectó a 33 161 viviendas; siendo 7 312 daño severo, 9 100 daño leve, 10 539 daño moderado y 6 210 en riesgo.

Además, el crecimiento poblacional ha influido significativamente en el problema de la vivienda en Guatemala. Según las estadísticas sociales de CEPAL, se estima una población de 15,8 millones personas para el 2014 y una tasa de crecimiento poblacional de 2,4 para el período del 2010-2015, siendo el segundo país de América Latina con la tasa más alta.

En la actualidad, el 52 por ciento de la población vive en condiciones de pobreza y el 15 por ciento en situación de extrema pobreza.

Pobreza es entendida como la inhabilidad para obtener un estándar de vida mínimo. Banco Mundial, 1990. Este es el principal causante del problema habitacional, ya que va íntimamente relacionada, pues se ha vuelto un círculo vicioso, porque la pobreza contribuye a la incapacidad para obtener una vivienda digna, adecuada y saludable, y esté por su parte, apoya a conservar las condiciones de pobreza.

“Artículo 7: Definiciones. Vivienda digna, adecuada y saludable: es aquella que funciona como espacio de refugio seguro y agente de salud para garantizar la apropiada calidad de vida a sus habitantes, protegiéndolos de la intemperie y cubriendo satisfactoriamente sus necesidades básicas...”<sup>1</sup>

La incapacidad de adquirir de una vivienda digna, adecuada y saludable da paso a que muchas personas decidan construir sus viviendas en lugares y con materiales inadecuados (ver figura 2), obviando la asesoría de un profesional. A causa de la gran inversión de dinero; primero para la compra de un terreno, con todos sus servicios y proximidad a equipamiento social; segundo para la construcción de la vivienda, ya que el precio de los materiales de construcción tradicionales son muy elevados.

Figura 2. **Mala calidad de vivienda, zona 18 ciudad de Guatemala**



Fuente: elaboración propia.

En la construcción de una vivienda económica de Centroamérica con 50 metros cuadrados, el 67 por ciento del costo es para la adquisición de materiales y el 33 por ciento restante para la mano de obra. En la tabla I se puede ver los componentes fundamentales de una casa y el porcentaje del costo que representa cada una.

1. Decreto número 9-2012 Ley de Vivienda.

Tabla I. **Componentes fundamentales de una casa**

<b>Componente</b>	<b>Porcentaje del costo de materiales</b>	<b>Costo de materiales</b>
Cimentación	10%	
Piso	10%	70%
Paredes	33%	
Techo	17%	
Instalación sanitaria	13%	
Instalación eléctrica	5%	30%
Carpintería	12%	

Fuente: elaboración propia.

### 1.1.2. **Déficit habitacional**

La dimensión del problema de vivienda se da a conocer por medio del déficit habitacional, que está conformado por un elemento cuantitativo y otro cualitativo. El cuantitativo denota la cantidad de unidades que deben construirse, conformado por el número de viviendas en condición precaria y viviendas no propias. El cualitativo denota la cantidad de unidades que requieren la reparación de necesidades básicas (ver tabla II).

Según el censo poblacional y habitacional realizado en el 2002 existía un déficit habitacional de 1 021 592 viviendas, existiendo un déficit cuantitativo de 410 097 viviendas y un déficit cualitativo de 611 495 viviendas, en porcentaje 40 y 60 por ciento respectivamente. En la actualidad, de acuerdo a las proyecciones de la Asociación Nacional de Constructores de Vivienda (ANACOV) existe un déficit de 1 773 981 viviendas y para el 2015 ascenderá a 1 924 587 viviendas, con un déficit cuantitativo de 772 587 viviendas y cualitativo de 1 152 000 viviendas.

Tabla II. **Carencia de necesidades básicas**

<b>Carencia</b>	<b>Área urbana</b>	<b>Área rural</b>
Calidad de vivienda	Paredes de bajareque, lepa, palo, caña u otro; o, viviendas con paredes de ladrillo, bloque, adobe, madera, lámina y que tuvieran piso de tierra.	Paredes de lámina, bajareque, lepa, palo, caña u otro y que tuvieran piso de tierra.
Por hacinamiento	Viviendas con más de tres personas por cuarto (excluyendo baño y cocina).	
Disponibilidad de agua potable	Hogares sin conexión a una red de distribución de agua y con servicio de abastecimiento de chorro público, pozo, río, lago o manantial.	Hogares con servicio de abastecimiento de agua de río, lago o manantial
Alcantarillado	Hogares sin conexión a una red de captación de desagüe y con servicio sanitario igual a pozo ciego o letrina, excusado lavable o sin servicio sanitario.	Hogares sin ningún sistema de eliminación de excretas o que no disponen de servicio sanitario.

Fuente: elaboración propia.

### **1.1.3. Solución, obligación del Estado**

De acuerdo con la Constitución Política de la República de Guatemala el Estado tiene la obligación de promover y apoyar soluciones que garanticen la tenencia de una vivienda adecuada, con condiciones de salubridad, para el mayor número de personas posible. A continuación, se transcriben literalmente dos artículos de la constitución, con respecto al tema.

“El artículo 119: Obligaciones del Estado. Fomentar con prioridad la construcción de viviendas populares, mediante sistemas de financiamiento adecuados a efecto que el mayor número de familias guatemaltecas las disfruten en propiedad.”<sup>2</sup>

“Artículo 105: Viviendas de los trabajadores. El Estado, a través de las entidades específicas, apoyará la planificación y construcción de conjuntos habitacionales, estableciendo los adecuados sistemas de financiamiento, que permitan atender los diferentes programas, para que los trabajadores puedan optar a viviendas adecuadas y que llenen las condiciones de salubridad.”<sup>2</sup>

Sin embargo, se han visto muy pocas acciones para contrarrestar el problema de la vivienda. El déficit aumenta en aproximadamente 100 mil viviendas al año y la construcción de vivienda por parte de entidades del Estado es de 22 000 viviendas por año. En el 2013 se construyeron alrededor de 26 000 viviendas.

Uno de los esfuerzos por neutralizar el problema habitacional, es la aprobación, por el Congreso de la República, del Decreto Número 9-2012 Ley de Vivienda; el cual deroga el Decreto Número 120-96, Ley de Vivienda y Asentamientos Humanos. Esta nueva ley busca regular y fomentar las acciones del Estado, desarrollando congruentemente el sector vivienda, sus servicios y equipamiento social.

En el artículo 6, menciona que los guatemaltecos tienen derecho a una vivienda digna, adecuada y saludable, con seguridad jurídica, disponibilidad de infraestructura, servicios básicos y proximidad a equipamientos comunitarios. Sin discriminación alguna y con especial protección para la niñez, madres solteras y personas de la tercera edad.

---

2. Constitución Política de la República de Guatemala.

Uno de los beneficios que presenta esta ley es la adjudicación de inmuebles, artículo 74. La propiedad que pertenezca al Estado, que estén siendo ocupados por familias en situación de pobreza, podrán ser adjudicados, siempre que los mismos hayan sido ocupados antes del 31 de diciembre de 2007 y sean destinados exclusivamente para vivienda. Para la adjudicación se aplicarán los precios de venta dispuestas en la tabla III.

Tabla III. **Precio de venta**

<b>Ingreso mensual</b>	<b>Valor por m<sup>2</sup></b>
Hasta Q. 500,00	Q. 5,00
Q. 500,01 a Q. 1 000,00	Q. 10,00
Q. 1 000,01 a Q. 1 500,00	Q. 15,00
Q. 1 500,01 a Q. 2 000,00	Q. 20,00
Q. 2 000,01 a Q. 3 000,00	Q. 30,00

Fuente: elaboración propia.

Para los caso de ingreso mayor, el precio de venta será de acuerdo al avaluó del inmueble que se practicará por la Dirección de Catastro y Avaluó de Bienes Inmuebles del Ministerio de Finanzas Públicas.

## **1.2. Cultivo de maíz**

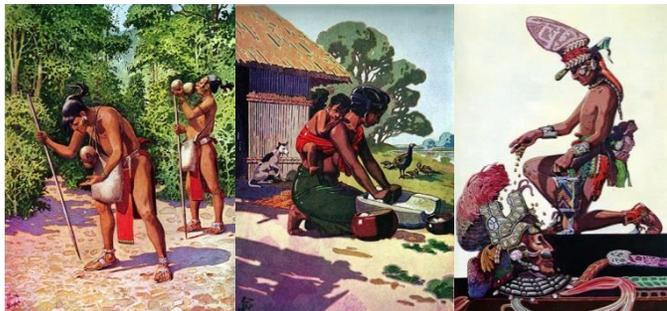
La palabra maíz es de origen indio caribeño y su significado es lo que sustenta la vida. Su nombre binomial es *Zea mays*, forma parte de la familia de las poáceas, también llamado gramíneas, y es de orden poales. Se reproduce por polinización cruzada. La planta de maíz puede alcanzar una altura de 4 metros.

Actualmente, es una actividad agrícola de mucha importancia a nivel mundial, se encuentra únicamente por debajo del cultivo del trigo y del arroz. Es utilizado primordialmente para el consumo humano; convirtiendo su producto en cereales y otros alimentos. Actualmente, la industria de transformación considera al maíz como materia prima básica.

### 1.2.1. Historia del cultivo del maíz

Este cultivo es muy antiguo, la existencia del maíz data de unos 7 000 años de antigüedad, con mucha certeza se puede decir que tuvo su origen, en América Central. Formó parte esencial en las civilizaciones maya y azteca, influyendo en sus creencias religiosas, festividades y nutrición (ver figura 3).

Figura 3. **Influencia del cultivo de maíz en la civilización Maya**



Fuente: Antiguos Mayas. <http://pueblosoriginarios.com/recursos/colecciones/maya/maya.html>.  
Consulta: 4 de marzo de 2014.

En el siglo XVI, después del descubrimiento del nuevo mundo por Cristóbal Colón, el maíz fue introducido en Europa por parte de España. Se propagó por las partes de clima cálido como en el Mediterráneo. Se ha demostrado que el maíz se siembra en todas partes del mundo, aptas para actividades agrícolas.

En Guatemala, el maíz se originó en el departamento de Huehuetenango; el Instituto de Estudios Interétnicos examinó las isoenzimas y se estableció que el parviglumis de Jacaltenango es la planta que dio origen al maíz actual.

### **1.2.2. Producción del cultivo del maíz**

La época de siembra en el país varía según el clima. En el altiplano se siembra de marzo-abril, cosechándose de noviembre o diciembre. En las zonas norte y sur se siembra en dos épocas; la primera en mayo, cosechando en octubre y la segunda en noviembre, cosechando de febrero o marzo. En zonas cálidas también en dos épocas; la primera de mayo-junio, cosechando de agosto o septiembre y la segunda de agosto-septiembre, cosechando en noviembre o diciembre.

Generalmente, cada tallo produce una mazorca, esta es la estructura que contiene los granos de maíz (ver figura 4), está conformado por una cantidad variable de hileras (12 - 16 aprox.), produciendo entre los 300 – 1 000 granos. La variación del peso es afectada por las distintas condiciones ambientales y técnicas de siembra, su peso oscila entre 190 a 300 gramos por cada 1 000 granos. Los granos de maíz pueden encontrarse regularmente en color blanco y amarillo; sin embargo, existen otras variedades de color, negro, rojo y jaspeado.

En Guatemala, el cultivo del maíz es la actividad agrícola que más superficie sembrada ocupa y que mayor volumen produce. El área cosechada para el año agrícola 2012/2013 fue de 1 211 900 manzanas con una producción de 38 003 700 quintales, de los cuales el 90 por ciento corresponden a maíz blanco. Según estimaciones del MAGA (ver tabla IV), para el año agrícola 2013/2014 el área cosechada será de 1 225 200 manzanas y 39 178 400 quintales de producción.

Figura 4. **Mazorcas de maíz**



Fuente: las tortillas de maíz guatemaltecas. <http://www.mejorweb.gt/como-hacer-tortillas-de-maiz-guatemaltecas>. Consulta: 2 de marzo de 2014.

Tabla IV. **Maíz: área, producción y rendimiento**

<b>Año agrícola</b> <sup>1/</sup>	<b>Área cosechada (manzanas)</b>	<b>Producción (quintales)</b>	<b>Rendimiento (qq/mz)</b>
2006/07	825 900,00	32 840 200,00	39,80
2007/08	985 000,00	35 239 400,00	35,80
2008/09	1 224 600,00	37 954 987,00	30,99
2009/10	1 174 955,00	35 842 973,50	30,51
2010/11	1 175 255,00	36 117 211,60	30,73
2011/12	1 199 900,00	36 932 600,00	30,80
2012/13 <sup>p/</sup>	1 211 900,00	38 003 700,00	31,40
2013/14 <sup>e/</sup>	1 225 200,00	38 178 400,00	32,00

1/ de mayo de un año a abril del siguiente

p/ cifras preliminares

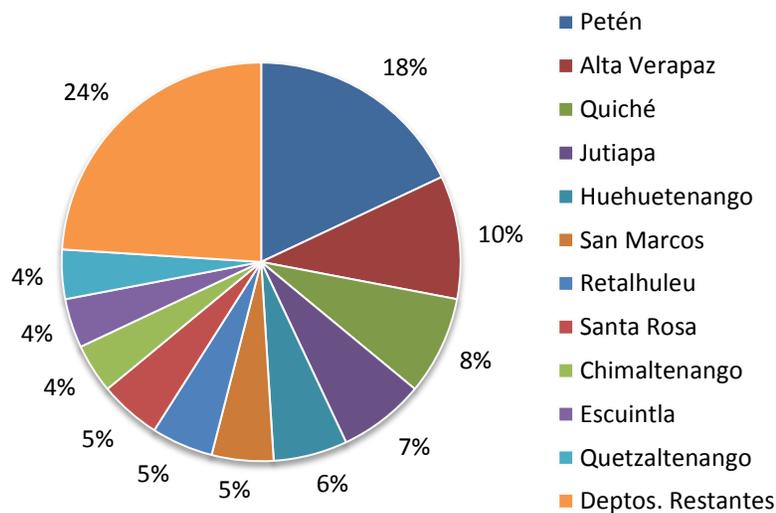
e/ cifras estimadas

Nota: Incluye maíz blanco, amarillo y colores.

Fuente: elaboración propia.

Aproximadamente, el 50 por ciento del área sembrada está concentrada en 5 departamentos, los cuales son: Petén, Alta Verapaz, Quiché, Jutiapa, Huehuetenango. En la figura 5, se observa que el departamento con más área sembrada es Petén con el 18 por ciento.

Figura 5. **Distribución de la producción a nivel nacional**



Fuente: elaboración propia.

El maíz amarillo es utilizado básicamente para la elaboración de concentrados para los animales y el maíz blanco para el consumo humano como tortillas, tamal, chuchitos y otros.

### 1.3. Desecho del cultivo del maíz

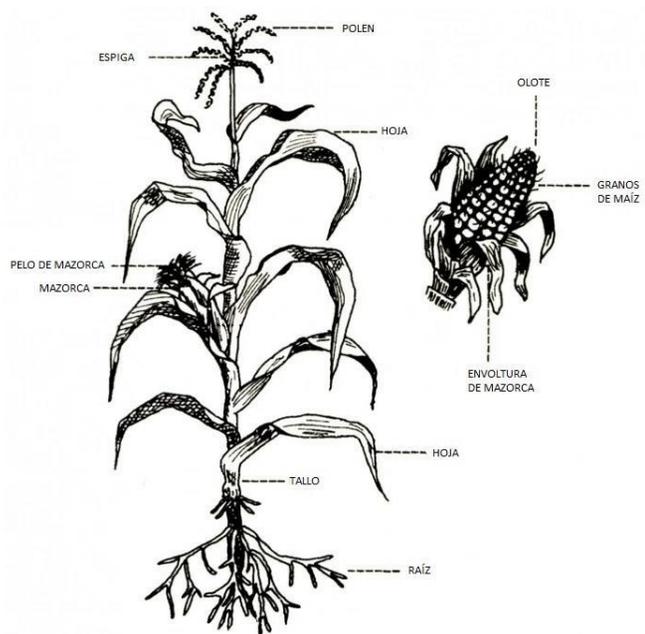
El cultivo del maíz genera mucho desecho, según las investigaciones de la FAO, una hectárea de cultivo de maíz produce cerca de 1,55 toneladas de residuos de tallos. El grano seco pesa entre 30 a 55,9 por ciento del peso total de la planta seca, el porcentaje restante es desecho.

La práctica de la roza o quema de los desechos agrícolas ha influido significativamente en los incendios forestales. En Guatemala, en 2003, el 45,71 por ciento de los incendios fue por negligencia y el 69,03 por ciento por quema agrícola. Con base en los datos anteriores, se determina que la quema de desechos agrícolas es el causante del 31,55 por ciento de los incendios forestales en el país.

### 1.3.1. Partes del desecho

Alrededor del 70 por ciento de la planta del cultivo del maíz es considerado como basura. De las partes de la planta que se muestran en la figura 6, la fracción útil solo es el grano de maíz y el resto es desecho.

Figura 6. Partes de la planta del maíz

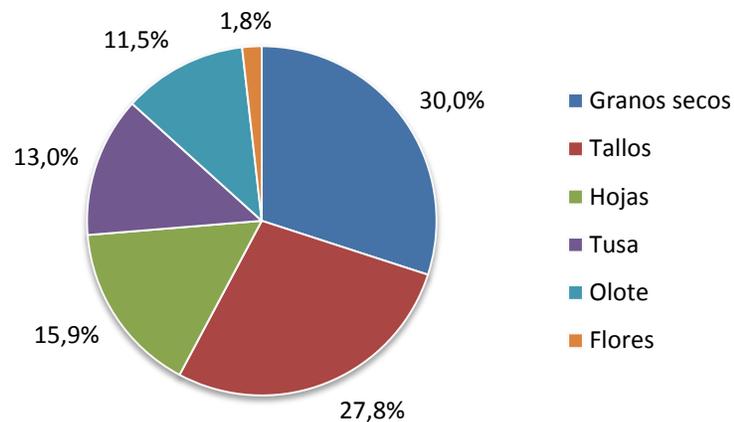


Fuente: GONZÁLEZ, Yolotl. Etnografía del maíz. <http://books.openedition.org/cemca/1880>.

Consulta: 27 de febrero de 2014.

El peso total de una planta de maíz, en condición seca, oscila entre 220 y 314 gramos. Como se observa en la figura 7, los tallos son el desecho de mayor proporción, anualmente se genera 25 millones de quintales de caña.

Figura 7. **Proporción de las partes de la planta del maíz**



Fuente: elaboración propia.

Lo anterior da una perspectiva de la cantidad de materia que frecuentemente se deja sobre el terreno o se incinera, una pequeña parte es utilizada como alimento para los caballos y vacas.

### 1.3.2. **Utilización en Guatemala del desecho**

La tusa es utilizada en la envoltura de alimentos como queso fresco, requesón, mantequilla, melcochas, bolitas de miel, mazapán, tamales de viaje, tamalitos blancos, chuchitos, tamalitos de chipilín, de frijol tierno, de cambray, de anís, de elote y otros; también para realizar estropajos para lavar trastos y artesanías; de las partes de la planta este es el que más uso se le ha dado. El elote, es utilizado para encender fuego, para la preparación de alimentos.

La caña, es utilizada en algunos lugares para cercar terrenos y letrinas, también para el estaqueado para cultivos de tomate, pepino y otros; el rastrojo, es utilizado para la alimentación de los caballos y vacas, otras veces es triturada para luego enterrarla o utilizarla como cama para ganado.

### **1.3.3. Desecho del maíz en la construcción**

En la Universidad Politécnica de Catalunya se realizó un estudio del comportamiento de morteros reforzados con fibras de maíz, para componentes de viviendas. Se elaboraron bloques de mortero con fibras de la caña de maíz, como se muestra en la figura 8; alcanzando una resistencia a la compresión de 3,5 mega pascales, superior a la resistencia del adobe cuyo valor varia de 0,5 - 2 mega pascales y equivalente al 65 por ciento de los bloques de arcilla aligerada. Esta característica mecánica le permite ser utilizado en la construcción de vivienda unifamiliar de una o dos plantas.

Figura 8. **Bloque reforzados con fibras de maíz**



Fuente: REYES, Cesar. Estudio del comportamiento de morteros reforzados con fibras de maíz, para componentes de viviendas de bajo coste. p 255.

La Universidad Politécnica de Valencia realizó un estudio de morteros de cemento portland con cenizas de rastrojo de maíz para su posible uso en construcciones rurales, el estudio reveló que esta tiene características puzolánicas y sus resultados de resistencia a compresión de mortero a los 28 días, sustituyendo un 10 por ciento de cemento por esta ceniza, alcanzó el 92 por ciento de la resistencia del mortero estándar.

En México realizaron una evaluación del comportamiento térmico de casas con bajareque, en el techo se utilizó la caña de maíz.

Figura 9. **Utilización de la caña de maíz en techos**



Fuente: VECCHIA, Francisco. CASTAÑEDA, Gabriel. Evaluación del comportamiento térmico de casa experimental con bajareque mejorado. p 4.

Como se muestra en la figura 9, se coloca una cama de cañas entre las cintas de madera de pino y sobre estas una capa de fieltro asfáltico y por último teja de barro. Asimismo, las paredes estaban compuestas por tierra y paja y un alma de caña de maíz de 10,0 centímetros de espesor.

La Universidad de Illinois, por medio de sus investigadores, perfeccionaron y patentaron el proceso de fabricación de un tablero que es una alternativa económica y ambientalmente responsable. Este se fabrica con el rastrojo del maíz y es llamado *CornBoard* o tablero de maíz en español. El desecho es triturado, tamizado, ordenado y mezclado con una resina, unido bajo calor y presión. *CornBoard* puede remplazar a la madera prensada o de viruta, ya que, tiene propiedades similares. Tiene otras miles de aplicaciones, incluyendo muebles, gabinetes, pisos, interior de puertas y materiales de construcción como pisos, techos y las aplicaciones de revestimiento de viviendas. Esta tecnología se licencia exclusivamente por *CornBoard Manufacturing Inc.*

## 2. MARCO EXPERIMENTAL

### 2.1. Análisis de la información

Se realizó una recopilación de la información utilizando recursos de primera mano. Luego, se leyó y examinó detalladamente cada una de estas; se extrajo, datos e información importante para la redacción del marco teórico.

Figura 10. Dotación del recurso



Fuente: El Plan, zona 18. Límite de la ciudad de Guatemala.

## 2.2. Dotación del recurso

Se realizó visitas de campo a El Plan, zona 18 de la ciudad de Guatemala y se observó el estado del desecho del cultivo del maíz (figura 10 a y b).

La dotación del recurso se llevó acabo en ese mismo lugar. Se recolectó caña, para ello, se cortó cañas mayores a 0,5 metros de longitud con machete (figura 10 c), luego se juntó en manojos y después se empaquetó (figura 10 d). Se trasportó el recurso en *pick-up* (figura 10 e) al centro de almacenamiento en la Sección de Ecomateriales del CII en la ciudad Universitaria (figura 10 f).

Figura 11. Preparación del recurso



Fuente: Sección de Ecomateriales. CII. USAC.

### **2.3. Preparación del recurso**

Se dividió en tres actividades; la primera, limpieza: se eliminó la envoltura de la caña de manera manual, también se utilizó cuchillo o machete para aligerar el proceso (figura 11 a, b, c, d); la segunda, clasificación: se dividió en tres grupos según la longitud de la caña (0,5 m, 1,00 m y 1,50 m); la tercera, almacenamiento: se empaquetó y almacenó en una pequeña bodega (figura 11 e y f). Se debe resaltar que este trabajo no requirió de mano de obra calificada.

### **2.4. Caracterización de la caña**

Se necesitó conocer los atributos peculiares de la caña de maíz, para lo cual se determinó las características físicas y propiedades mecánicas del recurso.

#### **2.4.1. Propiedades mecánicas**

Se evaluó en el laboratorio la resistencia a compresión de una serie de probetas de caña. El ensayo se realizó con el procedimiento descrito a continuación:

- Preparación de las probetas
  - Se cortó fracciones de caña, en las proximidades de los nudos
  - Se seleccionó 4 probetas con dos entrenudos y 4 con tres
- Ensayo de probeta
  - Se tomó datos de características físicas
  - Se colocó la probeta en la máquina universal, al mismo tiempo se colocó neopreno en sus extremos
  - Se aplicó carga continua y se tomó el valor de carga máxima

### **2.4.2. Características físicas**

Se realizó la caracterización de forma visual la caña de maíz. Se examinó varias muestras en diferentes condiciones, para ello se partió de forma longitudinal y transversal, también, se desmembró una fracción de caña. Luego se describió cada una de las fracciones y secciones de caña.

## **2.5. Evaluaciones preliminares**

Se realizó una serie de ensayos con el objetivo de orientar y ayudar a perfeccionar el diseño, tanto del elemento de construcción como del sistema que lo integra.

### **2.5.1. Evaluación de paquete de cañas**

Se evaluó en el laboratorio la resistencia a compresión de una serie de probetas de cañas y el ensayo se realizó con el procedimiento descrito a continuación:

- Construcción de probeta
  - Se cortó fracciones de caña de 0,80 metros de longitud
  - Se sujetó de los extremos con alambre galvanizado
  - Se formó cuatro paquetes, cada una con diferente cantidad de caña, siendo de 1, 2, 4, 9 y 16 cañas
- Ensayo de probeta
  - Se tomó datos de características físicas
  - Se colocó la probeta en la maquina universal, al mismo tiempo se colocó neopreno en sus extremos
  - Se aplicó carga continua y se tomó el valor de carga máxima

### **2.5.2. Evaluación de columna de cañas de maíz**

Se evaluó el comportamiento y la resistencia a compresión de una columna de cañas de maíz. Se aplicó dos ciclos de carga y se realizó con el siguiente procedimiento:

- Construcción de columna
  - Se seleccionó cañas y se cortó en los extremos, al nudo más próximo de ambos
  - Se formó la columna con sección de 3•4 cañas y se ató con alambre galvanizado, calibre 22
  - Se realizó un enzunchado a 10,0 centímetros, con lazo plástico
- Ensayo de columna
  - Se tomó datos de características físicas
  - Se colocó una pequeña regla en la cara de 4 cañas
  - Se colocó la columna en el marco Forney
  - Se colocó neopreno en los extremos de la columna
  - Se colocó el gato hidráulico y una platina metálica en el extremo inferior
  - Se colocó un deformómetro a L/2 en dos caras laterales diferentes, que midió la flexión de la columna
  - Se aplicó carga en intervalos de esfuerzo, 50,0 libras por pulgada cuadrada (esfuerzo en manómetro)
  - Se tomó datos de esfuerzo, aplastamiento y pandeo, en cada incremento de esfuerzo y se descargó
  - Se eliminó la regla en el costado de la columna
  - Se volvió aplicar carga y se repitió el procedimiento del primer ensayo
  - Al descargar por segunda vez se tomó datos de deformómetros

### **2.5.3. Evaluación de tensores de alambre de amarre**

Se evaluó en el laboratorio la resistencia a tensión de una serie de tensores de alambre de amarre y el ensayo se realizó con el procedimiento descrito a continuación:

- Construcción de tensor
  - Se cortó fracciones de alambre de amarre
  - Se colocó paralelamente la cantidad de hilos necesarios
  - Se entorchó los hilos con una cantidad determinada de vueltas
  - Se construyó 6 probetas de 1,0 metro de longitud (1 a 6 hilos)
- Ensayo de probeta
  - En la sección de Ecomateriales:
    - Se midió y marcó una distancia de 0,5 metros en la probeta
    - Se fijó un dinamómetro a una estructura metálica
    - Se entorchó un extremo de la probeta al dinamómetro
    - Se colocó en el otro extremo de la probeta un recipiente
    - Se echó arena en el recipiente en cantidades equivalente a 50,0 libras (lectura de dinamómetro)
    - Se tomó anotaciones de carga y elongación de la probeta, en cada incremento de carga
  - En la sección de Metales y Productos Manufacturados:
    - Se midió y marcó una distancia de 0,5 y 0,2 metros en la probeta
    - Se fijó la probeta en ambos extremos con las mordazas, en la máquina universal
    - Se aplicó carga en intervalo de 50,0 kilogramos
    - Se tomó anotaciones de carga y elongación en cada incremento de carga

#### 2.5.4. Evaluación de ferrocemento

Se evaluó en el laboratorio la resistencia a tensión de una serie de briquetas de mortero reforzadas con malla, la mitad con una capa y la otra mitad con dos.

Figura 12. Construcción de briquetas



Fuente: Sección de Ecomateriales. CII. USAC.

El ensayo se realizó con el procedimiento descrito a continuación:

- Construcción de briqueta:
  - Se armó el molde y se aplicó aceite, como se muestra en la figura 12 a, b, y c

- Se preparó mezcla de mortero con proporción volumétrica 1:3 (ver figura 12 d, e, f y g)
- Se echó mortero dentro del molde, se apisonó y se colocó la malla (ver figura 12 h, i)
- Se rasó y se extrajo muestras para fundir cubos para ensayo a compresión (ver figura 12 j, k, l y m)
- Se realizó 9 briquetas con una capa de malla, otras 9 con doble y 6 cubos de mortero
- Ensayo de briqueta
  - Se pegó pedazos de neopreno en los extremos de la briqueta
  - Se tomó medición de características físicas
  - Se colocó en la máquina universal (figura 13 a y c)
  - Se aplicó carga continua hasta la falla (figura 13 b, d, e y f)

Figura 13. **Ensayo de briquetas**



Fuente: Centro de Investigaciones de Ingeniería. USAC.

## **2.6. Diseño del elemento y del sistema constructivo**

Con ayuda de la caracterización y de las pruebas a compresión de paquetes de caña y de la columna, se desarrolló el diseño de la base del sistema. Se decidió formar un elemento constructivo con cañas (panel), el cual se conformó por una estructura de dos columnas y arriostradas por una serie de cañas, generando un cajón.

Se observó que este panel poseía pobres capacidades mecánicas para conformar un sistema sismo resistente. Por lo que se tomó la decisión de utilizar algunos materiales de construcción comunes, como cemento, arena y hierro.

El sistema se conformó de la siguiente manera:

- Cimiento: losa de cimentación.
- Muros: utiliza como base paneles de cañas; reforzado con tensores verticales e inclinados, malla de gallinero y recubierto con mortero.
- Solera final: solera de corona.
- Marco rigidizante: elemento de concreto para fortalecer vanos de puertas y ventanas.
- Techo: liviano de lámina y costaneras.

## **2.7. Construcción de una fracción típica del muro**

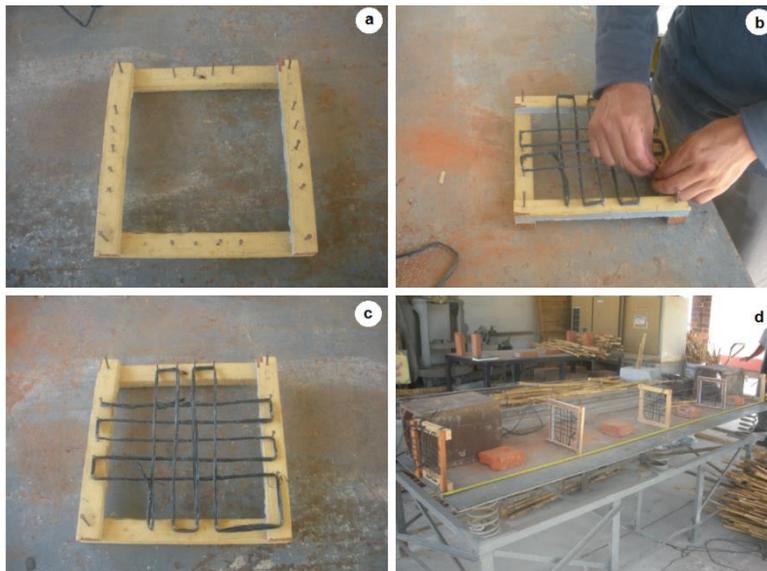
Utilizando el diseño del sistema, se construyó una fracción típica del muro que luego se evaluó bajo solicitaciones de resistencia a corte. La construcción se realizó con las siguientes actividades globales: construcción de paneles, compra de materiales, construcción de cimiento, construcción de muro y fundición de solera corona, el procedimiento más detallado de cada una de estas actividades se describe a continuación.

### 2.7.1. Construcción de paneles

Se elaboró 4 paneles a base de caña de maíz para la construcción de un muro. Un panel está compuesto por dos columnas y arrostros horizontales. Se realizó con el procedimiento descrito a continuación:

- Construcción de columna
  - Marco para armado de columna:
    - Se armó un marco y se colocó clavos en su perímetro, a una distancia de 1,50 centímetros una de otra (figura 14 a).
    - Se tejió con lazo plástico formando una cuadrícula central de 3•4 (ver figura 14 b y c).
    - Se colocó sobre la mesa 5 marcos a 0,60 metros una de otra (figura 14 d).

Figura 14. Marco para armado de columna



Fuente: Sección de Ecomateriales. CII. USAC.

- Armado de columna:
  - Se formó la columna utilizando el marco (ver figura 15 a).
  - Se realizó amarres preliminares con alambre galvanizado.
  - Se retiró el marco y se enzuncho con lazo plástico a una distancia de 10,0 centímetros (ver figura 15 b).
  - Se cortó uno de los extremos rectificando que tuviera los 2,40 metros de longitud (ver figura 15 c).

Figura 15. **Armado de columna**



Fuente: Sección de Ecomateriales. CII. USAC.

- Armado de panel:
  - Se cortó fracciones de caña de 0,60 metros (figura 16 a).
  - Se fijó dos columnas a un elemento rígido (figura 16 b).

- Se verificó su verticalidad en ambos sentidos de la columna como se observa en la figura 16 c.
- Se arriostró las columnas con las fracciones de caña atándolas con lazo plástico (figura 16 d).

Figura 16. Armado de panel



Fuente: Sección de Ecomateriales. CII. USAC.

- Dotación de materiales

Se realizó la compra y el transporte de los materiales de construcción, necesarios para la construcción del muro, se compró malla, cemento, arena, pedrín, barras de acero y alambre de amarre.

### 2.7.2. Construcción de cimiento

Se construyó una solera de humedad con una sección de 0,16 X 0,16 metros y 3,0 metros de longitud. A continuación se describe el procedimiento realizado:

- Se realizó el armado
- Se elaboraron los tensores
- Se construyó la formaleta
- Se fijó los tensores y la malla a la armadura
- Se colocó la armadura dentro de la formaleta (figura 17)
- Se realizó la mezcla de concreto
- Se vertió el concreto dentro de la formaleta y se apisonó
- Se desencofró tres días después de la fundición
- Se aplicó agua sobre todo el elemento durante varios días

Figura 17. Construcción de cimiento



Fuente: Sección de Ecomateriales. CII. USAC.

### 2.7.3. Construcción de muro

Se construyó un muro a base de cañas de maíz y ferrocemento de 2,45 metros de longitud, 2,50 metros de altura y 0,16 metros de grosor. Se realizaron las actividades descritas a continuación:

- Anclaje entre paneles (ver figura 18)
  - Se colocó los paneles de forma vertical, estabilizándolos con cuñas.
  - Se amarró con lazo plástico, agarrando la columna derecha de una y la izquierda de la otra.
  - Se realizó 4 amarres distribuidos en toda la altura, siguiendo el mismo procedimiento para cada uno.

Figura 18. Anclaje entre paneles



Fuente: Sección de Ecomateriales. CII. USAC.

- Anclaje de panel a cimiento
  - Se asentó los paneles sobre el cimiento.
  - Se colocó una regla de madera y se amarró definitivamente los tensores verticales, sujetando el panel y la regla (ver figura 19 a).
  - Se realizó el armado de la solera corona.
  - Se acomodó el armado en la parte superior de los paneles y se fijó a los tensores (ver figura 19 b).

Figura 19. Anclaje de paneles a cimiento



Fuente: Sección de Ecomateriales. CII. USAC.

- Aplicación de revestimiento base
  - Se dotó de arcilla:
    - Se extrajo arcilla y se almacenó en cubetas plásticas.
    - Se vertió agua en cada cubeta, para eliminar los grumos.
  - Se preparó la mezcla para el revestimiento base:
    - Se retiró el exceso de agua y se dejó la arcilla líquida.
    - Se tamizó la arcilla y se eliminó los grumos.
    - Se decidió usar una proporción volumétrica 1:2 de arcilla y arena respectivamente.

- Se midió la cantidad en volumen de cada material.
- Se mezcló los materiales hasta que se obtuvo una mezcla homogénea.
- Se realizó 11 masadas siguiendo el procedimiento descrito arriba.
- Se untó la mezcla manualmente, rellenando las aberturas entre cañas de arriostre y paneles (ver figura 20).

Figura 20. **Aplicación de revestimiento base**



Fuente: Sección de Ecomateriales. CII. USAC.

- Aplicación de forjado (ver figura 21)
  - Se eliminaron las pequeñas cantidades de revestimiento base en los tensores, con cepillo de metal.

- Se decidió usar una proporción volumétrica 1:3 de cemento y arena respectivamente.
- Se midió la cantidad en volumen de cada material, se mezcló y aplico agua hasta tener una mezcla muy fluida (figura 21 a).
- Se realizaron tres masadas para cubrir todo el muro de ambos lados y se realizó como se indica en los pasos anteriores.
- Se utilizó mano de obra calificada para la aplicación de la mezcla.

Figura 21. **Aplicación de forjado**

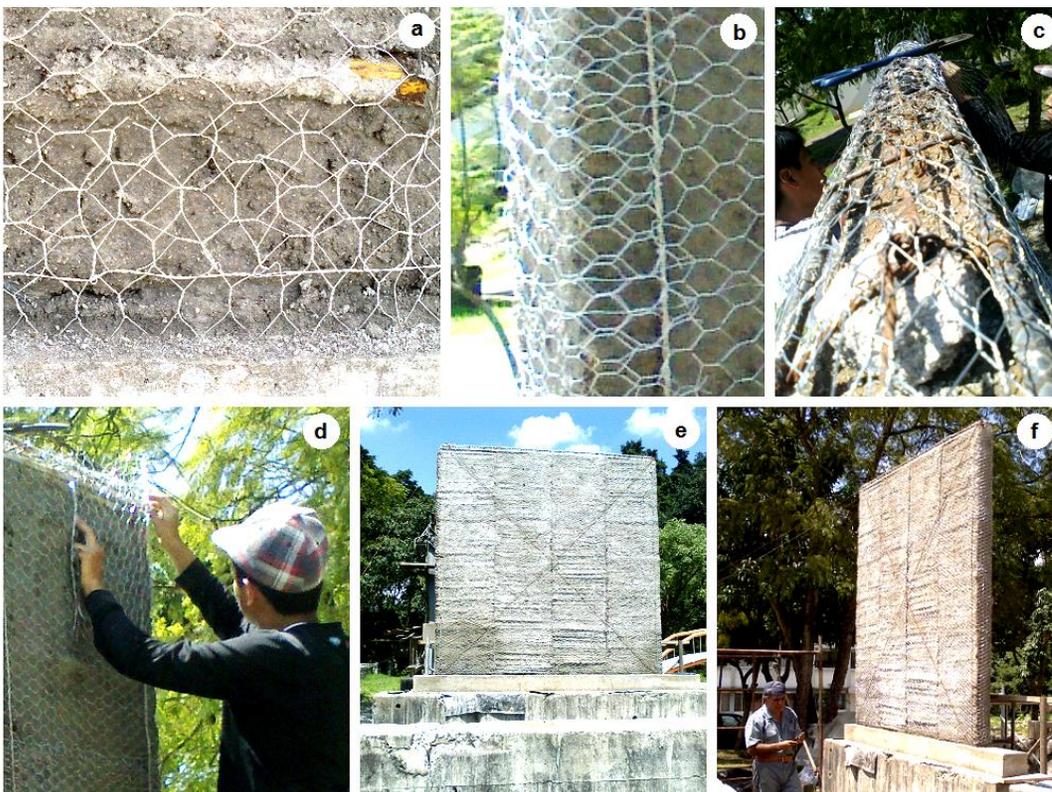


Fuente: Sección de Ecomateriales. CII. USAC.

- Colocación de malla:
  - Se colocó conectores, dispersos sobre toda el área del muro.
  - Se cortó dos pedazos de malla de 5,40 metros de longitud.

- Se envolvió el muro con los pedazos de malla.
- Se ajustó la malla a la superficie del muro con los conectores.
- Se entretejió los traslapes de malla (ver figura 22 a y b).
- Se envolvió el refuerzo de la solera corona (ver figura 22 c).
- Se reforzó la zona de aplicación de carga (ver figura 22 d).
- Se colocó, tensó y amarró los tensores inclinados (figura 22 e y f).

Figura 22. Colocación de malla



Fuente: Sección de Ecomateriales. CII. USAC.

- Aplicación de mortero
  - Se decidió realizar un mortero con proporción volumétrica 1:3 de cemento y arena respectivamente.

- Se midió la cantidad en volumen de cada material, se mezcló y aplico agua hasta tener una mezcla consistente y trabajable.
- Se realizó 14 masadas para cubrir todo el muro de ambos lados.
- Se extrajo pequeñas cantidades mortero y se fundió cubos para ensayo a compresión.
- Se aplicó una primera mano, untada con plancha de madera, penetro la malla hasta la superficie del forjado (figura 23 a y b).
- La segunda capa de mortero se aplicó de manera similar a la primera, esta emparejó la superficie del muro y, cubrió en su totalidad la malla y tensores (figura 23 c y d).
- Se realizó curado con agua durante tres semanas.

Figura 23. **Aplicación de mortero**



Fuente: Sección de Ecomateriales. CII. USAC.

#### 2.7.4. Fundición de solera corona y tallado del muro

Se fundió la solera con una sección de 0,16 X 0,08 metros y se realizó un tallado en los bordes del muro. Se realizó el procedimiento descrito a continuación:

- Fundición (ver figura 24)
  - Se colocó dos tablas como formaleta.
  - Se verificó el ancho y, se niveló horizontal y verticalmente.
  - Se midió la cantidad en volumen de cada material, se mezcló y aplicó agua hasta tener una mezcla consistente y trabajable.
  - Se realizó tres masadas para toda la solera.
  - Se echó la mezcla dentro de la formaleta y se apisonó la mezcla.

Figura 24. Fundición de solera corona



Fuente: Sección de Ecomateriales. CII. USAC.

- Tallado del muro
  - Se colocó pequeñas tablas sobre la superficie del muro, fijadas con abrazaderas de hierro y se niveló.
  - Se preparó mortero y se aplicó en los extremos del muro.

## **2.8. Evaluación de sección de muro**

Se utilizó la Norma ASTM E-564 Método estándar de ensayo de carga estática para la resistencia al corte de paredes enmarcadas para edificios. Este método está diseñado para evaluar la capacidad de esfuerzo cortante estático de una sección típica de un muro en condiciones de cargas simuladas.

### **2.8.1. Preparación del muro para el ensayo de carga**

Para facilitar la observación de la aparición de grietas sobre las caras del muro se aplicó una pintura de cemento. Se realizó con el procedimiento descrito a continuación:

- Se colocó un andamio (ver figura 25 a)
- Se vertió agua en una cubeta
- Se aplicó una pequeña cantidad de cemento
- Se revolvió, hasta obtener una pintura
- Se aplicó con brocha sobre el muro (ver figura 25 b, c, d, e y f)

### **2.8.2. Colocación de equipo de ensayo**

Se realizó la colocación del equipo base de ensayo y sobre de este, el montaje de los instrumentos de medición. También se amarró la solera de humedad al apoyo para evitar un levantamiento.

Figura 25. **Pintado del muro**



Fuente: Sección de Ecomateriales. CII. USAC.

Figura 26. **Preparación de base de respaldo del gato hidráulico**



Fuente: Sección de Ecomateriales. CII. USAC.

- Colocación bases para equipo de ensayo
  - Se colocó una estructura metálica (chapulín) en el extremo de aplicación de carga, esta fue la base de respaldo del gato hidráulico (ver figura 26 a, b, g y h).
  - Se preparó la base del gato hidráulico (ver figura 26 c, d y e).
  - Se amarro el cimientto a la viga de apoyo y se colocó un tope en el otro extremo (ver figura 27 a, b y c).
  - Se colocó dos estructuras metálicas, también un tubo de metal en cada cara del muro (ver figura 27 d y f).
  - Se armó marcos con madera para el montaje de instrumentos de medición (ver figura 27 e).

Figura 27. **Amarre de cimientto, muro y colocación de base**



Fuente: Sección de Ecomateriales. CII. USAC.

- Montaje de instrumentos de medición (ver figura 28)
  - Se colocó el deformómetro 1 en la parte inferior de la aplicación de carga, este midió el levantamiento del cimiento.
  - Se colocó el deformómetro 2 en la esquina opuesta a la aplicación de carga, este midió el desplazamiento del muro por la carga.
  - Se colocó el deformómetro 3 debajo del anterior a  $h/2$ , esta midió el desplazamiento por la carga a  $h/2$ .
  - Se colocó el deformómetro 4 en la parte inferior del muro debajo del anterior, esta midió el desplazamiento por la carga en ese punto.
  - Se colocó el gato hidráulico de 5 toneladas de capacidad con código RC53, en la parte superior del muro.

Figura 28. **Montaje de instrumentos**



Fuente: Sección de Ecomateriales. CII. USAC.

### **2.8.3. Ensayo de carga lateral en el muro**

Se llevó a cabo el ensayo de corte aplicando una fuerza unidireccional en la parte superior del muro y se aplicó en dos ciclos (ver figura 29). El procedimiento de ensayo se describe a continuación:

- Primer ciclo de carga: gato hidráulico código RC53 de 5,0 toneladas
  - Se inició el ensayo.
  - Se aplicó fuerza en una esquina superior del muro en intervalos de 500 libras por pulgada cuadrada.
  - Se tomó lectura de los 4 deformómetros y del esfuerzo en manómetro para cada intervalo.
  - Se marcó las grietas que fueron apareciendo.
  - Se tomó un conjunto de 10 lecturas.
  - Se inició la descarga.
  - Se descargó y, se tomó lectura de deformómetros y esfuerzo en cada intervalo.
  - Se tomó 7 lecturas de desplazamiento en cada disminución de carga.
  - 2 minutos después de la descarga se volvió a tomar lectura de deformómetros.
- Segundo ciclo de carga: gato hidráulico código RC102 de 10,0 toneladas
  - Se inició el ensayo.
  - Se aplicó fuerza en intervalos de 500 libras por pulgada cuadrada.
  - Se tomó lectura de los 5 deformómetros y del esfuerzo en manómetro para cada intervalo.
  - Se marcó las grietas que fueron apareciendo.
  - Se tomó un conjunto de 8 lecturas.
  - Se descargó completamente y se tomó lectura de deformómetros.

Figura 29. **Ensayo de muro**



Fuente: Sección de Ecomateriales. CII. USAC.

### 3. RESULTADOS

#### 3.1. Caracterización de la caña

A continuación se muestran los resultados de las actividades realizadas en la caracterización física y determinación de propiedades mecánicas de la caña de maíz.

##### 3.1.1. Determinación de propiedades mecánicas de la caña

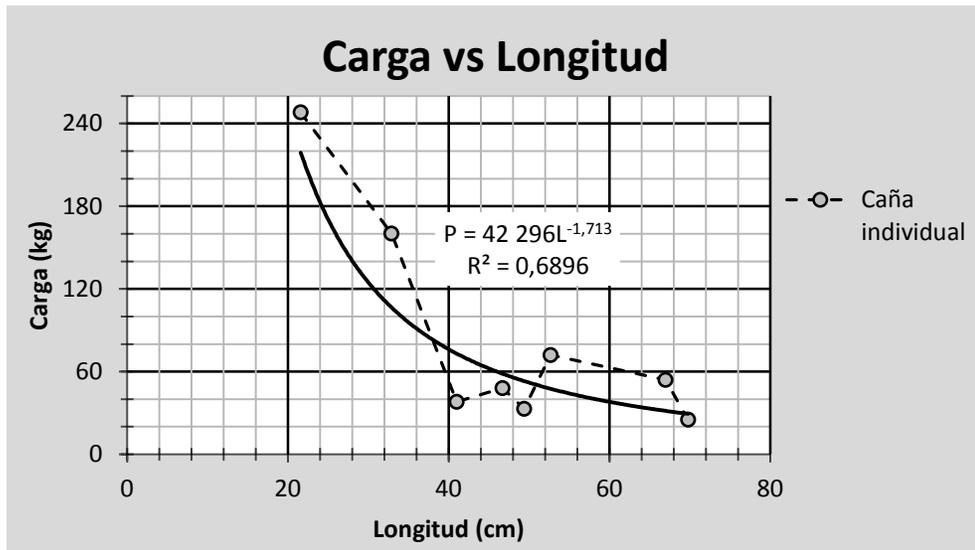
Se determinó la propiedad mecánica bajo carga de compresión de una serie de cañas de maíz variando la longitud (21,6 – 69,8 cm) y los resultados se pueden ver en la tabla V.

Tabla V. **Resultados de ensayo a compresión de caña de maíz**

No.	P.L. (g/cm)	$\varnothing$ prom. (cm)	$L_e$ prom. (cm)	A (cm <sup>2</sup> )	I (cm <sup>4</sup> )	r (cm)	$\lambda$ (cm/cm)	$\sigma_c$ (kg/cm <sup>2</sup> )
1	0,559	1,703	11,0	2,279	0,413	0,426	50,7	108,8
2	0,450	1,833	17,0	2,640	0,555	0,458	71,8	60,6
3	0,361	1,705	20,5	2,283	0,415	0,426	96,2	16,6
4	0,262	1,480	23,5	1,720	0,236	0,370	126,2	27,9
5	0,348	1,560	16,7	1,911	0,291	0,390	126,7	17,3
6	0,430	1,657	17,7	2,156	0,370	0,414	127,2	33,4
7	0,347	1,710	22,5	2,297	0,420	0,428	156,7	23,5
8	0,405	1,703	23,3	2,279	0,413	0,426	163,9	11,0
Prom.	0,304	1,669	19,0	2,196	0,389	0,417	- - -	- - -

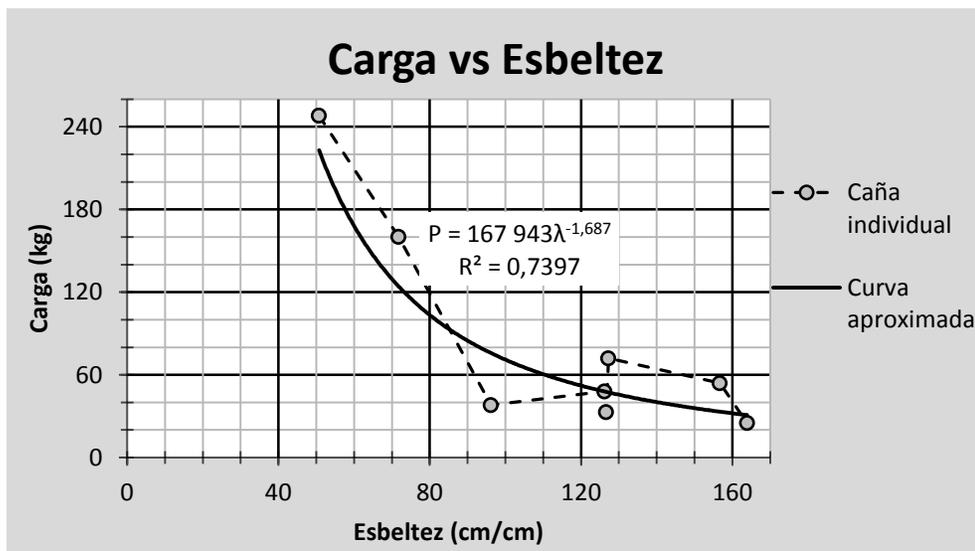
Fuente: elaboración propia.

Figura 30. **Gráfica de carga versus longitud – ensayo de caña individual**



Fuente: elaboración propia.

Figura 31. **Gráfica de carga versus esbeltez – ensayo de caña individual**



Fuente: elaboración propia.

### **3.1.2. Características física – descripción de la caña**

El color de la caña en general es el dorado-amarillo y generalmente presenta manchas hasta de color negro, se cree que depende de los factores biológicos de la caña, también que las características de la caña pueden variar dependiendo del tiempo de semilla, del tipo de suelo y de las condiciones topográficas y climáticas del lugar donde la caña crece.

La caña está constituida por nudos y entrenudos, la longitud entre nudos puede variar entre 10,0 hasta 27,0 centímetros, y en la parte inferior los entrenudos se hacen más cortos y lo contrario sucede en la parte superior. El diámetro de la caña varía entre 13,5 hasta 20,0 milímetros y va disminuyendo a medida que se aleja de la raíz. Se piensa que puede ser utilizados segmentos de caña que van de 0,80 hasta 1,20 metros, ya que, para estos segmentos de caña las variaciones en los diámetros son significativas.

La parte externa de la caña es una capa dura, tiene un espesor que varía entre 1,5 a 3,0 milímetros, la parte interna aparentemente constituye una celulosa y está formado por fibras muy finas que deben estar unidas por algún adhesivo natural que le da una resistencia a la tensión considerable, aunque la resistencia al cortante es muy baja y sus fallas por cortante son muy frágiles. Se considera que la parte que da una característica mecánica de resistencia a la caña es la capa externa y la inercia de la forma de la sección.

El núcleo es una hemicelulosa que contiene fibras finas de menos de 1,0 milímetro, forma la mayor parte de la caña, ya que, cubre casi todo el diámetro interno de la capa exterior; aparentemente contiene los nutrientes de la parte viva de la caña, también es muy susceptible a pudrición y de ataque de insectos, más que las otras partes.

Se ha notado en el campo y las personas han comentado que si la caña se protege de las condiciones del clima y lluvia esta fácilmente puede durar hasta 5 años sin tratamiento. Se cree que las cañas son muy susceptibles de deterioro ya sea por insectos o por pudrición, sobre todo cuando no está protegido de la lluvia. Se ha encontrado en algunas cañas unos insectos conocidos como tijeretas aunque no en abundancia.

### 3.2. De pruebas previas

Se presenta los resultados obtenidos en cada ensayo preliminar. Estos fueron utilizados para el apoyo y orientación del diseño del elemento constructivo.

#### 3.2.1. Resistencia a compresión paquete de cañas

Al comparar la carga teórica utilizando la ecuación de la figura 30 (23,24 kg) y el promedio de carga por caña (21,1 kg) se observa que son muy similares.

Tabla VI. Comparación de carga teórica y experimental

No.	NC	P <sub>t</sub> (L) (kg)	P <sub>t</sub> (λ) (kg)	P <sub>c</sub> (kg)	Diferencia (kg)	
					P <sub>t</sub> (L) - P <sub>c</sub>	P <sub>t</sub> (λ) - P <sub>c</sub>
1	2	46,5	36,7	50	- 3,5	- 13,3
2	4	93,0	110,3	80	+ 13,0	+ 30,3
3	9	209,2	167,1	150	+ 59,2	+ 17,1
4	16	371,9	337,3	366	+ 5,9	- 28,7

NC: Número de cañas en la sección  
P<sub>t</sub> (L): Carga teórica en función de la longitud  
P<sub>t</sub> (λ): Carga teórica en función de la esbeltez

P<sub>c</sub>: Carga última  
(-): Carga faltante  
(+): Carga excesiva

Fuente: elaboración propia.

Tabla VII. **Resultados de ensayo a compresión de paquete de cañas**

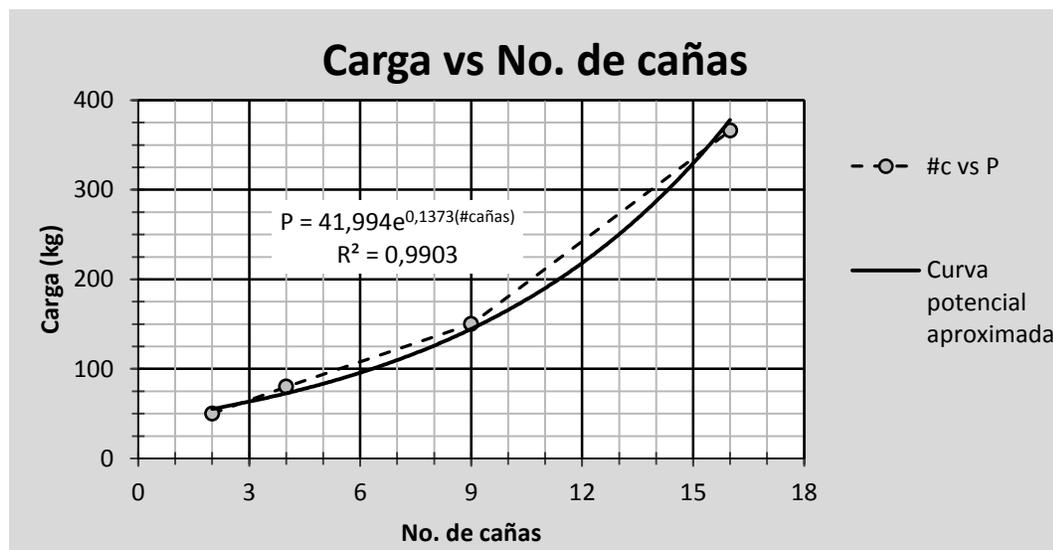
No.	$L_{prom.}$ (cm)	A (cm <sup>2</sup> )	I (cm <sup>3</sup> )	r (cm)	$\lambda$ (cm/cm)	$P_{cc}$ (kg)	$\sigma_c$ (kg/cm <sup>2</sup> )
1	3,75	7,0	2,1	0,541	147,8	25,0	7,11
2	3,60	13,0	14,0	1,039	77,0	20,0	6,17
3	4,60	21,2	37,3	1,328	60,2	16,7	7,09
4	6,98	48,7	197,2	2,014	39,7	22,9	7,52

No.: Número de probeta  
 $L_{prom.}$ : Promedio de la longitud del lado  
 A: Área de la sección  
 I: Inercia de la sección

r: Radio de giro de la sección  
 $\lambda$ : Esbeltez de la probeta  
 $P_{cc}$ : Carga por cada caña  
 $\sigma_c$ : Esfuerzo a compresión

Fuente: elaboración propia.

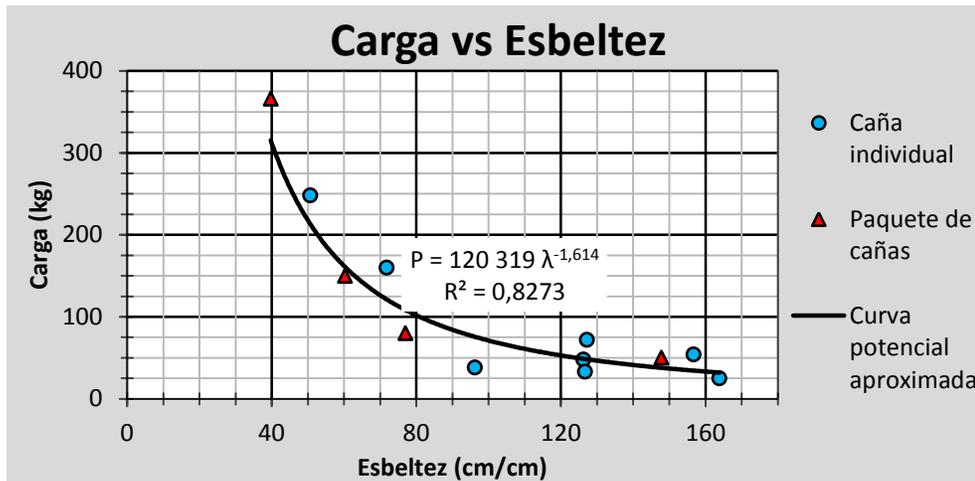
Figura 32. **Gráfica de carga versus número de cañas**



Fuente: elaboración propia.

Se observa en la gráfica de la figura 33 que el comportamiento de la relación carga y esbeltez es muy similar a la gráfica de la figura 31.

Figura 33. **Gráfica de carga versus esbeltez – general (CI+PC)**

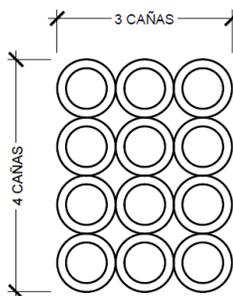


Fuente: elaboración propia.

### 3.2.2. Resistencia a compresión de columna

Se evaluó la resistencia a compresión, para ello se realizó en dos ciclos de carga, en el primero se obligó a pandearse en el sentido de mayor inercia, en el segundo como naturalmente sucedería.

Figura 34. **Sección de columna de cañas**



Fuente: elaboración propia.

Tabla VIII. **Resultado de características físicas de columna**

Descripción	Valor
Base	6,67 cm
Altura	8,17 cm
Longitud	239,97 cm
Área	54,44 cm <sup>2</sup>
Inercia x-x	302,60 cm <sup>4</sup>
Inercia y-y	201,65 cm <sup>4</sup>
Radio de giro x-x	2,36 cm
Radio de giro y-y	1,92 cm
Esbeltez x-x	101,80
Esbeltez y-y	124,70

Fuente: elaboración propia.

En la tabla VIII se presentan las características físicas de la columna de cañas, las tablas IX y X contiene los resultados del primer y segundo ciclo de carga respectivamente.

Tabla IX. **Resultados del 1er. ciclo, ensayo a compresión de columna**

No.	Deflexión (cm)		def. (cm)	$\epsilon$ (10 <sup>-3</sup> )	P (kg)	$\sigma_c$ (kg/cm <sup>2</sup> )
	3 cañas	4 cañas				
1	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2	0,20	0,10	0,12	0,52	22,45	0,41
3	0,80	0,30	0,23	0,94	44,91	0,82
4	4,20	0,60	0,58	2,40	67,36	1,24

def.: Deformación longitudinal  
 $\epsilon$ : Deformación unitaria

P: Carga aplicada  
 $\sigma_c$ : Esfuerzo a compresión

Fuente: elaboración propia.

Tabla X. Resultados del 2do. ciclo, ensayo a compresión de columna

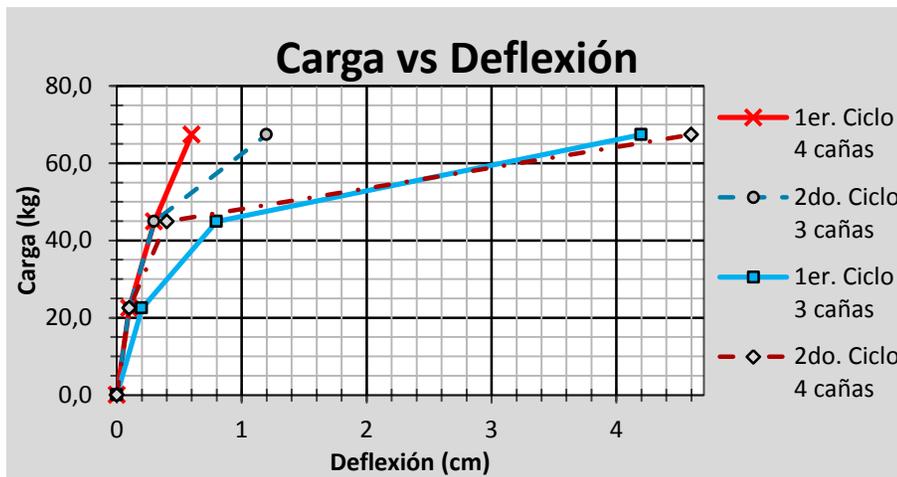
No.	Deflexión		def. (cm)	$\epsilon$ ( $10^{-3}$ )	P (kg)	$\sigma_c$ (kg/cm <sup>2</sup> )
	3 cañas	4 cañas				
1	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2	0,10	0,10	0,13	0,52	22,45	0,41
3	0,30	0,40	0,30	1,25	44,91	0,82
4	0,70	1,80	0,40	1,67	67,36	1,24
5 <sup>1</sup>	1,20	4,60	0,62	2,60	67,36	1,24
6	0,40	1,60	0,30	1,25	0,00	0,00

def.: Deformación longitudinal  
 $\epsilon$ : Deformación unitaria  
 P: Carga aplicada

$\sigma_c$ : Esfuerzo a compresión  
 1: En este intervalo la carga se mantuvo por algunos minutos, luego se descargó.

Fuente: elaboración propia.

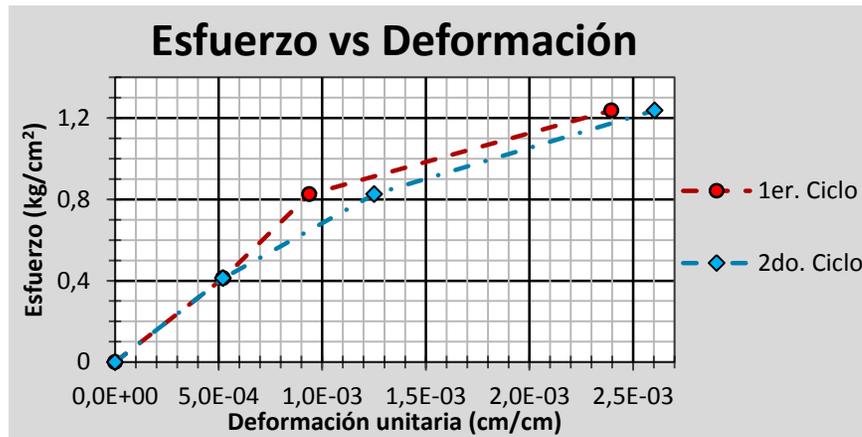
Figura 35. Gráfica de carga *versus* deflexión – ensayo de columna



Fuente: elaboración propia.

La carga teórica calculada con la ecuación en la figura 33, es de 69,16 kilogramos. El módulo elástico aproximado es 748,5 kilogramos por centímetro cuadrado y la carga crítica es de 38,8 kilogramos.

Figura 36. **Gráfica de esfuerzo versus deformación–ensayo de columna**



Fuente: elaboración propia.

### 3.2.3. Resistencia a tensión de tensores

Se determinó el esfuerzo a tensión de una serie de tensores variando la cantidad de hilos de alambre de amarre. La tabla XI presenta los resultados de carga máxima y de ruptura de todos los tensores.

Tabla XI. **Resultados de ensayo a tensión de tensores**

No. Tensor	# de hilos	P <sub>máx.</sub> (kg)	P <sub>r.</sub> (kg)
1	1	68	- - -
2	2	159	- - -
3	3	200	175
4	4	244	215
5	5	300	265
6	6	400	370

Fuente: elaboración propia.

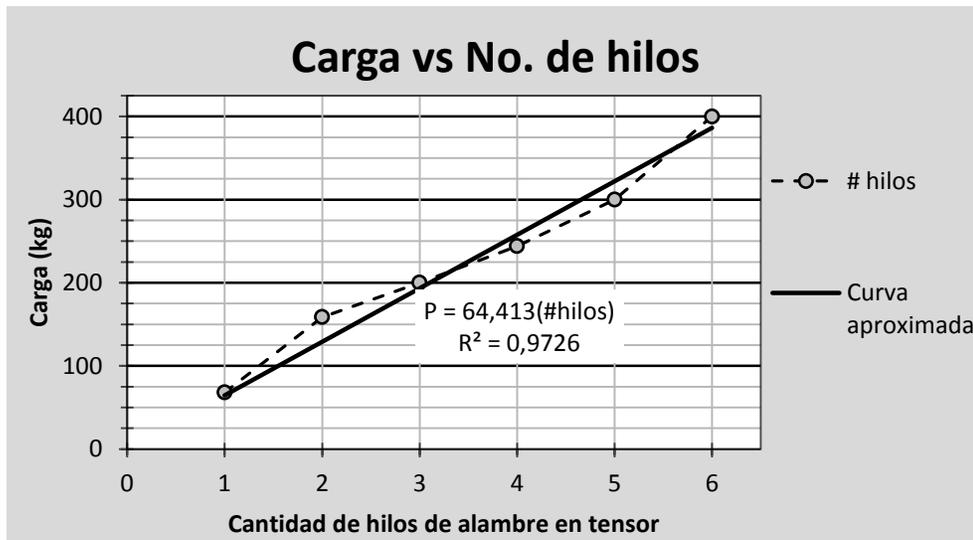
Tabla XII. Resultados de resistencia a tensión – tensor No. 4

Tensor No. 4			
No.	$\sigma$ (kg/cm <sup>2</sup> )	$\epsilon^1$ (cm/cm)	$\epsilon^2$ (cm/cm)
1	0,0	0,000	0,000
2	584,6	0,006	0,005
3	1169,2	0,008	0,010
4	1753,8	0,012	0,015
5	2338,4	0,016	0,020
6	2852,8	0,028	0,028
7	2513,7	0,046	0,040

$\sigma$ : Esfuerzo  
 $\epsilon$ : Deformación unitaria  
 1: Zona de medición de 50 cm  
 2: Zona de medición de 20 cm

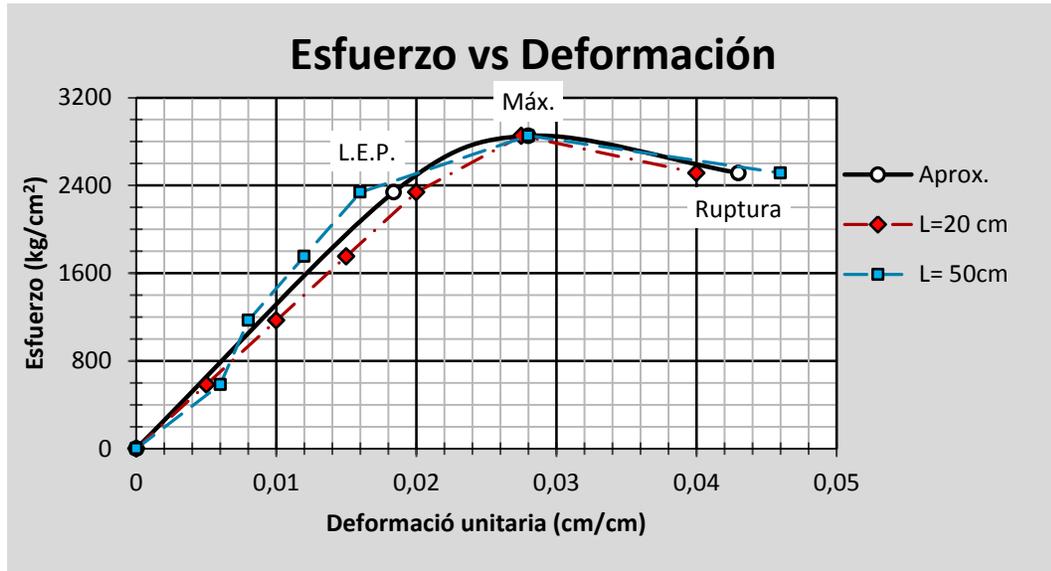
Fuente: elaboración propia.

Figura 37. Gráfica de carga *versus* cantidad de hilos en tensor



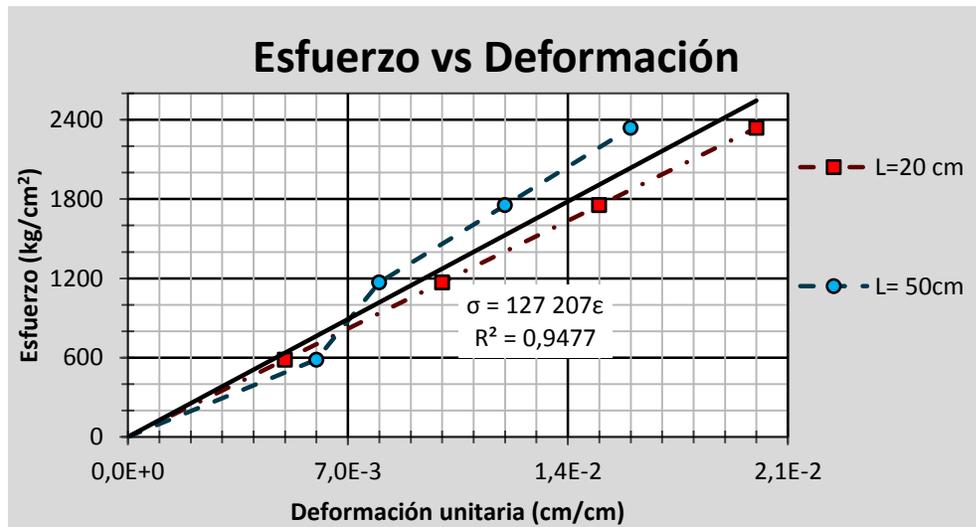
Fuente: elaboración propia.

Figura 38. Gráfica de esfuerzo *versus* deformación – tensor 4



Fuente: elaboración propia.

Figura 39. Gráfica de esfuerzo *versus* deformación – zona elástica



Fuente: elaboración propia.

### 3.2.4. Resistencia a tensión de briquetas

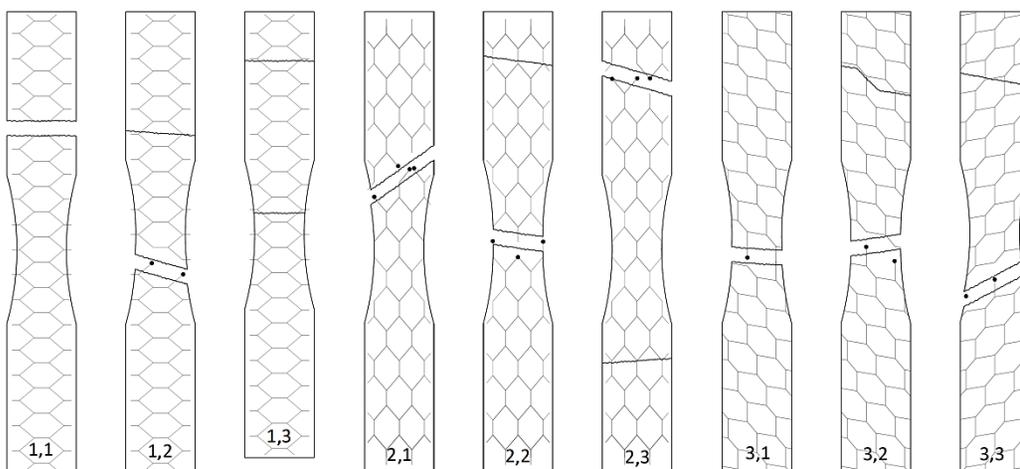
Se evaluó la resistencia a tensión de una serie de briquetas de mortero reforzada con malla variando la posición del entorchado. Las características iguales a las utilizadas en la construcción del muro.

Tabla XIII. **Ensayo a tensión de briquetas – refuerzo simple**

Entorchado horizontal			Entorchado vertical			Entorchado inclinado		
No.	$P_u$ (kg)	$\sigma_t$ (kg/cm <sup>2</sup> )	No.	$P_u$ (kg)	$\sigma_t$ (kg/cm <sup>2</sup> )	No.	$P_u$ (kg)	$\sigma_t$ (kg/cm <sup>2</sup> )
1,1	30,0	2,24	2,1	110,0	8,20	3,1	40,0	3,00
1,2	50,0	3,80	2,2	80,0	5,89	3,2	60,0	4,62
1,3	130,0	9,94	2,3	147,5	11,18	3,3	60,0	4,51
Prom.	70,0	5,33	Prom.	113,0	8,42	Prom.	53,0	4,04

Fuente: elaboración propia.

Figura 40. **Ubicación de fallas en briquetas – refuerzo simple**



Fuente: elaboración propia.

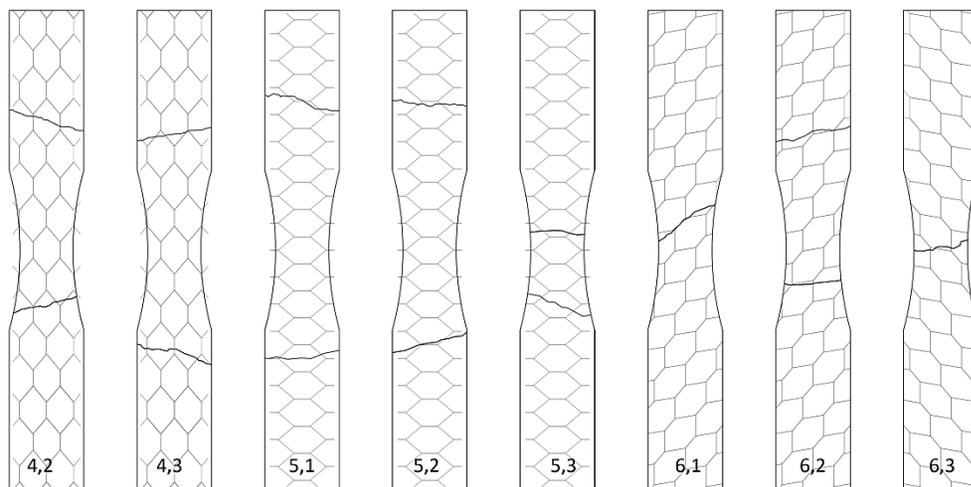
La resistencia a compresión del mortero utilizado para la construcción de las briquetas es de 126,5 kilogramo por centímetro cuadrado. Para cada muestra se tiene esfuerzos a compresión (en kg/cm<sup>2</sup>) de 166,7 (1,2), 103,9 (2,2), 56,9 (3,2), 137,6 (4,2), 125,5 (5,2) y 168,0 (6,2).

Tabla XIV. **Ensayo a tensión de briquetas – refuerzo doble**

Entorchado vertical			Entorchado horizontal			Entorchado inclinado		
No.	P (kg)	$\sigma_t$ (kg/cm <sup>2</sup> )	No.	P (kg)	$\sigma_t$ (kg/cm <sup>2</sup> )	No.	P (kg)	$\sigma_t$ (kg/cm <sup>2</sup> )
4,1	---	---	5,1	150,0	11,48	6,1	75,0	5,68
4,2	185,0	14,02	5,2	135,0	10,13	6,2	165,0	12,33
4,3	225,0	17,26	5,3	60,0	4,53	6,3	120,0	9,18
Prom.	205,0	15,64	Prom.	115,0	8,71	Prom.	120,0	9,07

Fuente: elaboración propia.

Figura 41. **Ubicación de fallas en briquetas – refuerzo doble**

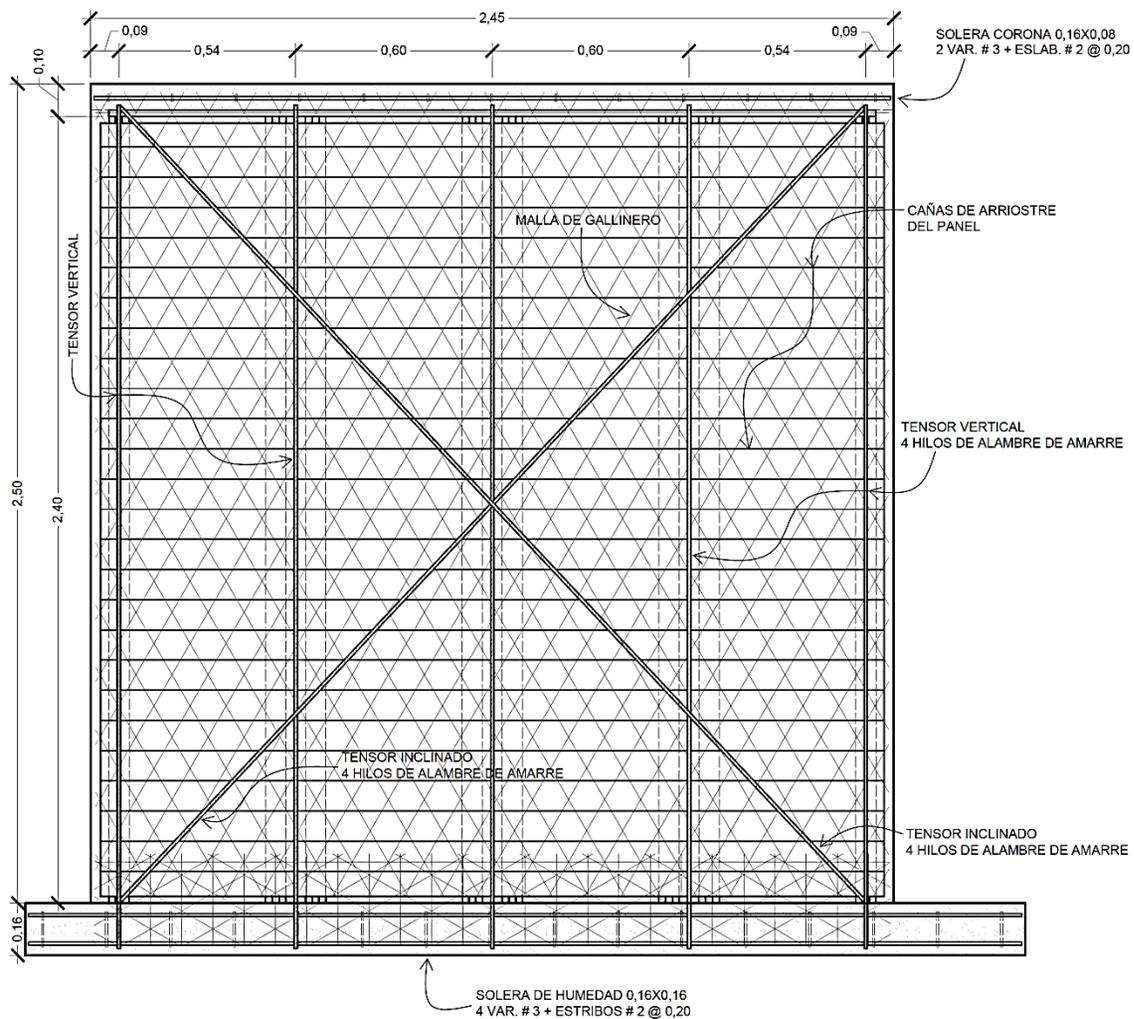


Fuente: elaboración propia.

### 3.3. Estructura y características de los componentes del muro

En la figura 42 y 43 se muestra la ubicación de los componentes del muro. Los tensores (torones) están compuestos por 4 hilos de alambre de amarre con una resistencia máxima a tensión de 2 852,8 kilogramos por centímetro cuadrado.

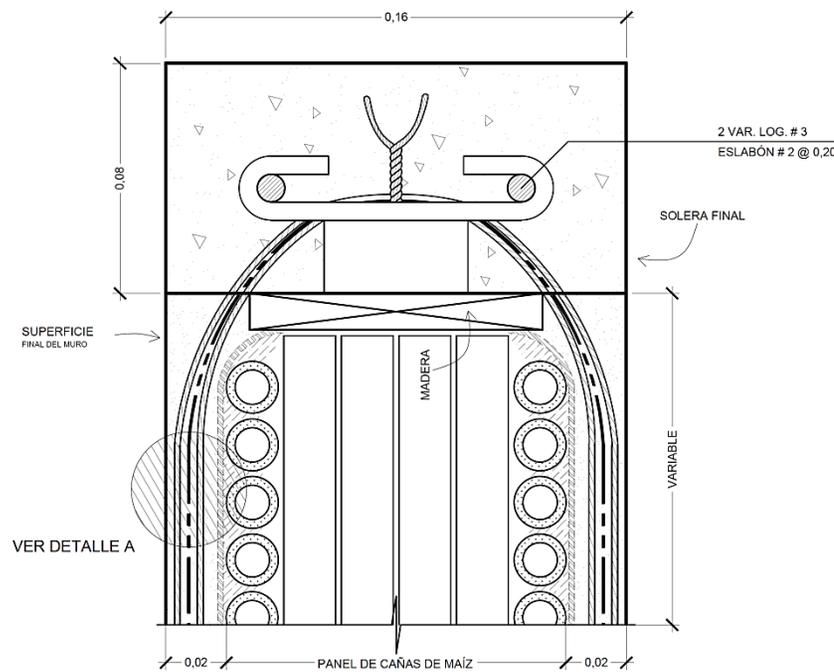
Figura 42. Esquema de componentes del muro



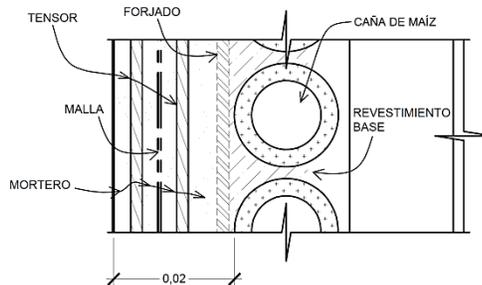
Fuente: elaboración propia.

La malla tejida cincada (malla de gallinero), 1,75 metros de altura y 25,0 milímetros de abertura; el alambre es de calibre 22 de alta resistencia (8 620,7 kg/cm<sup>2</sup>). El mortero de cemento y arena con proporción volumétrica 1:3 y resistencia a compresión de 133,0 kilogramos por centímetro cuadrado.

Figura 43. Detalles de la estructura del muro



**SECCIÓN SUPERIOR DE MURO**



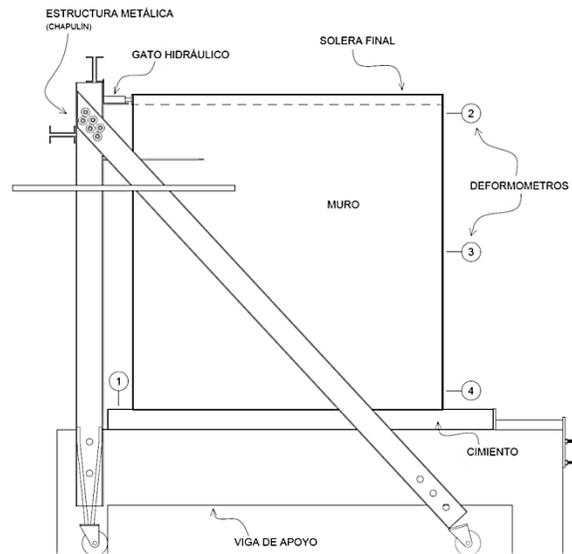
**DETALLE A**

Fuente: elaboración propia.

### 3.4. Resistencia a corte de muro

Se aplicó una fuerza unidireccional en la parte superior del muro y se midieron los desplazamientos como se muestra en la figura 44. Se realizaron dos ciclos de carga.

Figura 44. Esquema de ensayo de muro



Fuente: elaboración propia.

Tabla XV. Distribución del peso del muro

Descripción	$\omega$ (kg)	$\omega_m$ (kg)
Cimiento	169,0	
Muro	628,0	885,0
Solera corona	88,0	

Fuente: elaboración propia.

Tabla XVI. **Resultados de ensayo de muro – 1er. ciclo, carga**

No. de lectura	P (Kg)	Desp. 1 (mm)	Desp. 2 (mm)	Desp. 3 (mm)	Desp. 4 (mm)
1	0,0	0,000	0,000	0,000	0,000
2	224,5	0,000	0,050	0,013	0,000
3	449,1	0,010	0,090	0,063	0,000
4	673,6	0,035	0,150	0,152	0,000
5	898,1	0,070	0,290	0,241	0,000
6	1122,6	0,095	0,360	0,318	0,000
7	1347,2	0,115	0,500	0,419	0,000
8	1571,7	0,145	0,700	0,610	0,000
9	1796,2	0,180	0,890	0,787	0,000
10	2020,8	0,215	1,140	1,054	0,000
11	2245,3	0,260	1,460	1,372	0,240

Desp.: Desplazamiento

Fuente: elaboración propia.

Tabla XVII. **Resultados de ensayo de muro – 1er. ciclo, descarga**

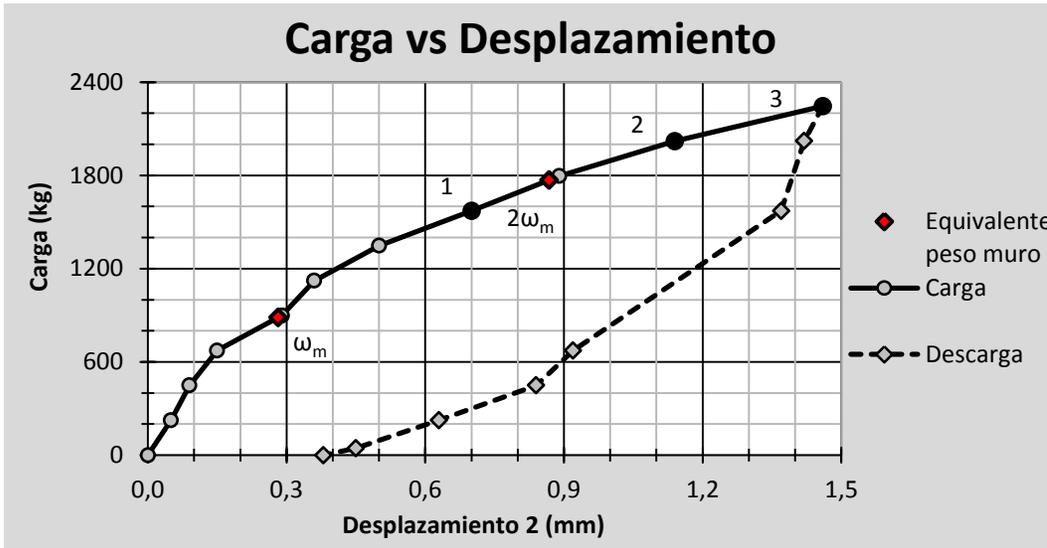
No. de lectura	P (Kg)	Desp. 1 (mm)	Desp. 2 (mm)	Desp. 3 (mm)	Desp. 4 (mm)
1	2020,8	0,260	1,420	1,384	0,240
2	1571,7	0,240	1,370	1,308	0,220
3	673,6	0,160	0,920	0,914	0,140
4	449,1	0,150	0,840	0,851	0,140
5	224,5	0,135	0,630	0,749	0,110
6	44,9	0,120	0,450	0,648	0,110
7	0,0	0,110	0,380	0,610	0,110
8 <sup>1</sup>	0,0	0,110	0,380	0,597	0,000

Desp.: Desplazamiento

1: Se tomó la lectura dos minutos después de la descarga total.

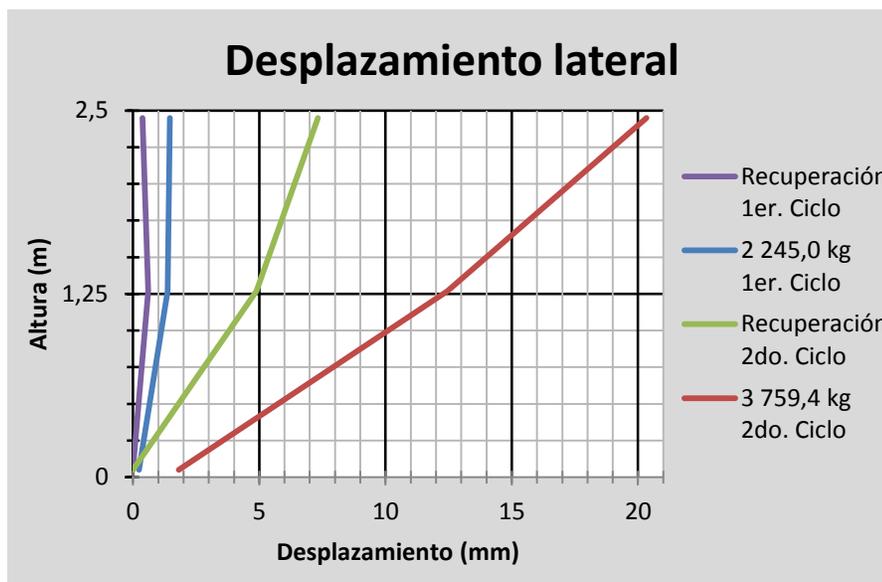
Fuente: elaboración propia.

Figura 45. Gráfica de carga versus desplazamiento – 1er. ciclo, muro



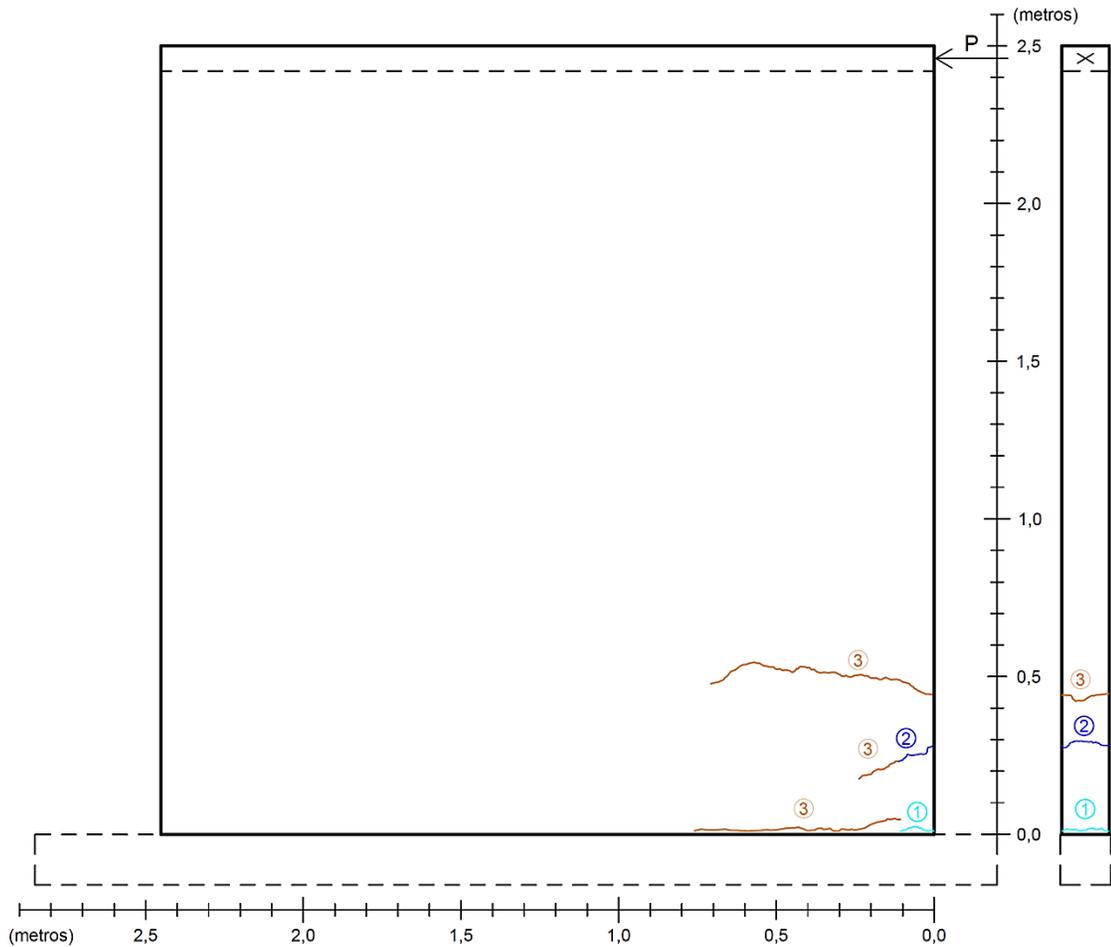
Fuente: elaboración propia.

Figura 46. Desplazamiento por fuerza última – ambos ciclos



Fuente: elaboración propia.

Figura 47. 1er. ciclo de ensayo de muro – esquema de fallas, izquierdo



**FALLAS - 1ER. CICLO DE CARGA**

NOTA:

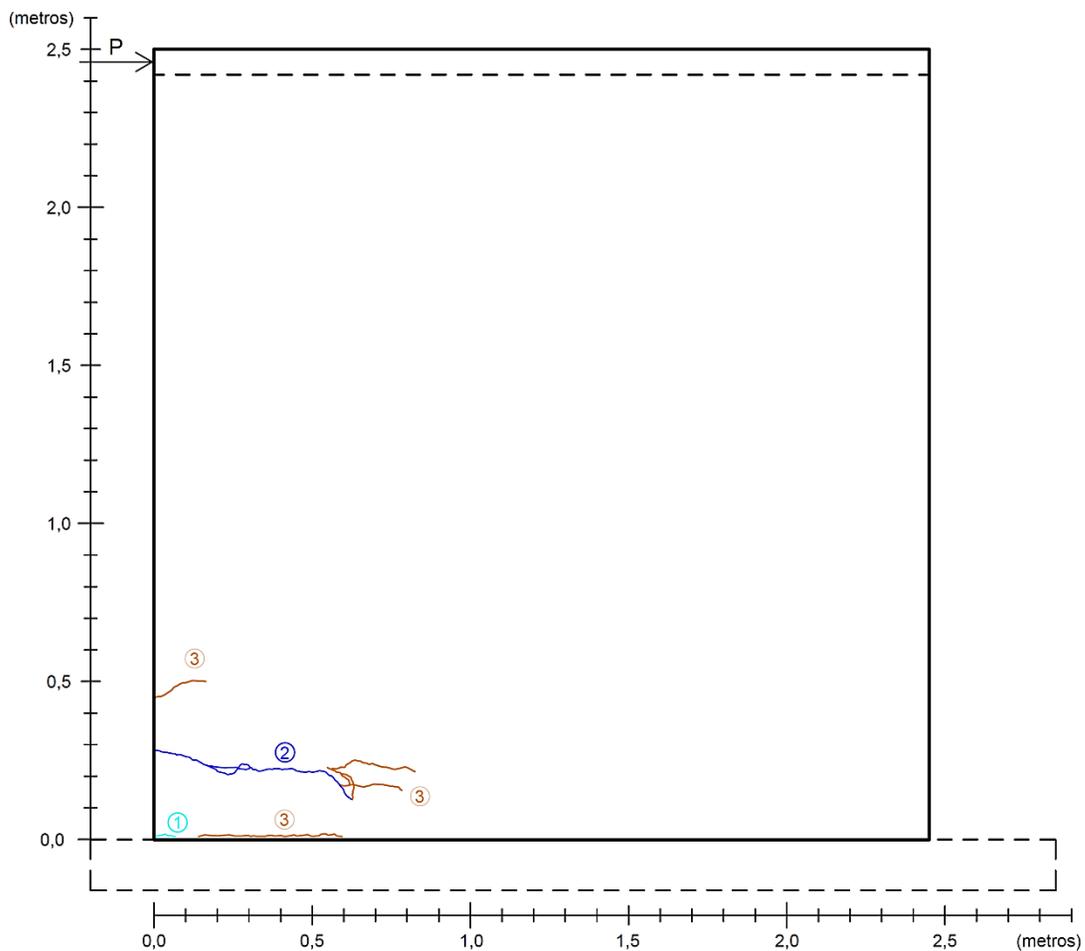
- ① 1A. GRIETA (1 572 Kg)
- ② 2A. GRIETA (2 021 Kg)
- ③ 3A. GRIETA (2 245 Kg)

Fuente: elaboración propia.

El esquema de la figura 47, muestra las fallas provocadas por la simulación unidireccional de la fuerza sísmica, en la superficie izquierda del muro, paralela a la dirección de carga; y la superficie donde se aplicó la fuerza. También en la superficie derecha como se observa en la figura 48.

Existió un desplazamiento, en la parte superior y en dirección de la aplicación de la fuerza, de 0,70 milímetros cuando apareció la primera grieta, 1,14 milímetros para la segunda y 1,46 milímetros en la tercera; la abertura de grietas fue de menos de 1,0 milímetro.

Figura 48. 1er. ciclo de ensayo de muro – esquema de fallas, derecha



**FALLAS - 1ER. CICLO DE CARGA**

NOTA:

- ① 1A. GRIETA (1 572 Kg)
- ② 2A. GRIETA (2 021 Kg)
- ③ 3A. GRIETA (2 245 Kg)

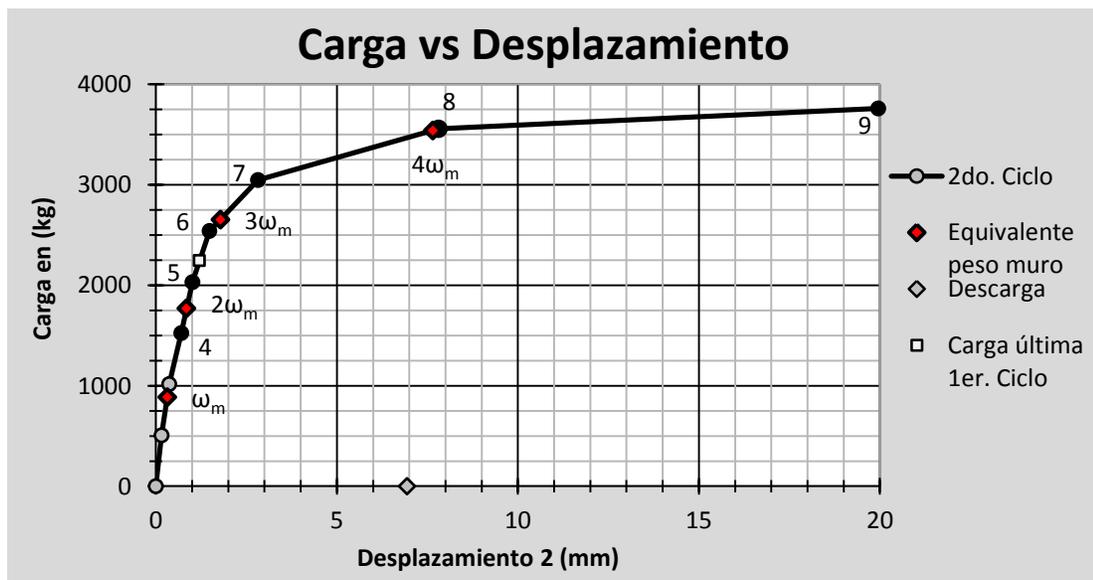
Fuente: elaboración propia.

Tabla XVIII. Resultados de ensayo de muro – 2do. ciclo carga

No. de lectura	P (Kg)	Desp. 1 (mm)	Desp. 2 (mm)	Desp. 3 (mm)	Desp. 4 (mm)
1	0,00	0,000	0,000	0,000	0,000
2	508,02	0,005	0,160	0,114	0,100
3	1016,05	0,030	0,370	0,279	0,100
4	1524,07	0,065	0,700	0,521	0,140
5	2032,09	0,115	1,010	0,775	0,150
6	2540,12	0,200	1,480	1,143	0,150
7	3048,14	0,295	2,820	2,337	0,570
8	3556,16	0,415	7,810	5,461	1,120
9	3759,37	0,370	19,950	11,862	1,810
10	0,00	0,000	6,940	4,293	0,000

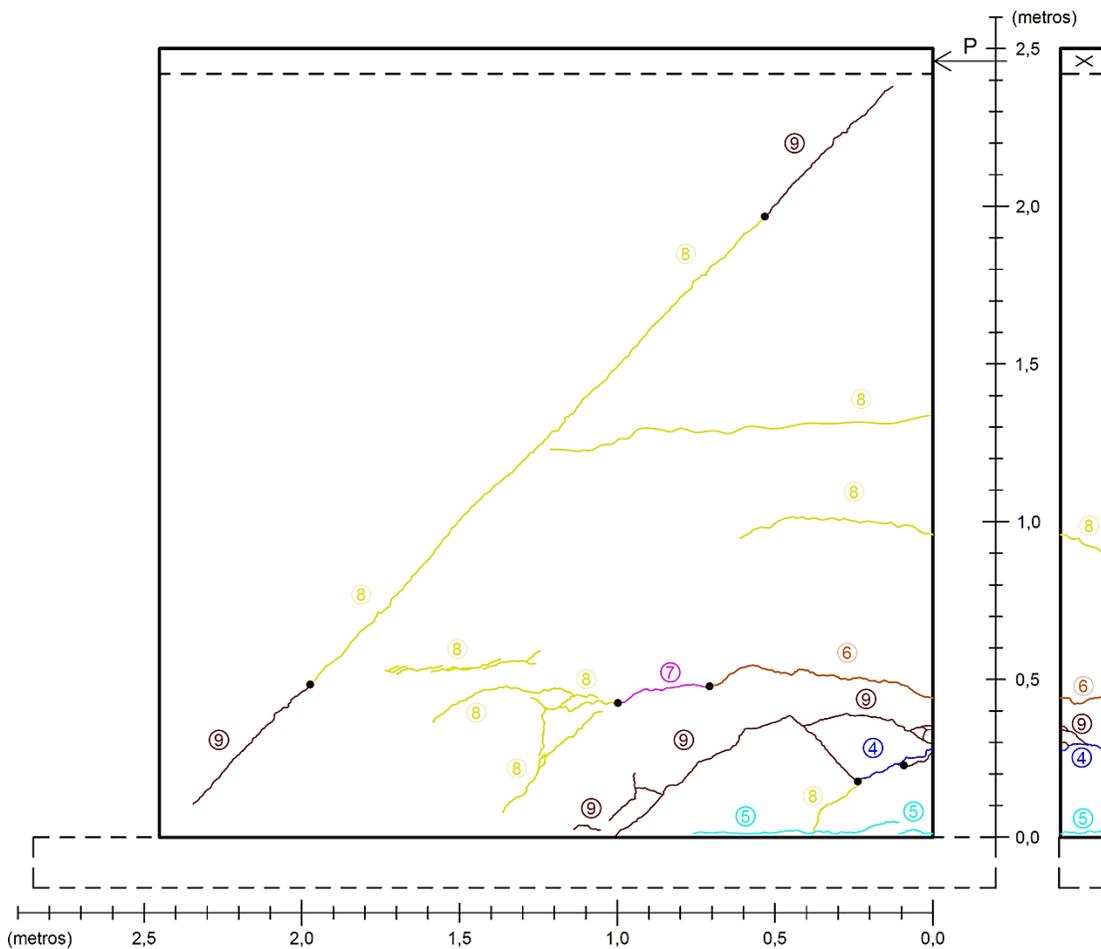
Fuente: elaboración propia.

Figura 49. Gráfica de carga versus desplazamiento – 2do. ciclo, muro



Fuente: elaboración propia.

Figura 50. 2do. ciclo de ensayo de muro – esquema de fallas, izquierdo



**FALLAS - 2Do. CICLO DE CARGA**

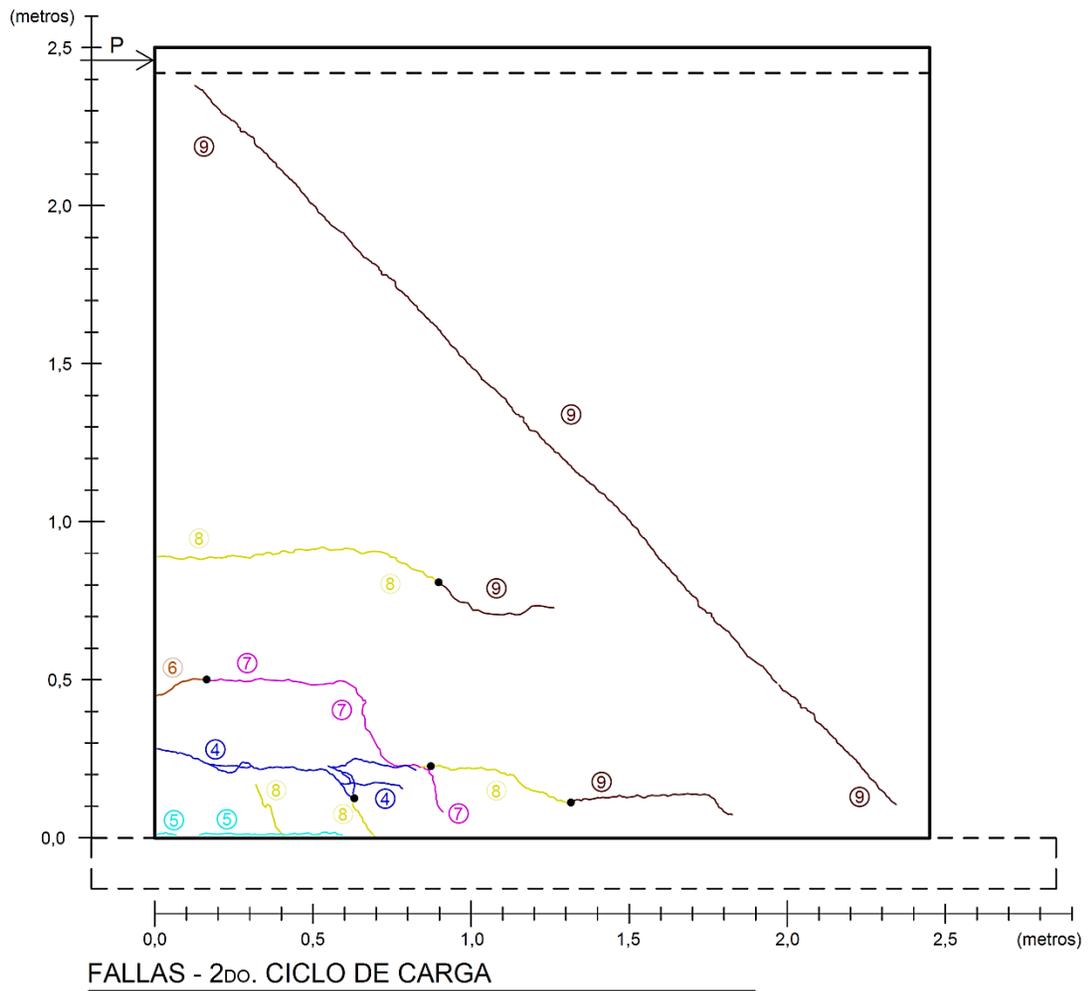
- NOTA:
- ④ REPARACIÓN DE GRIETAS (1 524 Kg)
  - ⑤ REPARACIÓN DE GRIETAS (2 032 Kg)
  - ⑥ REPARACIÓN DE GRIETAS (2 540 Kg)
  - ⑦ 4A. GRIETA (3 048 Kg)
  - ⑧ 5A. GRIETA (3 556 Kg)
  - ⑨ 6A. GRIETA (3 759 Kg)

Fuente: elaboración propia.

En la figura 50, la grieta con abertura mas significativa fue la 6ª grieta en el primer tramo, seguida por 3ª grieta (6), 2ª grieta (4), 1ª grieta (5) y 5ª grieta (8).

En la figura 51, la grieta con abertura mas significativa fue la 2ª grieta y la 5ª grieta . El resto de las grietas anda en menos de 2,0 milímetros de abertura.

Figura 51. 2do. ciclo de ensayo de muro – esquema de fallas, derecho

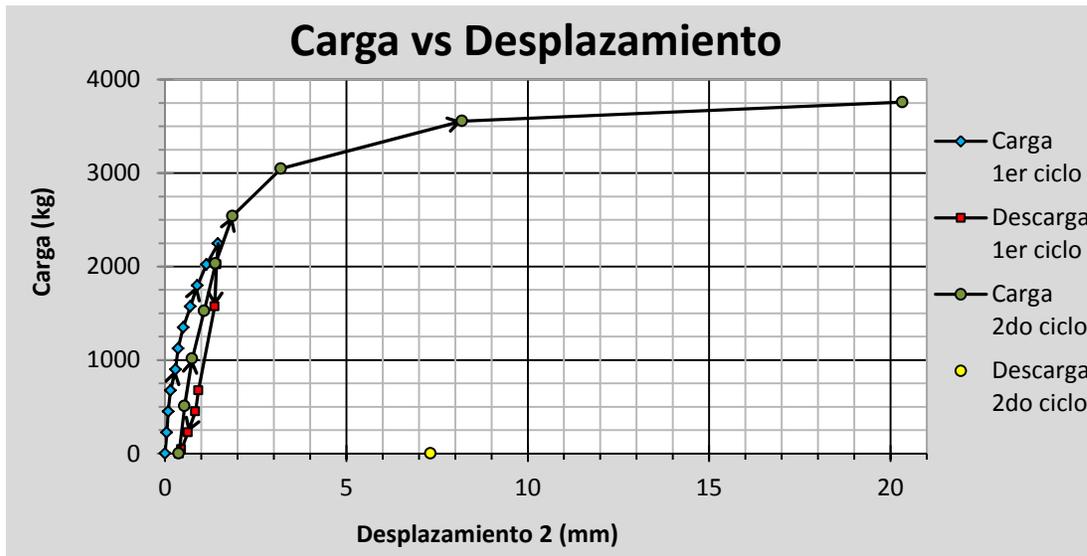


NOTA:

- ④ REPARACIÓN DE GRIETAS (1 524 Kg)
- ⑤ REPARACIÓN DE GRIETAS (2 032 Kg)
- ⑥ REPARACIÓN DE GRIETAS (2 540 Kg)
- ⑦ 4A. GRIETA (3 048 Kg)
- ⑧ 5A. GRIETA (3 556 Kg)
- ⑨ 6A. GRIETA (3 759 Kg)

Fuente: elaboración propia.

Figura 52. Gráfica de carga *versus* desplazamiento – muro ambos ciclos



Fuente: elaboración propia.

Según la Norma ASTM 564, se determinó la resistencia al corte final,  $S_u$ , y la rigidez a corte,  $G'$ , del muro.

$$S_u = 1\,534,4 \text{ kg/m}$$

$$G' = 1\,740,3 \text{ kg/cm}$$

## 4. ANÁLISIS DE RESULTADOS

### 4.1. Características del recurso

Las características físicas de las cañas de maíz son muy variadas, no posee un tallo uniforme, existe muchas variaciones en: diámetro, longitud entre nudos y peso, como se observa en la tabla V. se supone que esta variación es debido al tipo de semilla, condiciones del suelo y clima.

A simple vista se observa que la pared exterior de la caña tiene un buen comportamiento mecánico bajo cargas de tensión y compresión, pero muy poca capacidad a la resistencia de corte.

En los ensayos a compresión se observa que en elementos cortos la pared de la caña fallo por separación de la cáscara, ya que, al expandirse en sentido perpendicular esta se separa en varias fracciones y, en elementos largos por pandeo y falla local próximo a un entrenudo.

En la figura 30, la gráfica muestra que al aumentar longitud de la caña disminuye la capacidad de resistir carga a compresión; la distribución de los datos posee una tendencia potencial con una aproximación del 69 por ciento.

La ecuación generada por la curva aproximada (figura 30) es para determinar la carga teórica en función de la longitud, este resultado es únicamente para una unidad de caña; para obtener la carga para una sección con varias cañas, primero se determina la carga con la ecuación y el resultado se multiplica por la cantidad de cañas.

La gráfica de la figura 31, muestra un comportamiento más completo, ya que la esbeltez incorpora variables de la forma de la sección y la longitud; la distribución de los datos posee una tendencia potencial con una aproximación del 74 por ciento. La ecuación generada por la curva aproximada es para determinar la carga teórica en función de la esbeltez; para obtener la carga una sección con varias cañas se debe determina las dimensiones aproximadas a una sección regular, luego se calcula la esbeltez y después se utiliza la ecuación para determinar la carga.

#### **4.2. Ensayos preliminares**

A continuación se presenta un análisis de los resultados de cada uno de los ensayos que se realizaron previo a la obtención del diseño del elemento de construcción.

- Resistencia a compresión de paquete de cañas

Se observa que las cañas del paquete tuvieron fallas locales cerca de un entrenudo, también que en el paquete cada caña trabajo de forma individual.

La tabla VI, muestra que la ecuación de la curva potencial de la figura 31 es la que más se acerca a los datos reales. Con la ecuación en función de la longitud la carga es de 23,24 kilogramos para una caña, muy similar al promedio de la carga por cada caña ( $P_{cc}$ ) que es de 21,1 kilogramos. También es notorio el aumento de carga al incrementar la cantidad de cañas.

Los resultados incorporados en la tabla VII, revelan que hay muy 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.

La figura 32, muestra un crecimiento de la carga que va en función del número de cañas, el comportamiento posee una tendencia exponencial con aproximación de 99 por ciento, para una longitud de 80,0 centímetros únicamente.

En la figura 33 se plotearon datos de caña individual y de paquete de cañas; se observa que los datos de ambos ensayos se acoplan a una tendencia potencial con aproximación del 83 por ciento y genera una nueva ecuación para determinar la carga teórica en función de la esbeltez.

- Resistencia a compresión de columna de cañas

La carga teórica calculada con la ecuación de la figura 33, fue de 69,2 kilogramos y la carga máxima experimental fue de 67,4 kilogramos para ambos ciclos de carga, teniendo una desviación de un 2,7 por ciento.

En la figura 35, se observa que para el primer ciclo de carga se pandeo hasta 4,2 centímetros en el sentido de 3 cañas y 0,6 centímetros para el otro sentido; un comportamiento similar al descrito anteriormente se dio en el segundo ciclo, con la diferencia que el mayor pandeo se dio en el sentido de 4 cañas con 4,6 centímetros y 1,2 centímetros para el otro.

Entonces, no importando el sentido del mayor pandeo, ya sea, en dirección de mayor (en el panel) o menor inercia (modo natural), la columna de cañas tendrá deflexiones similares pero con sentido invertidos.

En la figura 36, se observa el comportamiento del esfuerzo en relación de la deformación unitaria; la columna obtuvo mayor deformación en el segundo ciclo que en el primero, bajo el mismo intervalo de carga.

Se aprecia, en los primeros dos datos de ambos ciclos de carga, que la deformación unitaria es muy similar, a partir de este la deformación incrementa considerablemente, por lo que, se toma como la zona elástica de la columna. La columna de cañas tiene un módulo elástico muy bajo de aproximadamente 748,5 kilogramos por centímetro cuadrado.

Al analizar las figuras 35 y 36 se puede decir que la columna resiste una carga de 44,9 kilogramos y, presenta poca deflexión y deformación; teóricamente se determinó que la carga crítica de la columna de cañas es 38,8kilogramos, 6,0 kilogramos menos del valor que se mencionó antes.

- Resistencia a tensión de tensores

La tabla XI y la figura 37, muestra que el incremento de carga es directamente proporcional a la cantidad de hilos en el tensor, aumentando aproximadamente 64,4 kilogramos por cada hilo. La carga que resiste a tensión el tensor de 4 hilos, que fue utilizado para la construcción de la sección de pared, es de 244,0 kilogramos.

El comportamiento de esfuerzo en relación a la deformación unitaria de un tensor de alambre de amarre de 4 hilos (ver figura 38) es similar a la de una barra de acero con la diferencia que el tensor no tiene una la plataforma de fluencia. Los puntos ploteados de deformación unitaria son para una longitud inicial de 50,0 centímetros y otra de 20,0 centímetros, se puede ver que el comportamiento es muy parecido, esto significa que la elongación es uniforme sobre toda la zona del elemento sometido a tensión. Se utiliza como  $f_y$  el esfuerzo del límite elástico proporcional de 2 338,4 kilogramos por centímetro cuadrado, se puede notar que es el 83 por ciento del esfuerzo a la fluencia del acero G40.

Se observa que tiene un comportamiento lineal, esta es la zona elástica del tensor (ver figura 39), ya que, posee un incremento entre 0,004 (zona de medición 50,0 cm) y 0,005 (zona de medición 20,0 cm) de deformación unitaria por cada incremento de 584,6 kilogramos por centímetro cuadrado, hasta un esfuerzo de 2 338,4 kilogramos por centímetro cuadrado; el módulo elástico de este elemento es de 127 207,0 kilogramos por centímetro cuadrado, apenas el 6,3 por ciento del módulo del acero-carbono.

- Resistencia a tensión de briquetas

El sentido del refuerzo afecta significativamente la resistencia a tensión de la combinación de mortero y malla. Se puede observar los resultados en la tabla XIII la combinación que más soporto fue la del refuerzo vertical (entorchado vertical) con una carga aproximada de 113,0 kilogramos, seguido por el que tiene el refuerzo horizontal con 70,0 kilogramos y por último el del refuerzo inclinado con 53,0 kilogramos.

En la figura 40 se observa la ubicación de las fallas; para las briquetas con refuerzo horizontal se aprecia que la falla del mortero ocurrió en proximidades de los entorchados (1,2 y 1,3); para las briquetas con refuerzo vertical la falla de la malla se observa con una tendencia horizontal más para la 2,3 se puede ver los puntos negros que es donde fallo el alambre de la malla, aunque no fue de la misma manera para el mortero, ya que, fallo linealmente pero con inclinación; para las briquetas con refuerzo inclinado el alambre de la malla que esta vertical fallo, el mortero fallo linealmente con muy poca inclinación.

El punto crítico de la malla es cercano a los entorchados, ya que, todas las fallas en la malla se localizaron en ese punto. Siete de nueve muestras fallaron dentro del área central y los restantes en los extremos.

En la tabla XIV se observa el resultado del ensayo de briquetas con doble refuerzo o doble capa de malla, se tiene un aumento en la capacidad de soportar carga a tensión y este incremento fue de aproximadamente un 1,9 cerca del doble de capacidad del que tiene refuerzo simple. Cuatro de ocho muestras fallaron dentro de la zona central, el resto lo hizo en los extremos como se observa en la figura 41.

### **4.3. Resistencia a corte de muro**

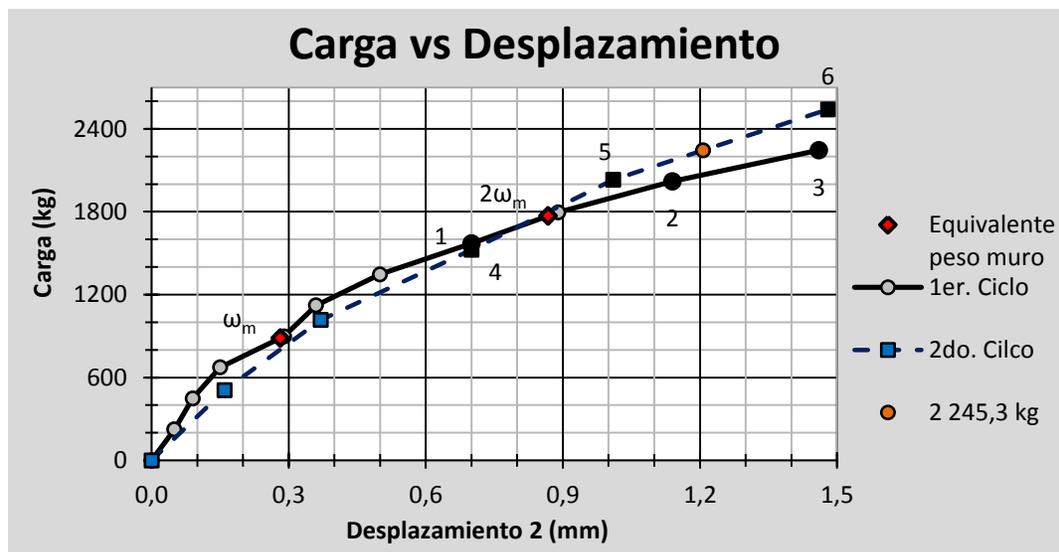
En el primer ciclo de carga cuando la fuerza alcanza el equivalente al peso del muro se presenta un desplazamiento de apenas 0,282 milímetros (ver tabla XVI y figura 45); al llegar a la carga de 1 571,0 kilogramos se hizo presente la primera grieta (ver figura 47 y 48), fue más un desprendimiento del cemento; se tuvo 0,868 milímetros de desplazamiento para una fuerza equivalente al doble del peso del muro y al sobrepasar esta carga apareció la segunda y tercera grieta como se muestran en las figuras 45 y 46, esta es la zona crítica del muro, ya que al parecer es ahí donde se concentran los esfuerzo de tensión.

Se aplicó carga hasta un equivalente de 2,5 veces el peso del muro y esta fuerza provocó un desplazamiento de 1,46 milímetros; en cuanto a su recuperación, obtuvo una recuperación del 73,9 por ciento del desplazamiento total (ver tabla XVII y figura 45).

El comportamiento para el segundo ciclo es muy similar al primero, comparando ambos ciclos como se observa en la figura 53, a partir 0,0 kilogramos hasta una carga equivalente al doble del peso del muro presento más desplazamiento que en el primero pero al sobrepasar dicha carga fue de forma inversa. También se observa que la reaparición de las grietas se dio bajo cargas similares por las que fueron provocadas.

El comportamiento de ambas curvas no es uniforme, ya que, se puede observar que para ambos ciclos bajo un incremento constante de carga el desplazamiento no tiene un incremento constante sino variable y con leve aumento, con posible tendencia a una curva polinómica de grado 2 o 3.

Figura 53. Comparación de ambos ciclos – ensayo de muro



Fuente: Elaboración propia.

Se observa en la figura 49, en los primeros 5 incrementos de carga el desplazamiento no sobrepasa los 1,5 milímetros, con una carga de casi el triple peso del muro; pero para el siguiente incremento (2 540 – 3 048 kg) existe un desplazamiento significativo de 1,34 milímetros y de ahí en adelante se incrementa el desplazamiento de forma evidente (ver tabla XVIII y figura 49).

Para una carga aproximada de 3 toneladas empezaron aparecer fallas por flexión, y de corte a los 3,5 toneladas aproximadamente el cuádruple peso del muro (ver figura 50 y 51).

El muro falló principalmente a corte, a una carga de 3,76 toneladas y con un desplazamiento menor a los 20,0 milímetros. Luego del segundo ciclo de carga el muro se recuperó un 65 por ciento del desplazamiento último.

La figura 52, presenta el comportamiento real del muro bajo carga lateral, se muestra que el muro soporta una carga máxima de 3,76 toneladas, presentando un desplazamiento máximo de 2,03 centímetros. En cuanto a sus propiedades mecánicas, el muro posee una resistencia al corte de 1 534 kilogramos por metro y una rigidez a corte dentro del límite de proporcionalidad de 1 740 kilogramos por centímetro.

## CONCLUSIONES

1. Anualmente se genera 25 millones de quintales de residuos de caña de maíz, el cual es quemado provocando incendios forestales y creando gran contaminación al medio ambiente, ya que, no tiene un uso específico. También, existen muy pocos estudios que busquen la utilización de la caña de maíz.
2. Se caracterizó la caña del cultivo del maíz. Todas las cañas de maíz poseen las mismas características estructurales, pero sus características físicas son muy variadas. Las propiedades mecánicas más sobresaliente de la caña son su resistencia a compresión y tensión, no así para cortante. La capacidad de una caña para soportar fuerza a compresión es muy baja comparada con otros materiales, pero esta puede aumentar al incrementar el número de cañas y reforzarla haciendo que trabaje con un elemento.
3. Se diseñó un sistema para construcción de vivienda utilizando como base la caña del cultivo del maíz, con propósitos de caracterización estructural. La caña de maíz puede ser utilizada en la construcción de vivienda económica, ya que, el sistema propuesto utiliza como base paneles de caña, disminuye la utilización de materiales modernos y utiliza una tecnología sencilla, todo esto reduce significativamente el costo. El sistema es de bajo impacto ambiental, auto-construible y económico.

4. Se construyó un muro con paneles de caña de maíz y ferrocemento. Los paneles de caña son muy livianos, aunque poseen pobres capacidades mecánicas estas pueden ser mejoradas utilizando materiales modernos en pequeña cantidad; su construcción no demanda la utilización de mano de obra calificada.
  
5. Se evaluó el muro construido con cañas de maíz y ferrocemento, bajo sollicitaciones de corte. El muro tiene la capacidad de soportar una fuerza lateral equivalente a tres veces su peso (2 655 kg) y presentar un desplazamiento menor a 2,0 milímetros, a partir de ese valor los desplazamientos aumentan significativamente produciendo en el muro fallas por flexión y de corte a 3 759 kilogramos.

## RECOMENDACIONES

1. Promover una investigación más amplia de campo y bibliografía para conocer más a fondo la condición y el problema que genera el desecho del cultivo del maíz. También, realizar otros estudios para encontrar soluciones donde se use el desecho del cultivo del maíz, ya sea, en la misma agricultura, en la construcción o cualquier otro uso que no contamine el ambiente.
2. Realizar un estudio más detallado sobre las características físicas y propiedades mecánicas de la caña de maíz, tomando en cuenta factores básicos del cultivo como el tipo de semilla, las condiciones topográficas y climáticas.
3. Debe realizarse más estudios al sistema para observar el comportamiento de otras partes como los vanos o intersecciones de muro por ejemplo, para mejorar el diseño. También, debe realizarse más prácticas de investigación para proponer otros sistemas que utilicen la caña de maíz en la construcción.
4. Los paneles de caña pueden ser utilizados como muros tabiques o de división interna, si se quiere utilizar como muro exterior se deben colocar dentro de un marco lo suficientemente rígido. También, es necesario realizar estudios y evaluaciones para buscar mejoras en sus propiedades mecánicas.

5. Estudiar el comportamiento de secciones típicas construidas de manera similar a la evaluada en este trabajo bajo solicitaciones de compresión, flexión e impacto, para obtener todas las propiedades mecánicas del sistema y comparar con los sistemas de construcción modernas.

## BIBLIOGRAFÍA

1. American Society for Testing and Materials. *Norma E-564: Standard practice for static load test for shear resistance of framed walls for buildings*. Estados Unidos: ASTM, 5 p.
2. *Anuario estadístico de América Latina y el Caribe*. Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL). Diciembre de 2013, No. 14. Santiago de Chile: Naciones unidas, 1998. ISSN: 1014-0697
3. Asociación Bancaria de Guatemala. “Sector construcción”. *Información a marzo de 2013*. Guatemala: ABG, 2013, 4 p.
4. Asociación Nacional de Constructores de Vivienda (ANACOV). “Reformas tributarias”. Cámara Guatemalteca de la Construcción. *Boletín Economía de la Construcción*. Guatemala, 2013, No. 26, p. 22-24.
5. BATRES, Alexis. *Hogar, imposible hogar* [en línea]. El periódico. [ref.: 22 de abril de 2013]. Disponible en web: <<http://www.elperiodico.com.gt/es/20130422/economia/227249>> [Consulta: 13 de febrero de 2014]

6. Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL). *Definiciones de los Indicadores* [en línea]. <<http://www.eclac.cl/cgi-bin/getprod.asp?xml=/esalc/noticias/paginas/2/12752/P12752.xml&xsl=/esalc/tpl/p18f.xsl&base=/esalc/tpl/top-bottom.xsl>> [Consulta: 25 de febrero de 2014].
7. Coordinadora Nacional para la Reducción de Desastres. *Informe situación terremoto 7.2*. Guatemala: CONRED Secretaría Ejecutiva, diciembre de 2012, 20 p.
8. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). *Estrategia y plan de acción para el uso y manejo del fuego en áreas agrícolas y forestales del departamento de Petén*. Petén: MAGA, diciembre del 2004, 45 p.
9. \_\_\_\_\_. *El maíz en la nutrición humana*. Depósito de documentos de la FAO, Departamento de agricultura. Roma: 1993 [en línea]. <[http://www.fao.org/docrep/t0395s/T0395S02.htm# Capitulo 1 Introducción](http://www.fao.org/docrep/t0395s/T0395S02.htm#Capitulo_1_Introducci3n)>. [Consulta: 26 de febrero de 2014]. ISBN: 9253030135.
10. Guatemala. Decreto número 9-2012, Ley de vivienda. *Diario de Centro América*, 29 de febrero de 2012, número 99, p. 9.
11. \_\_\_\_\_. Constitución Política de la República de Guatemala. *Procuraduría de los Derechos Humanos*, 2009. 124 p.

12. MÉNDEZ VILLASEÑOR, Claudia. *Leyenda coincide: el maíz se originó en el cerro Q'anil* [en línea]. El periódico. [ref.: 24 de agosto de 2013]. Disponible en web: <<http://www.elperiodico.com.gt/es/20130824/pais/233340>> [Consulta: 1 de marzo de 2014]
13. Ministerio de Agricultura Ganadería y Alimentación. *El agro en cifras 2013*. Guatemala: Dirección de Planeamiento del MAGA, noviembre 2013, 63 p.
14. REYES NÁJERA, César. *Estudio del comportamiento de morteros reforzados con fibras de maíz, para componentes de vivienda de bajo coste*. Director: Jaume Avellaneda Diaz Grande. Trabajo de graduación. Universidad Politécnica de Catalunya, Departamento de Construcciones Arquitectónicas 1, Barcelona, 2009, 406 p.
15. VELASCO, Osmar; SOLO, María. La problemática habitación, el desarrollo comunitario y la exclusión financiera en Guatemala. Banco mundial. *Entre la exclusión financiera y el desarrollo comunitario*. Guatemala: Public disclosure authorized, 2006, 93 p.
16. ZEA, Miguel Ángel. ¿Qué es el déficit habitacional y cómo se mide?. Cámara guatemalteca de la construcción. *Boletín economía de la construcción*. Guatemala 2012, No. 20. p. 16-19.



## APÉNDICE



## Apéndice 1. Ensayo a compresión de caña individual

- Datos:

### DATOS – ENSAYO DE CAÑA INDIVIDUAL

No.	NE	L (cm)	$\omega$ (g)	Diámetro (mm)			L <sub>entrenado</sub> (cm)			P <sub>u</sub> (kg)
				$\emptyset_1$	$\emptyset_2$	$\emptyset_3$	Le <sub>1</sub>	Le <sub>2</sub>	Le <sub>3</sub>	
1	2	21,6	11,85	17,20	17,00	16,90	10,0	12,0	---	248
2	2	32,9	14,80	17,50	18,70	18,80	14,0	20,0	---	160
3	2	41,0	14,80	18,00	17,55	15,60	20,5	20,5	---	038
4	2	46,7	12,25	13,50	14,90	16,00	23,0	24,0	---	48
5	3	49,4	17,20	14,70	14,50	17,60	19,0	13,5	17,5	33
6	3	52,7	22,65	15,50	17,00	17,20	16,5	18,0	18,5	72
7	3	67,0	23,25	18,30	18,00	15,00	26,5	23,0	18,0	54
8	3	69,8	28,25	14,80	16,30	20,00	23,0	24,0	23,0	25

NE: Número de entrenudos que contiene la fracción de caña (probeta)

L: Longitud de la fracción caña (probeta)

$\omega$ : Peso de fracción de caña (probeta)

Le: Longitud del entrenudo (Distancia entre nudos)

P<sub>u</sub>: Carga última a compresión

- Cálculos
  - Peso Lineal (PL)

$$PL = \frac{\omega}{L}$$

Ejemplo con datos de probeta 1:

$$PL = \frac{11,85 \text{ g}}{21,6 \text{ cm}} = 0,548 \text{ g/cm}$$

- Diámetro promedio ( $\emptyset_{\text{prom.}}$ )

$$\emptyset_{\text{prom}} = \frac{\emptyset_n}{n}$$

Ejemplo con datos de probeta 1:

$$\emptyset_{\text{prom}} = \frac{17,2 \text{ mm} + 17,0 \text{ mm} + 16,9 \text{ mm}}{3} = 17,033 \text{ mm} * \frac{1 \text{ cm}}{10 \text{ mm}} = 1,703 \text{ cm}$$

- Longitud de entrenudos promedio ( $Le_{\text{prom.}}$ )

$$Le_{\text{prom}} = \frac{Le_n}{n}$$

Ejemplo con datos de probeta 1:

$$Le_{\text{prom}} = \frac{10,0 \text{ cm} + 12,0 \text{ cm}}{2} = 11,0 \text{ cm}$$

- Área de sección de caña (A)

$$A = \frac{\pi}{4} \emptyset_{\text{prom}}^2$$

Ejemplo con datos de probeta 1:

$$A = \frac{\pi}{4} (1,703 \text{ cm})^2 = 2,279 \text{ cm}^2$$

- Inercia de sección de caña (I)

$$I = \frac{\pi}{4} r^4 \rightarrow I = \frac{\pi}{4} \left(\frac{\emptyset}{2}\right)^4 \rightarrow I = \frac{\pi}{64} \emptyset^4$$

Ejemplo con datos de probeta 1:

$$I = \frac{\pi}{64} (1,703 \text{ cm})^4 = 0,413 \text{ cm}^3$$

- Radio de giro (r)

$$r = \sqrt{\frac{I}{A}} \rightarrow r = \frac{\emptyset_{\text{prom}}}{4}$$

Ejemplo con datos de probeta 1:

$$r = \frac{1,703 \text{ cm}}{4} = 0,426 \text{ cm}$$

- Esfuerzo a compresión ( $\sigma_c$ )

$$\sigma = \frac{P}{A}$$

Ejemplo con datos de probeta 1:

$$\sigma_c = \frac{248 \text{ kg}}{2,279 \text{ cm}^2} = 108,8 \text{ kg/cm}^2$$

- Esbeltez de caña ( $\lambda$ )

$$\lambda = \frac{L}{r}$$

Ejemplo con datos de probeta 1:

$$\lambda = \frac{21,6 \text{ cm}}{0,426 \text{ cm}} = 50,7$$

Apéndice 2. **Ensayo a compresión de paquete de cañas**

**DATOS – ENSAYO DE PAQUETE DE CAÑAS**

No.	Forma Bxh	NC	Dimensiones				P <sub>u</sub> (kg)
			d <sub>1</sub>	d <sub>2</sub>	d <sub>3</sub>	d <sub>4</sub>	
1	1X2	2	3,8	4,3	- - -	- - -	50
2	2X2	4	3,5	3,4	4,0	3,5	80
3	3X3	9	5,0	4,2	5,0	4,2	150
4	4X4	16	7,0	7,0	7,0	6,9	366

Forma: Cantidad de cañas en ancho (b) y alto (h).

NC: Número de cañas

d<sub>n</sub>: Longitud de lado, numero n

P<sub>u</sub>: Carga última

- Cálculo de:
  - Comparación de carga teórica (P<sub>t</sub>) y experimental (P<sub>u</sub>):

La carga teórica utilizando la ecuación de la curva potencial de la figura 30, en función de la longitud:

$$P_t(L) = 42\,296L^{-1,713} \rightarrow P(80) = 42\,296(80)^{-1,713} = 23,24 \text{ kg}$$

El promedio de carga por caña (P<sub>CC</sub>) de los resultados de la tabla VIII:

$$P_{CC \text{ prom}} = \frac{25,0 + 20,0 + 16,7 + 22,9}{4} = 26,0 \text{ kg}$$

Ejemplo con probeta 1:

$$P = (23,24 \text{ kg}) * 2 \text{ cañas} = 46,5 \text{ kg}$$

La carga teórica utilizando la ecuación de la curva potencial de la figura 31, en función de la esbeltez:

$$P_t(\lambda) = 167\,943\lambda^{-1,687} = 167\,943(147,8)^{-1,687} = 36,7 \text{ kg}$$

- Lado promedio ( $L_{\text{prom.}}$ )

$$L_{\text{prom}} = \frac{d_n}{n}$$

Ejemplo con probeta 1:

$$L_{\text{prom}} = \frac{3,8 \text{ cm} + 4,3 \text{ cm}}{2} = 3,75 \text{ cm}$$

- Área de sección (A)

$$A = b \times h \rightarrow b = h = L_{\text{prom}} \therefore A = L_{\text{prom}}^2$$

Ejemplo con probeta 1:

$$A = (3,75 \text{ cm})^2 \cong 7,0 \text{ cm}^2$$

- Inercia de sección (I)

$$I = \frac{1}{12}bh^3 \text{ o } I = \frac{1}{12}L_{\text{prom}}^3$$

Ejemplo con probeta 1:

$$I = \frac{1}{12}(3,75 \text{ cm})(1,88 \text{ cm})^3 = 2,1 \text{ cm}^4$$

- Radio de giro (r)

$$r = \sqrt{\frac{I}{A}}$$

Ejemplo de probeta 1:

$$r = \sqrt{\frac{2,1 \text{ cm}^4}{7,0 \text{ cm}^2}} = 0,541 \text{ cm}$$

- Esbeltez ( $\lambda$ )

$$\lambda = \frac{L}{r} \rightarrow \lambda = \frac{80 \text{ cm}}{0,541 \text{ cm}} = 147,8$$

- Carga absorbida por cada caña ( $P_{cc}$ )

$$P_{cc} = \frac{P_u}{NC}$$

Ejemplo con probeta 1:

$$P_{cc} = \frac{50 \text{ kg}}{2} = 25 \text{ kg}$$

- Esfuerzo a compresión ( $\sigma_c$ )

$$\sigma_c = \frac{P_u}{A} \rightarrow \sigma_c = \frac{50 \text{ kg}}{7,0 \text{ cm}^2} = 7,11 \text{ kg/cm}^2$$

### Apéndice 3. Ensayo de columna

- Datos:

#### CARACTERÍSTICAS FÍSICAS

Dimensiones (cm)		
Lados		Longitud
3 cañas	4 cañas	---
6,5	8,5	240,2
6,5	8,5	240,0
7,0	7,5	239,7

La columna peso 1 392,4 gramos.

#### 1ER. CICLO – ENSAYO DE COLUMNA

No.	Esfuerzo (psi)	Pandeo (cm)		Deformación <sup>1</sup> (cm)			
		3 cañas	4 cañas	1	2	3	4
1	0	7,6	6,1	18,8	18,6	18,7	18,7
2	50	7,4	6,2	18,9	18,7	18,8	18,9
3	100	6,8	6,4	19,0	18,8	18,9	19,0
4	150	3,4	6,7	19,3	19,2	19,3	19,3

1: Variación en la longitud, toma de las esquinas de platina (parte inferior de columna)

#### 2DO. CICLO – ENSAYO DE COLUMNA

No.	Esfuerzo (psi)	Pandeo (cm)		Deformación <sup>2</sup> (cm)			
		3 cañas	4 cañas	1	2	3	4
1	0	8,7	5,4	18,9	18,5	18,8	18,8
2	50	8,6	5,3	19,0	18,6	18,9	19,0
3	100	8,4	5,0	19,1	19,0	19,0	19,1
4	150	8,0	3,6	19,2	19,0	19,2	19,2
5 <sup>1</sup>	150	7,5	0,8	19,4	19,3	19,4	19,4
6	0	8,3	3,8	19,1	19,0	19,0	19,1

1: Se sostuvo la carga por algunos minutos

2: Variación en la longitud, toma de las esquinas de platina (parte inferior de columna)

- Cálculo de

- Deflexión:

$$t_n = p_1 - p_n$$

Ejemplo:

$$t_2 = 7,6 \text{ cm} - 7,4 \text{ cm} = 0,2 \text{ cm}$$

- Deformación unitaria

$$\text{def}_{n,x} = d_{n,x} - d_{1,x} \rightarrow \begin{array}{l} x = \text{número de dato de deformación} \\ n = \text{número de intervalo de carga} \end{array}$$

$$\text{def}_{n(\text{prom})} = \frac{\text{def}_{n,1} + \text{def}_{n,2} + \text{def}_{n,3} + \text{def}_{n,4}}{4}$$

$$d. u._n = \frac{\text{def}_{n(\text{prom})}}{L_{\text{prom}}}$$

Ejemplo:

$$d_2 = 18,9 \text{ cm} - 18,8 \text{ cm} = 0,1 \text{ cm}$$

$$\text{def}_{2(\text{prom})} = \frac{0,1 + 0,1 + 0,1 + 0,2}{4} = 0,125 \text{ cm}$$

$$d. u._2 = \frac{0,125}{239,97 \text{ cm}} = 5,2 * 10^{-4}$$

- Carga

$$P = \sigma_{\text{man.}} * A_{\text{GH}}$$

Donde:

$\sigma_{\text{man.}}$ : Esfuerzo en manómetro

$A_{\text{GH}}$ : Área del gato hidráulico, para este caso 0,99 pulgadas cuadradas

Ejemplo con probeta 2:

$$P_2 = 50 \text{ psi} * 0,99 \text{ in}^2 = 49,5 \text{ pound (lb)}$$

$$49,5 \text{ lb} * \frac{0,4536 \text{ kg}}{1 \text{ lb}} = 22,45 \text{ kg}$$

Para determinar la carga teórica utilizamos la ecuación mostrada en la figura 33:

$$P(\lambda) = 120\,319\lambda^{-1,614} \rightarrow P(101,8) = 120\,319(101,8)^{-1,614} = 69,16 \text{ kg}$$

Para el 2do. ciclo de carga se utiliza la otra esbeltez:

$$P(124,7) = 120\,319(124,7)^{-1,614} = 49,84 \text{ kg}$$

- Carga crítica de la columna:

$$P_{\text{crítica}} = \frac{\pi^2 EI_{y-y}}{L^2}$$

$$P_{\text{crítica}} = \frac{\pi^2 (748,5 \text{ kg/cm}^2) (201,65 \text{ cm}^4)}{(239,97 \text{ cm})^2} = 25,87 \text{ kg}$$

$$P_{\text{crítica}} = \frac{\pi^2 EI_{x-x}}{L^2}$$

$$P_{\text{crítica}} = \frac{\pi^2 (748,5 \text{ kg/cm}^2) (302,60 \text{ cm}^4)}{(239,97 \text{ cm})^2} = 38,82 \text{ kg}$$

## Apéndice 4. Ensayo de tensores

### CARACTERÍSTICAS FÍSICAS

No. Tensor	# hilos	# vueltas		L <sub>f</sub> (cm)
		Dadas	Regresa	
1	1	0	0	1,00
2	2	100	2	0,97
3	3	100	1	0,95
4	4	80	1	0,91
5	5	60	1	0,94
6	6	60	1	0,92

Nota: La longitud inicial para todos los tensores es de 1,0 m.

El diámetro de un hilo de alambre es de  $\varnothing=1,65\text{mm}$

### DATOS – ENSAYO DE TENSORES – 1, 2 Y 3

No.	Tensor No. 1		Tensor No. 2		Tensor No. 3		
	P (lb)	Def. <sup>1</sup> (cm)	P (lb)	Def. <sup>1</sup> (cm)	P (kg)	Def. <sup>1</sup> (cm)	Def. <sup>2</sup> (cm)
1	0	49,9	0	50,0	0	50,0	20,0
2	50	49,9	50	50,0	50	50,1	20,0
3	75	50,0	100	50,2	100	50,2	20,1
4	100	50,0	150	50,3	150	50,4	20,1
5	125	50,1	200	50,3	200 <sup>3</sup>	50,5	20,2
6	150	51,1	250	50,5	175 <sup>4</sup>	50,6	20,3
7	---	---	300	50,7	---	---	---
8	---	---	350	51,0	---	---	---

1: Zona de medición de 50 cm  
2: Zona de medición de 20 cm

3: Carga máxima  
4: Carga de ruptura

- Cálculos
  - Área

$$A_{A.A.} = \frac{\pi}{4} \left( 1,65\text{mm} * \frac{1\text{ cm}}{10\text{mm}} \right)^2 = 0,0214\text{ cm}^2$$

- Esfuerzo

$$\sigma = \frac{P}{A_{A.A.} * \#hilos}$$

Ejemplo 1:

$$\sigma = \frac{50 \text{ lb} * \frac{0,453592 \text{ kg}}{1 \text{ lb}}}{0,0214 \text{ cm}^2 * 1} = 1\,060,7 \text{ kg/cm}^2$$

- Deformación unitaria

$$\varepsilon = \frac{L_f - L_o}{L_{\text{zona de medicion}}}$$

Ejemplo 1:

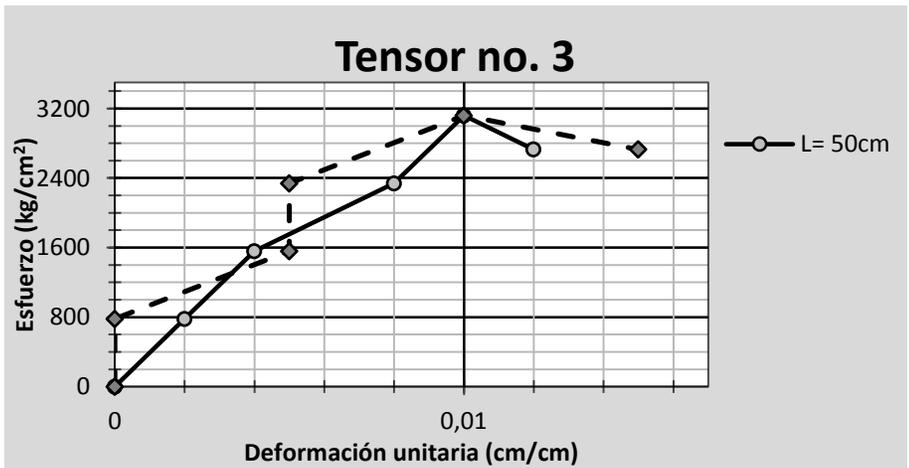
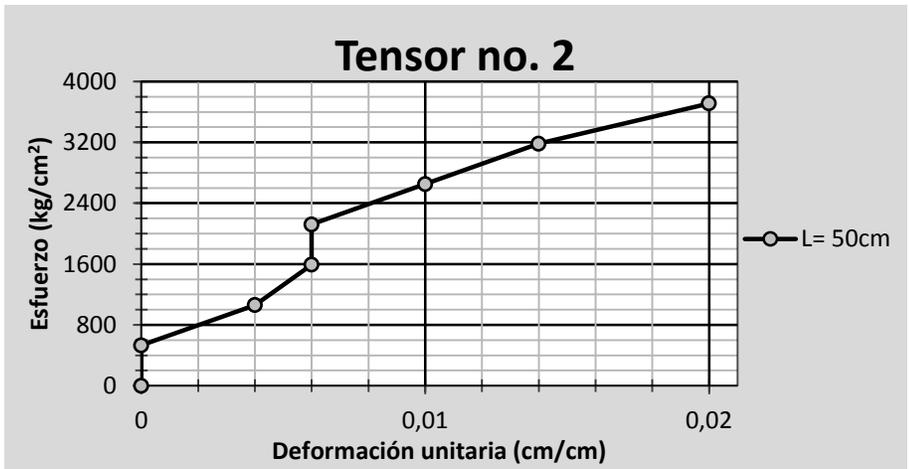
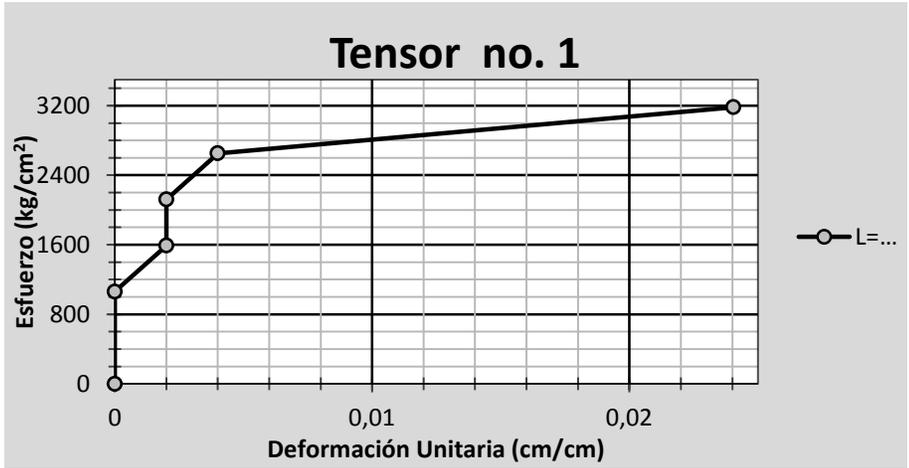
$$\varepsilon = \frac{49,9\text{cm} - 49,9\text{cm}}{49,9\text{cm}} = 0 \text{ cm}$$

### RESULTADOS – ENSAYO DE TENSORES – 1, 2 Y 3

No.	Tensor no. 1		Tensor no. 2		Tensor no. 3		
	$\sigma$	$\varepsilon^1$	$\sigma$	$\varepsilon^1$	$\sigma$	$\varepsilon^1$	$\varepsilon^2$
1	0 000,0	0,0000	0 000,0	0,000	0 000,0	0,000	0,000
2	1 060,7	0,0000	0 530,3	0,000	0 779,5	0,002	0,000
3	1 591,0	0,0020	1 060,7	0,004	1 558,9	0,004	0,005
4	2 121,3	0,0020	1 591,0	0,006	2 338,4	0,008	0,005
5	2 651,7	0,0040	2 121,3	0,006	3 117,8	0,010	0,010
6	3 182,0	0,0240	2 651,7	0,010	2 728,1	0,012	0,015
7	---	---	3 182,0	0,014	---	---	---
8	---	---	3 712,3	0,020	---	---	---

1: Zona de medición de 50 cm

2: Zona de medición de 20 cm



### DATOS – ENSAYO DE TENSORES – 4, 5 Y 6

No.	Tensor No. 4			Tensor No. 5			Tensor No. 6		
	P (kg)	Def. (cm)	Def. (cm)	P (kg)	Def. (cm)	Def. (cm)	P (kg)	Def. (cm)	Def. (cm)
1	0	50,0	20,0	0	50,0	20,0	0	50,0	20,0
2	50	50,3	20,1	50	50,1	20,1	50	50,1	20,1
3	100	50,4	20,2	100	50,1	20,1	100	50,1	20,2
4	150	50,6	20,3	150	50,2	20,2	150	50,2	20,2
5	200	50,8	20,4	200	50,2	20,2	200	50,3	20,3
6	244 <sup>3</sup>	51,4	20,6	250	50,5	20,3	250	50,4	20,3
7	215 <sup>4</sup>	52,3	20,8	275	50,9	20,4	300	50,5	20,3
8	---	---	---	300 <sup>3</sup>	51,5	20,8	350	50,7	20,4
9	---	---	---	265 <sup>4</sup>	52,8	21,0	375	51,4	20,5
10	---	---	---	---	---	---	390	52,0	20,8
11	---	---	---	---	---	---	400 <sup>3</sup>	53,1	21,2
12	---	---	---	---	---	---	370 <sup>4</sup>	54,2	21,8

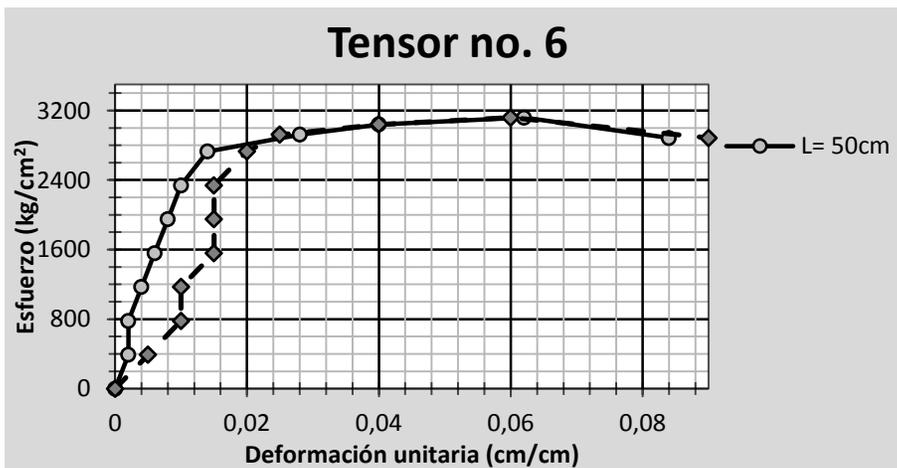
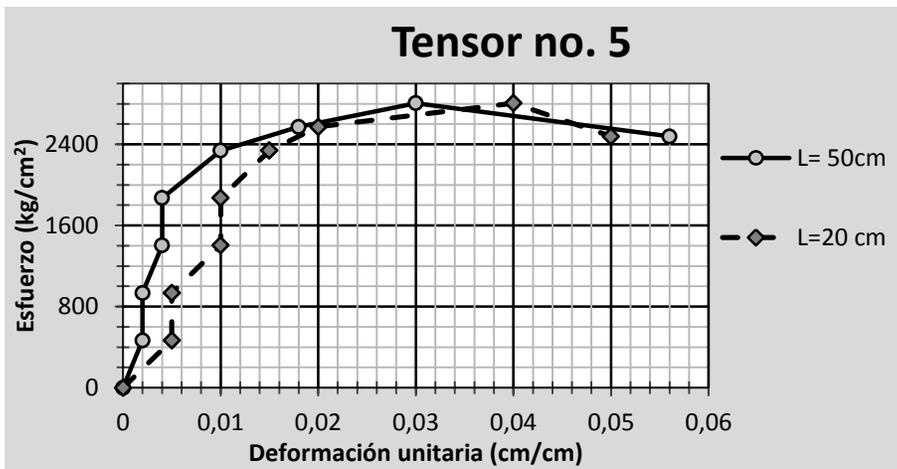
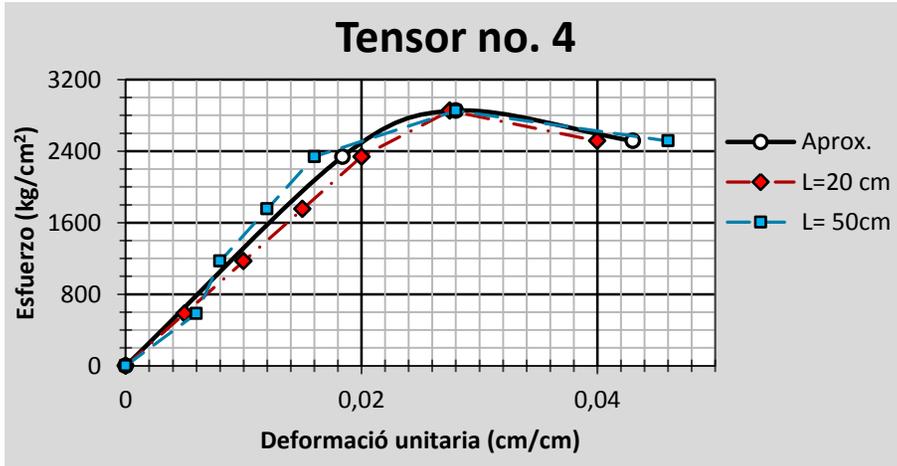
1: Zona de medición de 50 cm  
2: Zona de medición de 20 cm

3: Carga máxima  
4: Carga de ruptura

### RESULTADOS – ENSAYO DE TENSORES – 4, 5 Y 6

No.	Tensor no. 4			Tensor no. 5			Tensor no. 6		
	$\sigma$	$\epsilon^1$	$\epsilon^2$	$\sigma$	$\epsilon^1$	$\epsilon^2$	$\sigma$	$\epsilon^1$	$\epsilon^2$
1	0,0	0,000	0,000	0,0	0,000	0,000	0,0	0,000	0,000
2	584,6	0,006	0,005	467,7	0,002	0,005	389,7	0,002	0,005
3	1 169,2	0,008	0,010	935,3	0,002	0,005	779,5	0,002	0,010
4	1 753,8	0,012	0,015	1 403,0	0,004	0,010	1 169,2	0,004	0,010
5	2 338,4	0,016	0,020	1 870,7	0,004	0,010	1 558,9	0,006	0,015
6	2 852,8	0,028	0,028	2 338,4	0,010	0,015	1 948,6	0,008	0,015
7	2 513,7	0,046	0,040	2 572,2	0,018	0,020	2 338,4	0,010	0,015
8	---	---	---	2 806,0	0,030	0,040	2 728,1	0,014	0,020
9	---	---	---	2 478,7	0,056	0,050	2 923,0	0,028	0,025
10	---	---	---	---	---	---	3 039,9	0,040	0,040
11	---	---	---	---	---	---	3 117,8	0,062	0,060
12	---	---	---	---	---	---	2 884,0	0,084	0,090

1: Zona de medición de 50 cm  
2: Zona de medición de 20 cm



Apéndice 5. **Ensayo de briquetas**

**DATOS – ENSAYO DE BRIQUETAS – RS**

No.	Espesor (mm)	Ancho (mm)	P (kg)
1,1	26,95	49,70	30,0
1,2	26,55	49,55	50,0
1,3	26,40	49,55	130,0
2,1	26,65	50,35	110,0
2,2	26,55	51,20	80,0
2,3	26,50	49,80	147,5
3,1	26,75	49,80	40,0
3,2	26,30	49,40	60,0
3,3	26,80	49,65	60,0

**DATOS – ENSAYO DE BRIQUETAS – DR**

No.	Espesor (mm)	Ancho (mm)	P (kg)
4,1	---	---	---
4,2	26,50	49,80	185,0
4,3	26,20	49,75	225,0
5,1	26,15	49,95	150,0
5,2	26,65	50,00	135,0
5,3	26,55	49,90	60,0
6,1	26,40	50,00	75,0
6,2	26,60	50,30	165,0
6,3	26,40	49,50	120,0

- Cálculos
  - Área

$$A = \text{Espesor} * \text{Ancho}$$

Ejemplo 1:

$$A = \left(26,95\text{mm} * \frac{1\text{ cm}}{10\text{mm}}\right) \left(49,70\text{mm} * \frac{1\text{ cm}}{10\text{mm}}\right) = 13,4\text{ cm}^2$$

- Esfuerzo

Ejemplo 1:

$$\sigma = \frac{30 \text{ kg}}{13,4 \text{ cm}^2} = 2,24 \text{ kg/cm}^2$$

#### RESULTADO – ENSAYO DE BRIQUETAS – RS

No.	Área (cm <sup>2</sup> )	Esfuerzo (kg/cm <sup>2</sup> )	Prom.	Sentido entorchado
1,1	13,4	2,24		
1,2	13,2	3,80	5,33	H
1,3	13,1	9,94		
2,1	13,4	8,20		
2,2	13,6	5,89	8,42	V
2,3	13,2	11,18		
3,1	13,3	3,00		
3,2	13,0	4,62	4,04	I
3,3	13,3	4,51		
Prom.	13,3	5,93		

#### RESULTADO – ENSAYO DE BRIQUETAS – RD

No.	Área (cm <sup>2</sup> )	Esfuerzo (kg/cm <sup>2</sup> )	Prom.	Sentido entorchado
4,1	0,0	0,00		
4,2	13,2	14,02	15,64	V
4,3	13,0	17,26		
5,1	13,1	11,48		
5,2	13,3	10,13	8,71	H
5,3	13,2	4,53		
6,1	13,2	5,68		
6,2	13,4	12,33	9,07	I
6,3	13,1	9,18		
Prom.	13,2	10,58		

Apéndice 6. **Ensayo de muro**

**DATOS – ENSAYO A CORTE DE MURO – 1ER. CICLO**

	No. de lectura	Esfuerzo en manómetro (PSI)	Lectura de deform. 1 (0,01 mm)	Lectura de deform. 2 (0,01 mm)	Lectura de deform. 3 (0,001 in)	Lectura de deform. 4 (0,01 mm)
<b>CARGA</b>	1	0	8 – 0,0	43 – 53	1 – 43,5	0 – 4
	2	500	8 – 0,0	43 – 58	1 – 44,0	0 – 4
	3	1 000	8 – 1,0	43 – 62	1 – 46,0	0 – 4
	4	1 500	8 – 3,5	43 – 68	1 – 49,5	0 – 4
	5	2 000	8 – 7,0	43 – 82	1 – 53,0	0 – 4
	6	2 500	8 – 9,5	43 – 89	1 – 56,0	0 – 4
	7	3 000	8 – 11,5	44 – 3	1 – 6,0	0 – 4
	8	3 500	8 – 14,5	44 – 23	1 – 67,5	0 – 4
	9	4 000	8 – 18,0	44 – 42	1 – 74,5	0 – 4
	10	4 500	8 – 21,5	44 – 67	1 – 85,0	0 – 4
	11	5 000	8 – 26,0	44 – 99	1 – 97,5	0 – 64
<b>DESCARGA</b>	12	4 500	8 – 26,0	44 – 95	1 – 98,0	0 – 64
	13	3 500	8 – 24,0	44 – 9	1 – 95,0	0 – 62
	14	1 500	8 – 16,0	44 – 45	1 – 79,5	0 – 54
	15	1 000	8 – 15,0	44 – 37	1 – 77,0	0 – 54
	16	500	8 – 13,5	44 – 16	1 – 73,0	0 – 51
	17	100	8 – 12,0	43 – 98	1 – 69,0	0 – 51
	18	0	8 – 11,0	43 – 91	1 – 67,5	0 – 51
	19	0	8 – 11,0	43 – 91	1 – 67,0	0 – 4

- Cálculos
  - Carga

$$P = \sigma_{\text{man.}} * A_{\text{GH}}$$

Donde:

$\sigma_{\text{man.}}$ : Esfuerzo en manómetro

$A_{\text{GH}}$ : Área gato hidráulico, para el 1er. ciclo es 0,99 pulgadas cuadradas y para el 2do. es 2,24 pulgadas cuadradas.

- Desplazamiento

$$\text{Lectura} = L = L_n \cdots l_n$$

$$\text{desp.}_n = (L_n - L_o) + (l_n - l_o) * \text{Aprox}_{\text{deform}}$$

Ejemplo:

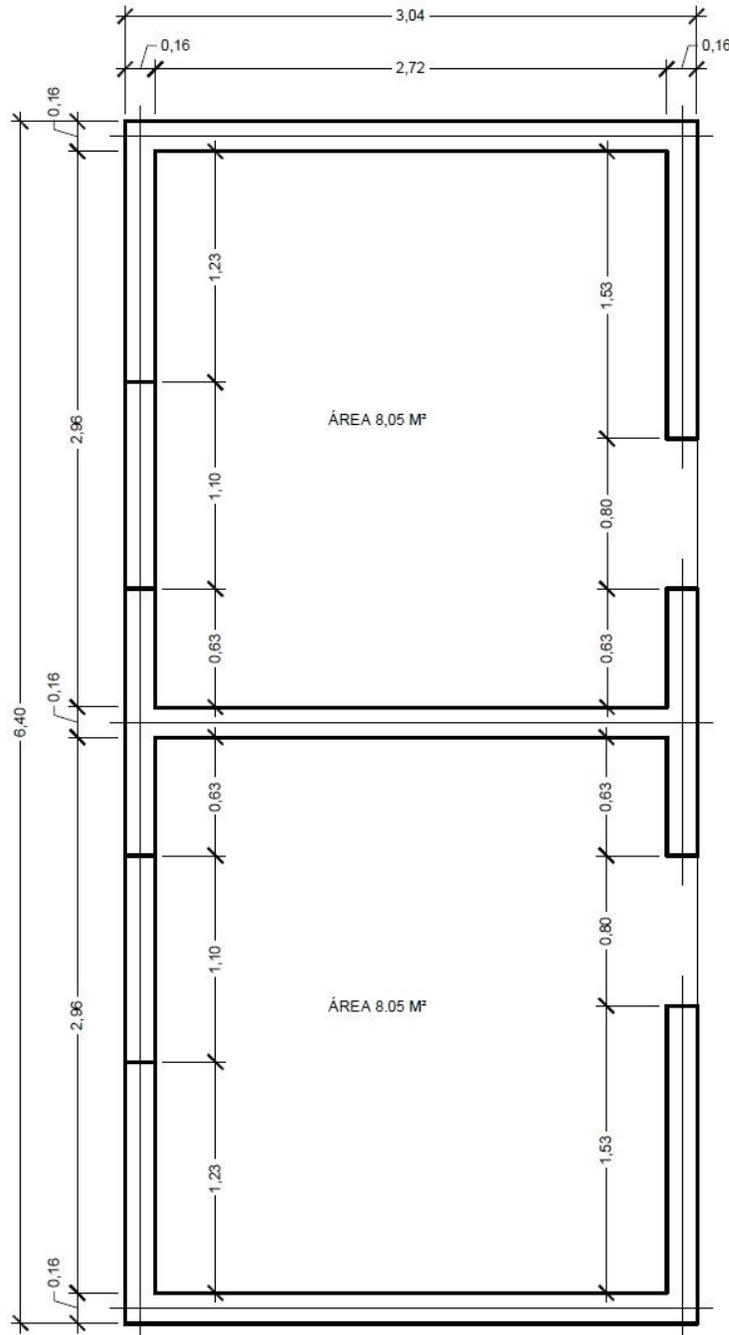
$$\text{desp.}_4 = (8 - 8) + (3,5 - 0) * 0,01 \text{ mm} = 0,035 \text{ mm}$$

No. de lectura	Esfuerzo en manómetro (psi)	Lectura de deform. 1 (0,01 mm)	Lectura de deform. 2 (0,01 mm)	Lectura de deform. 3 (0,001 in)	Lectura de deform. 4 (0,01 mm)
1	0	8 – 11,0	43 – 8	1 – 66	0 – 35
2	500	8 – 11,5	43 – 96	1 – 705	0 – 4
3	1 000	8 – 14,0	44 – 17	1 – 77	0 – 45
4	1 500	8 – 17,5	44 – 5	1 – 865	0 – 49
5	2 000	8 – 22,5	44 – 81	1 – 965	0 – 5
6	2 500	8 – 31,0	45 – 28	2 – 11	0 – 5
7	3 000	8 – 40,5	46 – 62	2 – 58	0 – 92
8	3 500	8 – 52,5	51 – 61	3 – 81	1 – 47
9	3 700	8 – 48,0	63 – 75	6 – 33	2 – 16
10	0	8 – 11,0	50 – 74	3 – 35	0 – 35

Según la Norma ASTM 564, se determinó la resistencia al corte final,  $S_u$ , y la rigidez a corte,  $G'$ , del muro.

$$S_u = \frac{P_u}{b} \rightarrow S_u = \frac{3\,759,4 \text{ kg}}{2,45 \text{ m}} = 1\,534,4 \text{ kg/m}$$

$$G' = \frac{P}{d} * \frac{a}{b} \rightarrow G' = \frac{2\,524,12 \text{ kg}}{1,48 \text{ cm}} * \frac{2,50 \text{ m}}{2,45 \text{ m}} = 640,9 \text{ kg/cm}$$



**PLANTA ACOTADA**

ESCALA 1:40

**UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA**

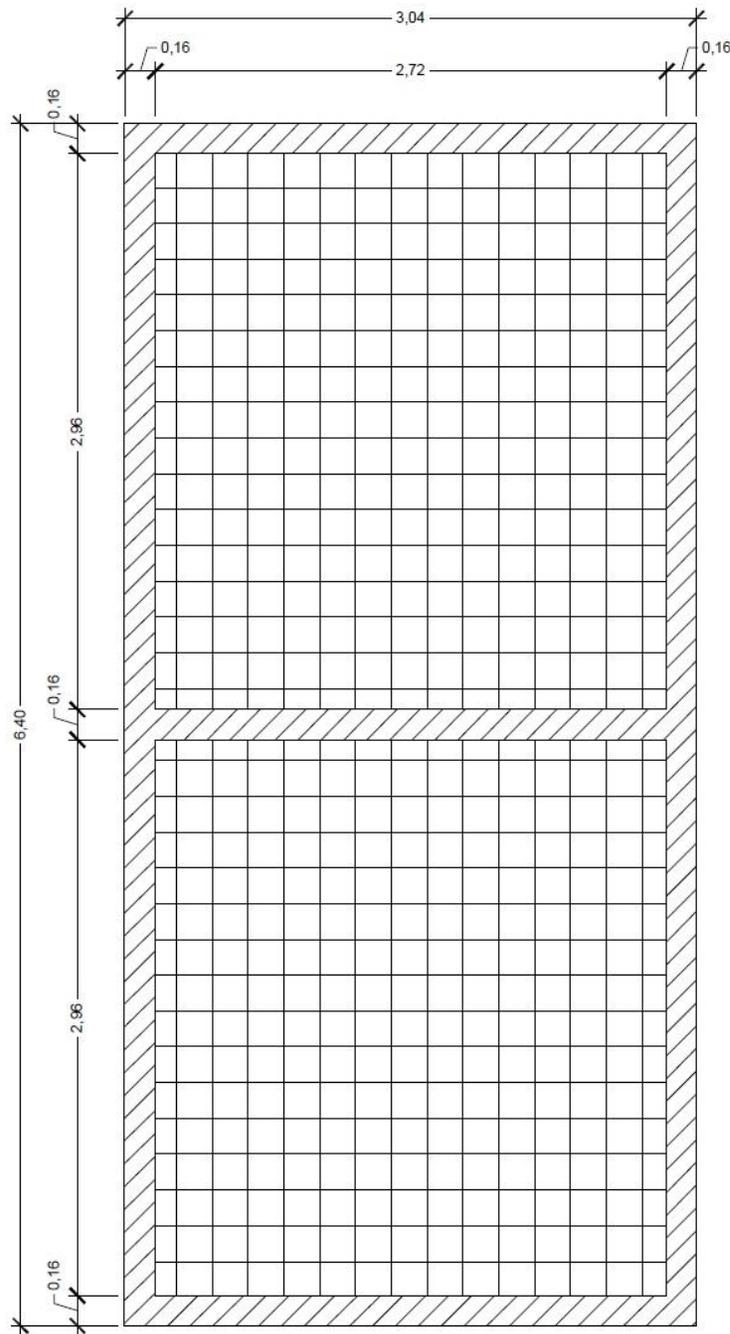
FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL

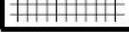
TRABAJO DE GRADUACIÓN:

DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y EVALUACIÓN DE UN ELEMENTO CONSTRUCTIVO PARA VIVIENDA UTILIZANDO CAÑAS DE MAÍZ





NOTA: PARA EL CIMENTO SE REALIZARA UNA LOSA DE CIMENTACIÓN, SEGÚN LAS ESPECIFICACIONES INDICADAS EN LOS PLANOS

SIMBOLOGIA	
	SOLERA HIDROFUGA
	ELECTROMALLA 6"X6"

**PLANTA DE CIMENTACIÓN**

ESCALA 1:40

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

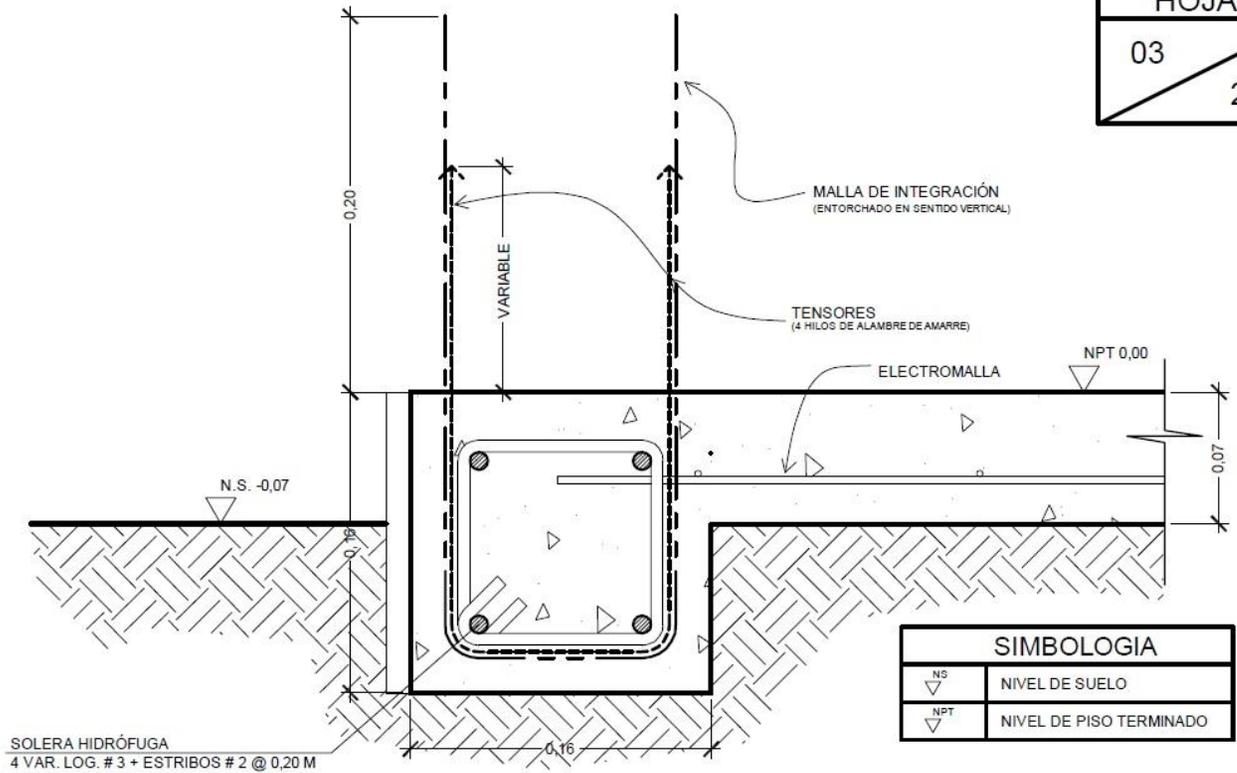
FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL

TRABAJO DE GRADUACIÓN:

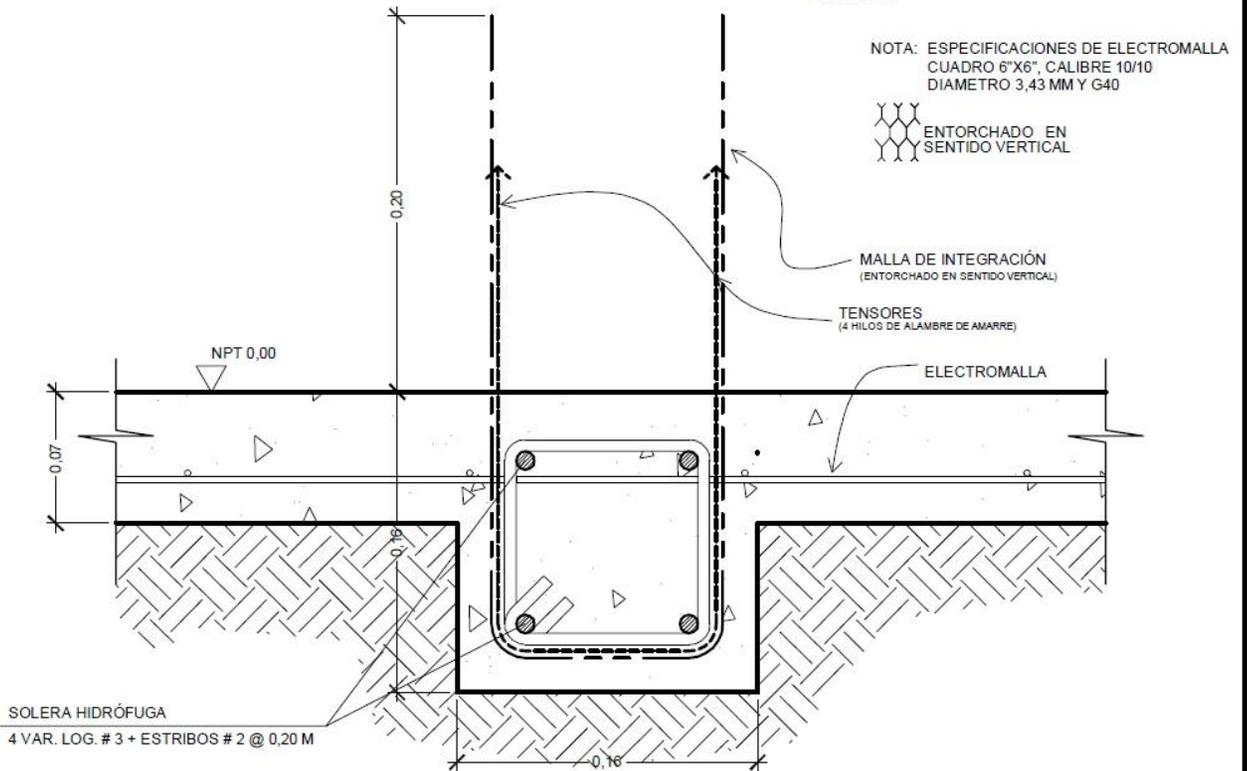
DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y EVALUACIÓN DE UN ELEMENTO CONSTRUCTIVO PARA VIVIENDA UTILIZANDO CAÑAS DE MAÍZ





**DETALLE DE CIMENTACIÓN - EXTREMO**

ESCALA 1:4



**DETALLE DE CIMENTACIÓN - CENTRO**

ESCALA 1:4

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

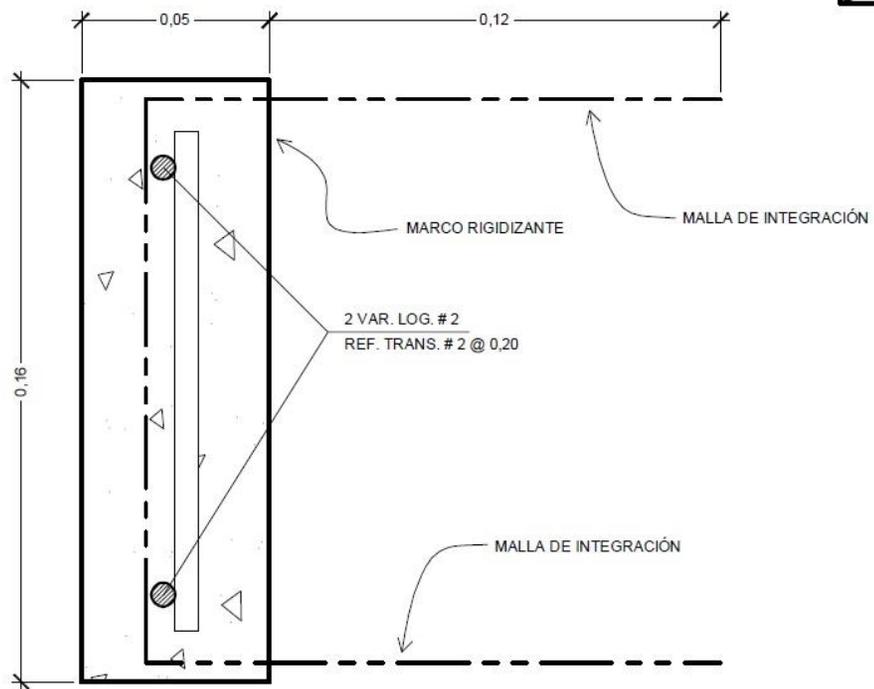
FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL

TRABAJO DE GRADUACIÓN:

DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y EVALUACIÓN DE UN ELEMENTO CONSTRUCTIVO PARA VIVIENDA UTILIZANDO CAÑAS DE MAÍZ





### DETALLE DE MARCO RIGIDIZANTE

ESCALA 1:4

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

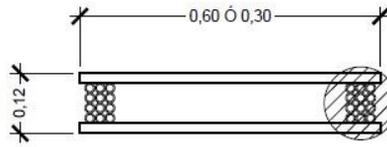
FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL

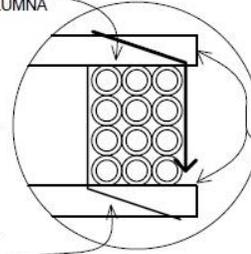
TRABAJO DE GRADUACIÓN:

DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y EVALUACIÓN DE UN ELEMENTO  
CONSTRUCTIVO PARA VIVIENDA UTILIZANDO CAÑAS DE MAÍZ





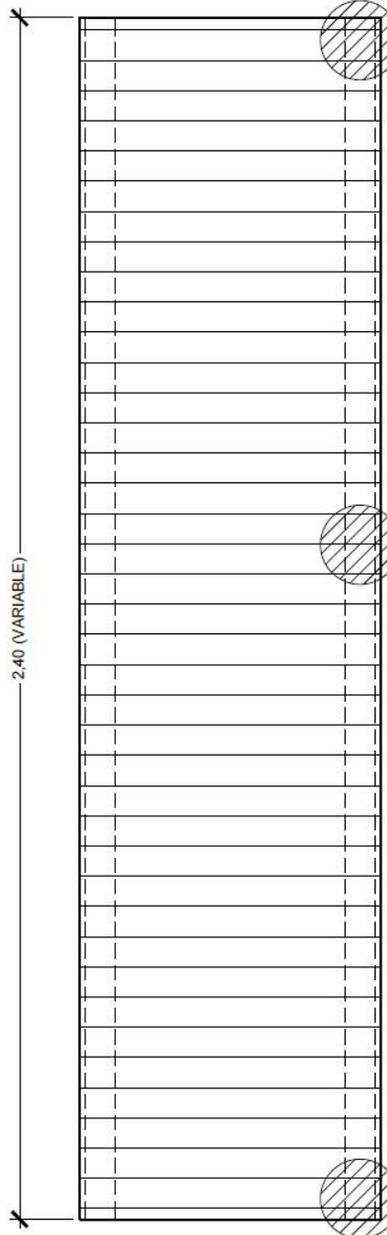
3X4 CAÑAS COLUMNA



CAÑAS HORIZONTALES

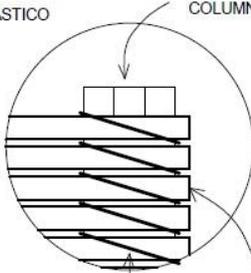
**PLANTA DEL PANEL DE CAÑAS**

ESCALA 1:15



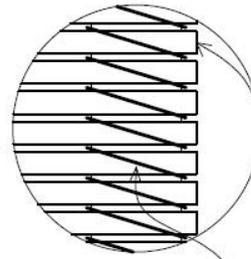
LAZO PLÁSTICO

3X4 CAÑAS COLUMNA



CAÑAS HORIZONTALES

LAZO PLÁSTICO

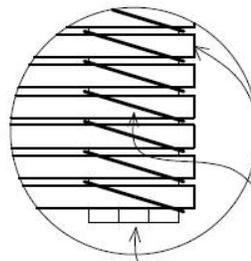


CAÑAS HORIZONTALES

LAZO PLÁSTICO

**ELEVACIÓN**

ESCALA 1:15



CAÑAS HORIZONTALES

LAZO PLÁSTICO

COLUMNA 3X4 CAÑAS

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

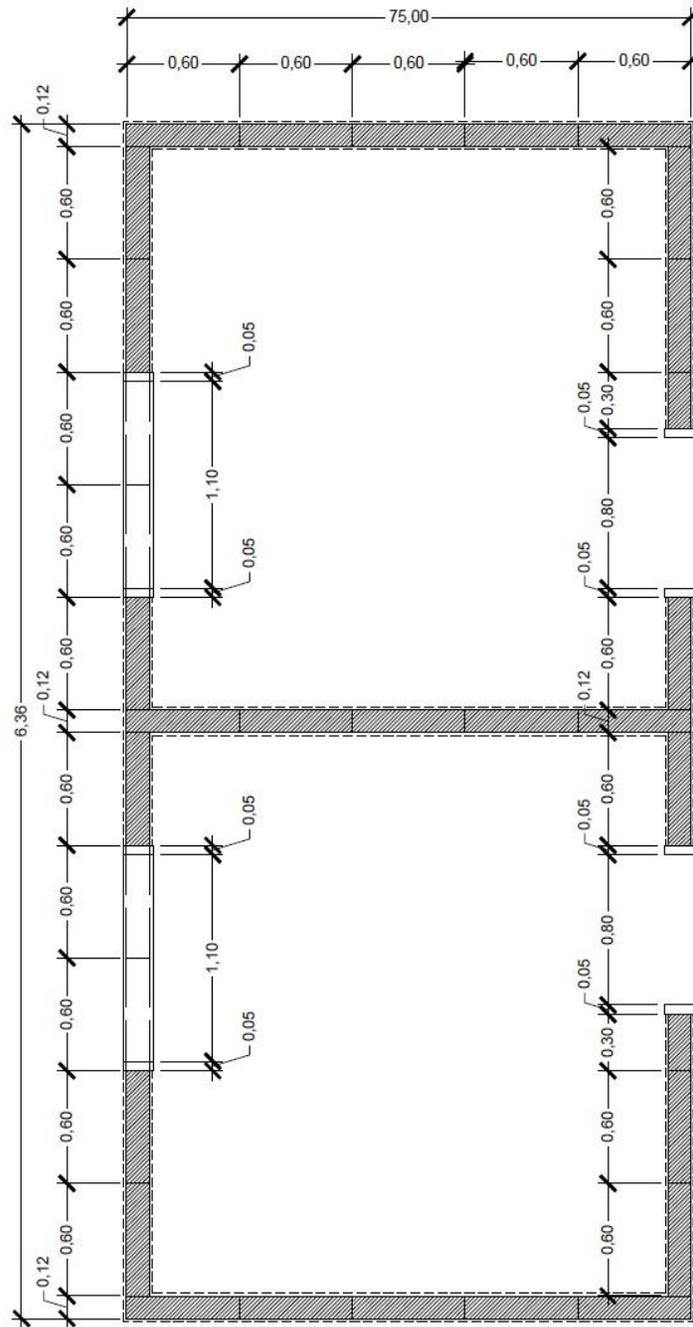
FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL

TRABAJO DE GRADUACIÓN:

DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y EVALUACIÓN DE UN ELEMENTO CONSTRUCTIVO PARA VIVIENDA UTILIZANDO CAÑAS DE MAÍZ





NOTA: PROCESO DE ARMADO

1. UNIR PANELES
2. COLOCARLOS SOBRE SOLERA
3. TENSAR LOS TORONES VERTICALES
4. APLICAR BASE Y FORJADO
5. FERRAR CON MALLA
6. TENSAR LOS TORONES EN DIAGONAL
7. COLOCAR MALLA EN ZONAS CRITICAS

SIMBOLOGIA	
	PANEL DE CAÑAS
	MALLA DE GALLINERO
	MARCO RIGIDIZANTE

**PLANTA - DISTRIBUCIÓN DE PANEL**

ESCALA 1:40

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

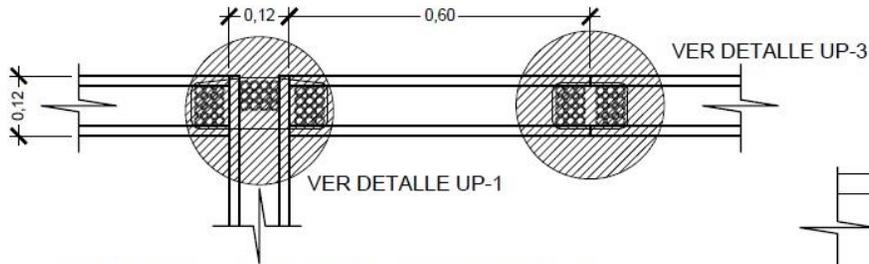
FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL

TRABAJO DE GRADUACIÓN:

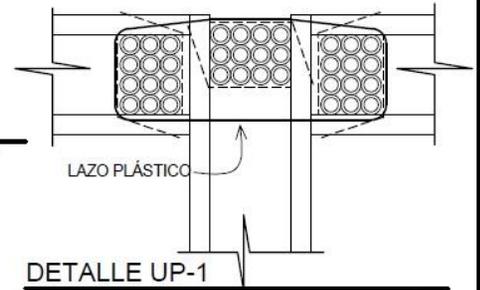
DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y EVALUACIÓN DE UN ELEMENTO CONSTRUCTIVO PARA VIVIENDA UTILIZANDO CAÑAS DE MAÍZ





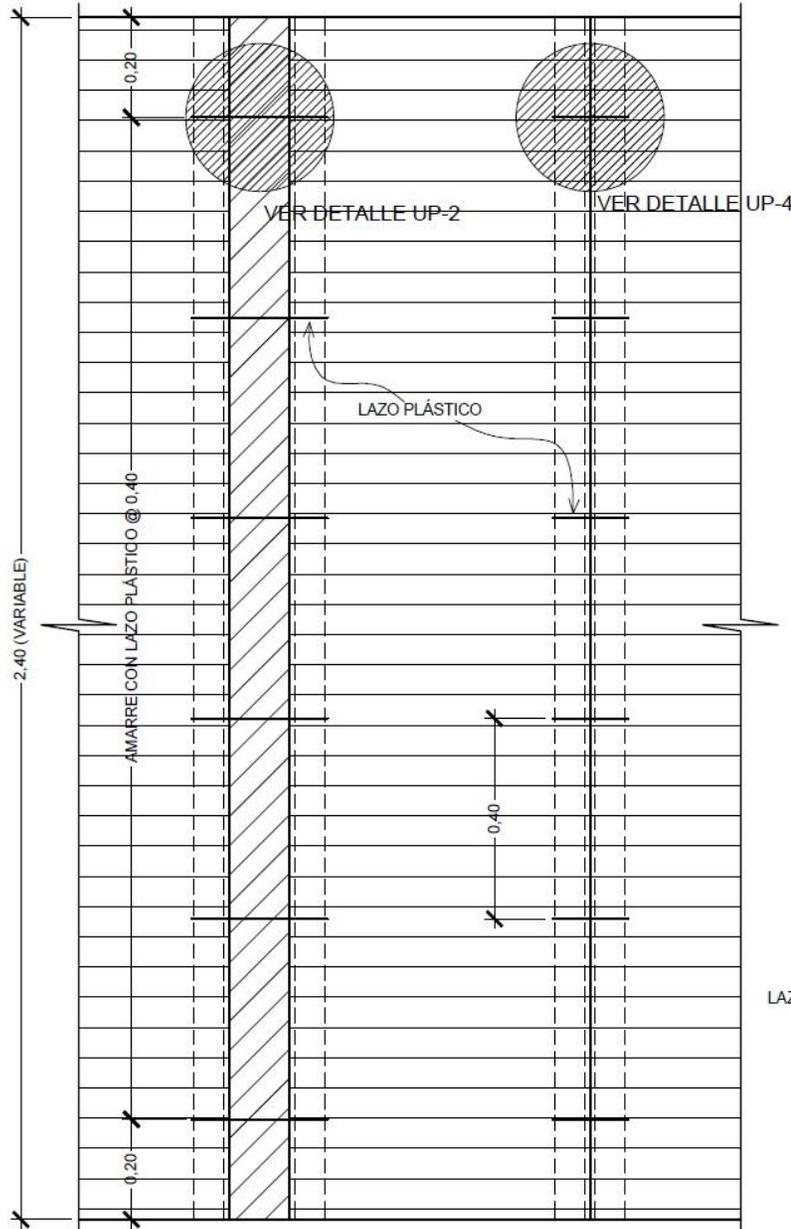
PLANTA - UNION ENTRE PANELES

ESCALA 1:15



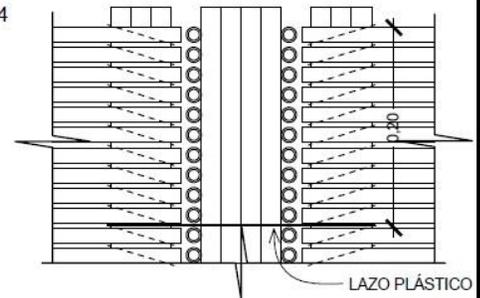
DETALLE UP-1

ESCALA 1:7,5



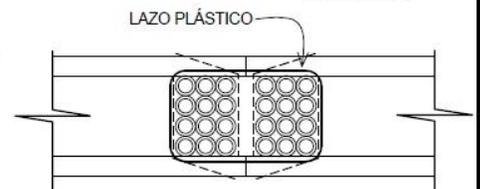
ELEVACIÓN

ESCALA 1:15



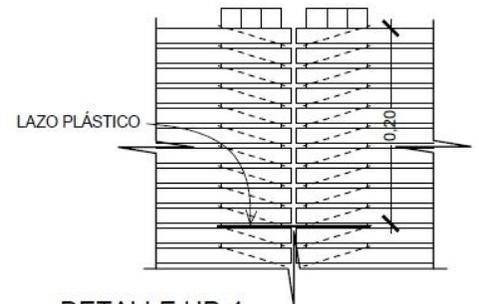
DETALLE UP-2

ESCALA 1:7,5



DETALLE UP-3

ESCALA 1:7,5



DETALLE UP-4

ESCALA 1:7,5

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

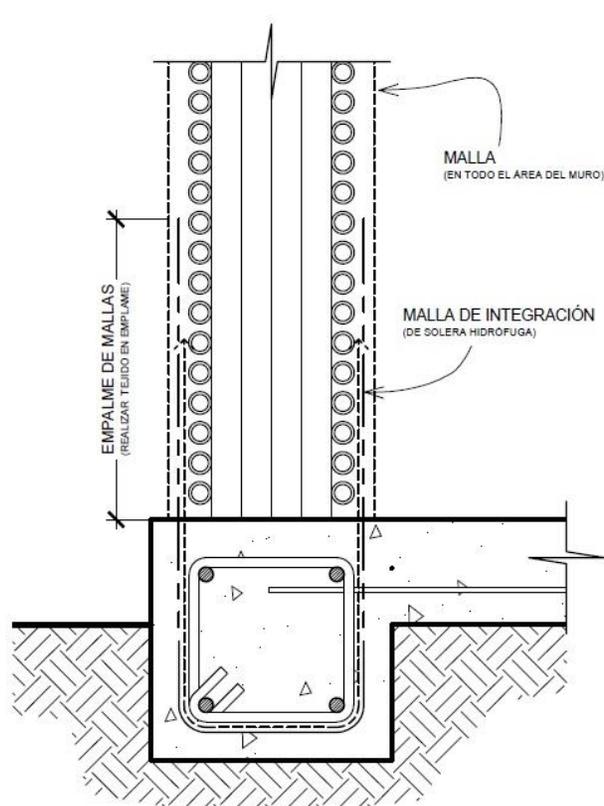
FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL

TRABAJO DE GRADUACIÓN:

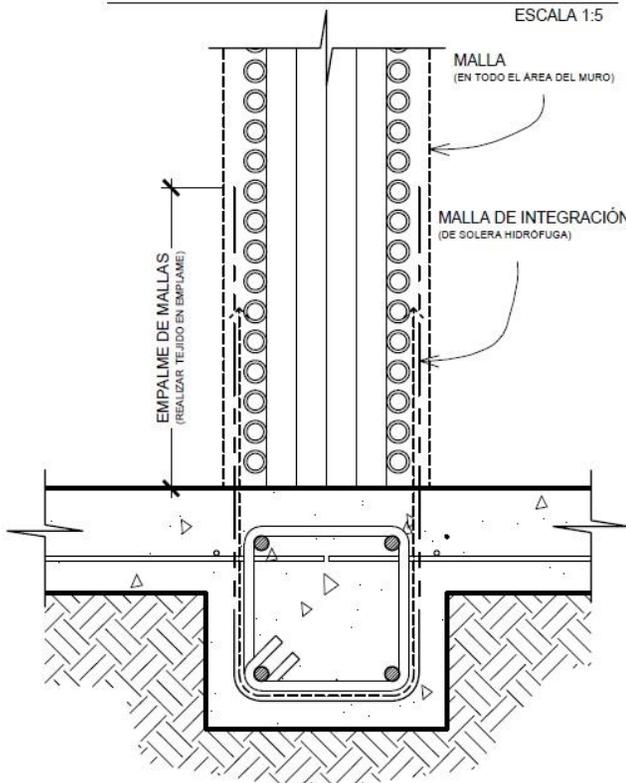
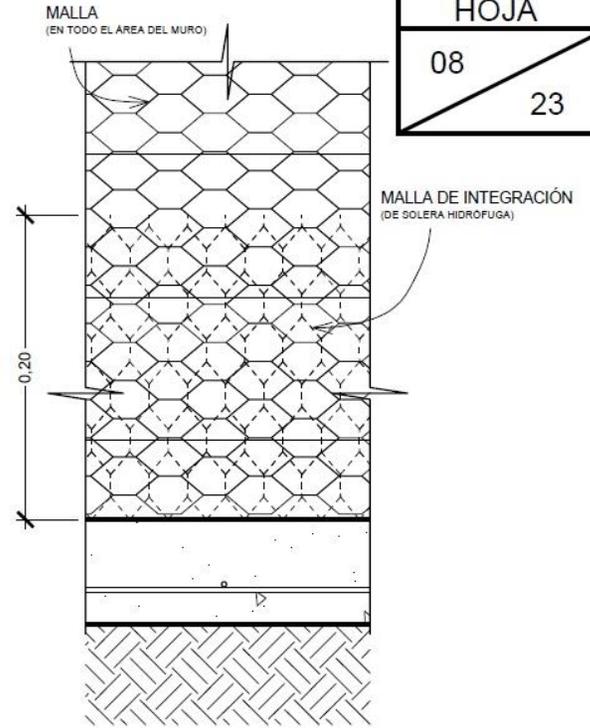
DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y EVALUACIÓN DE UN ELEMENTO CONSTRUCTIVO PARA VIVIENDA UTILIZANDO CAÑAS DE MAÍZ





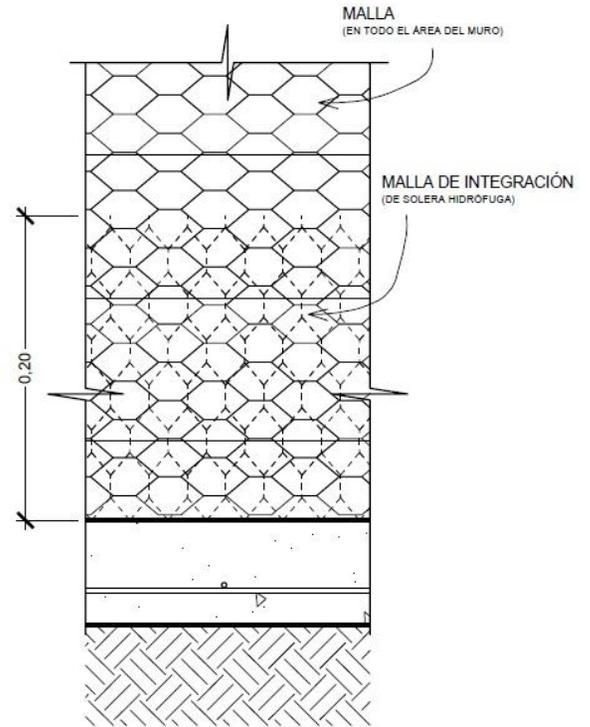
DETALLE DE EXTREMO

ESCALA 1:5



DETALLE DE CENTRO

ESCALA 1:5



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

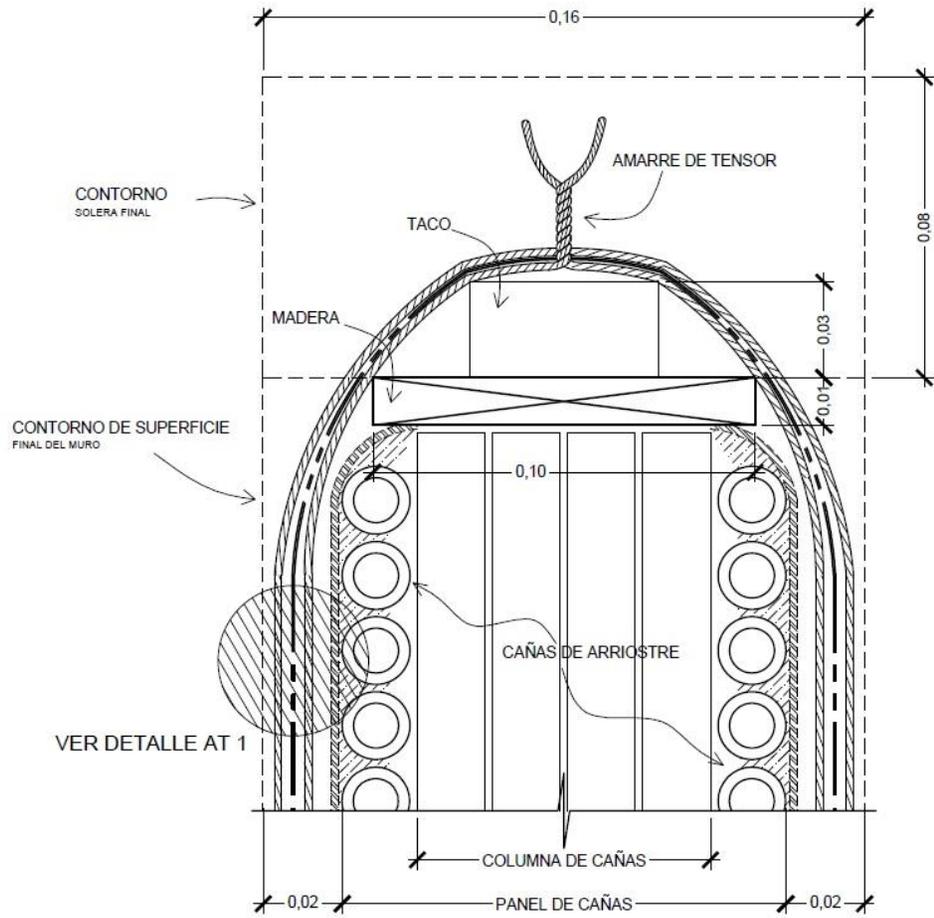
FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL

TRABAJO DE GRADUACIÓN:

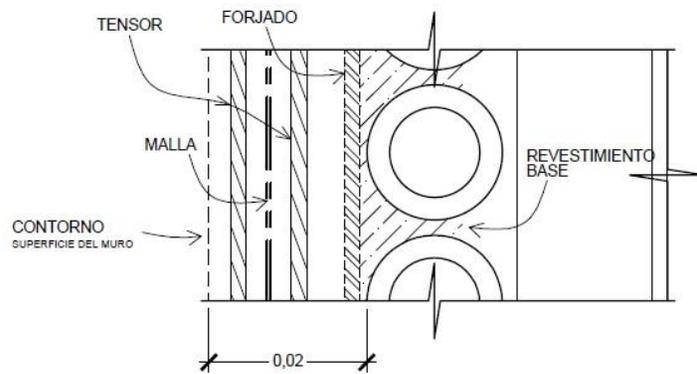
DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y EVALUACIÓN DE UN ELEMENTO CONSTRUCTIVO PARA VIVIENDA UTILIZANDO CAÑAS DE MAÍZ





**DETALLE TÍPICO - AMARRE DE TENSOR**

ESCALA 1:2



**DETALLE AT 1: DISTRIBUCIÓN DE REFUERZO**

ESCALA 1:1

**UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA**

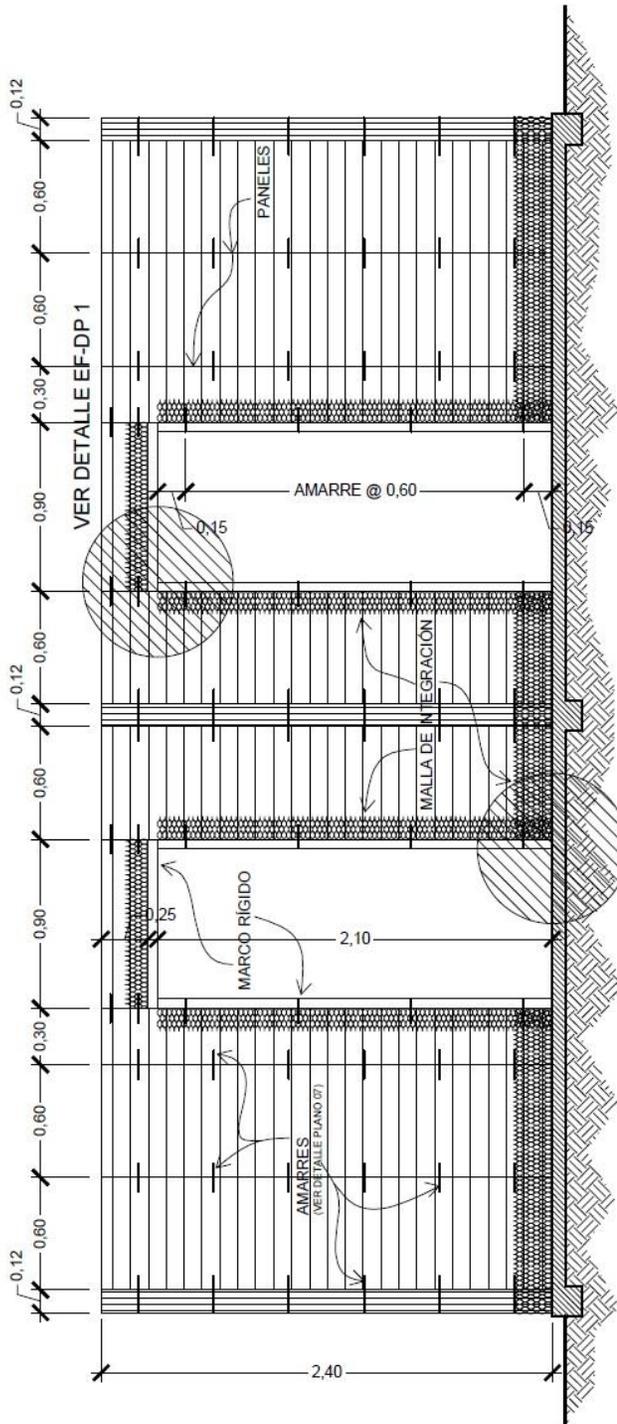
FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL

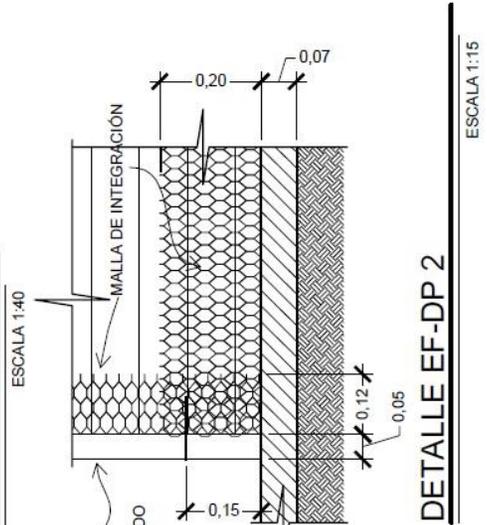
TRABAJO DE GRADUACIÓN:

DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y EVALUACIÓN DE UN ELEMENTO CONSTRUCTIVO PARA VIVIENDA UTILIZANDO CAÑAS DE MAÍZ



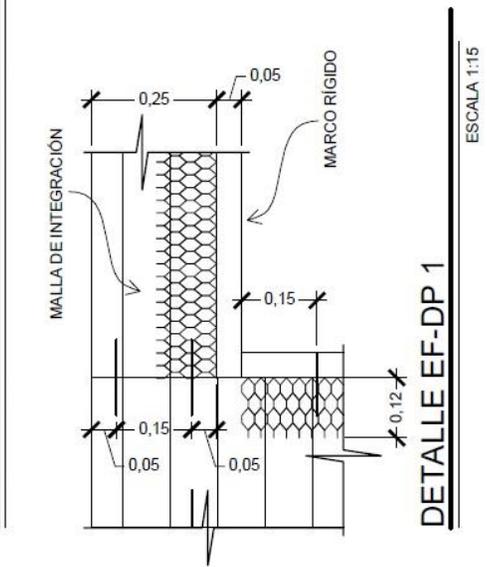


ELEVACIÓN FRONTAL - DISTRIBUCIÓN DE PANEL



DETALLE EF-DP 2

ESCALA 1:15



DETALLE EF-DP 1

ESCALA 1:15

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

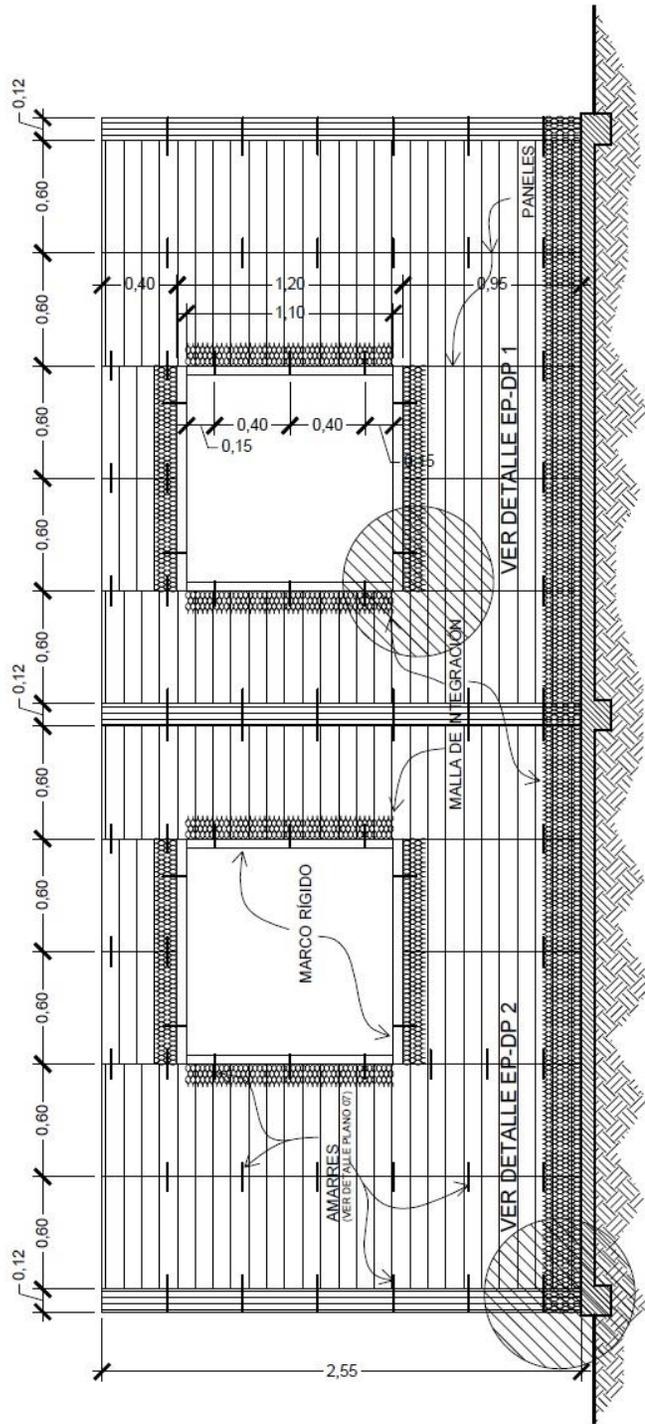
FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL

TRABAJO DE GRADUACIÓN:

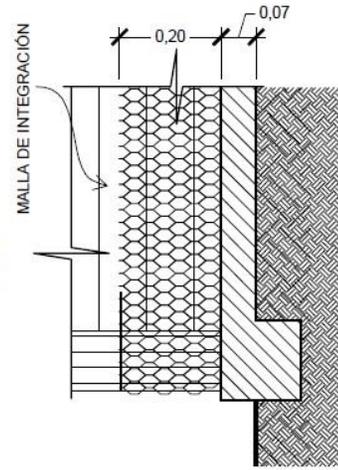
DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y EVALUACIÓN DE UN ELEMENTO CONSTRUCTIVO PARA VIVIENDA UTILIZANDO CAÑAS DE MAÍZ





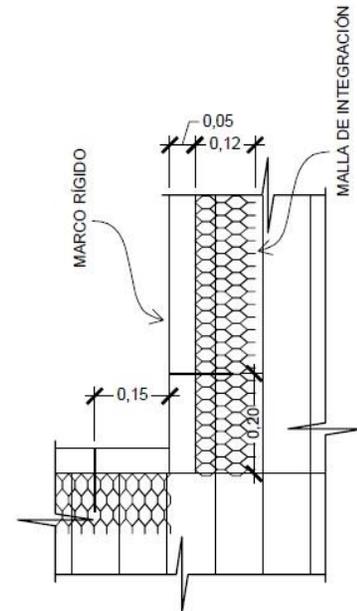
ELEVACIÓN POSTERIOR - DISTRIBUCIÓN DE PANEL

ESCALA 1:40



DETALLE EP-DP 2

ESCALA 1:15



DETALLE EP-DP 1

ESCALA 1:15

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

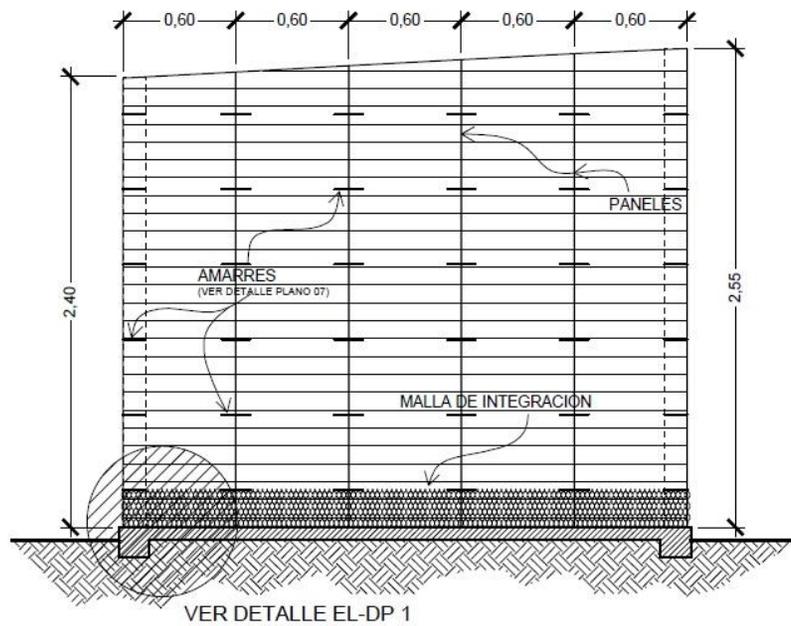
FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL

TRABAJO DE GRADUACIÓN:

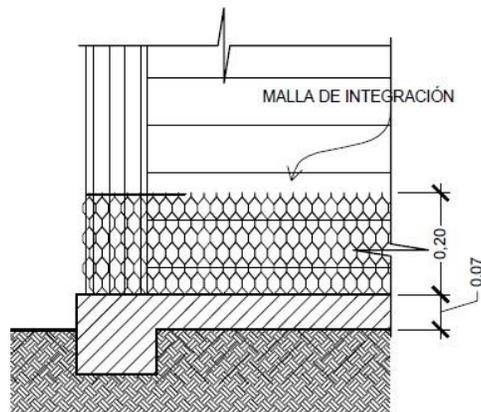
DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y EVALUACIÓN DE UN ELEMENTO CONSTRUCTIVO PARA VIVIENDA UTILIZANDO CAÑAS DE MAÍZ





ELEVACIÓN LATERAL - DISTRIBUCIÓN DE PANEL

ESCALA 1:40



DETALLE EL-DP 1

ESCALA 1:15

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

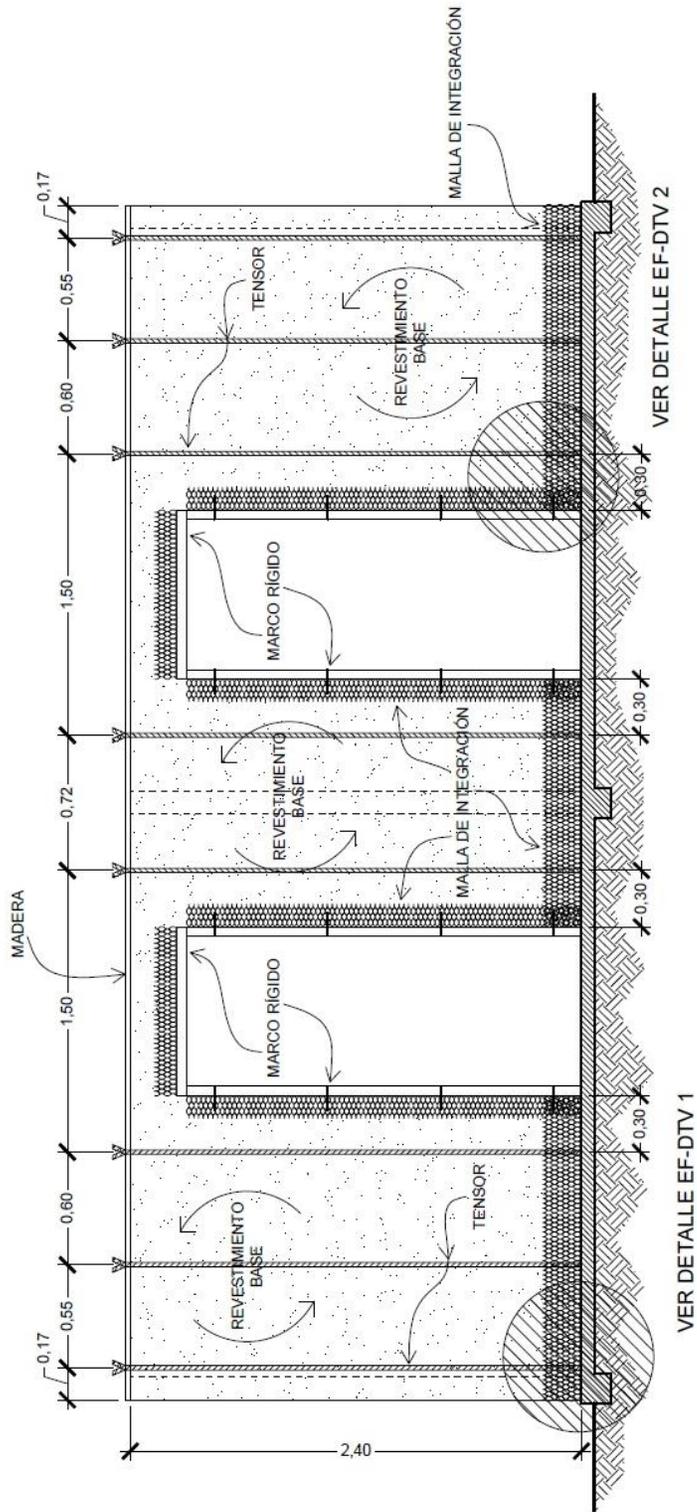
FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL

TRABAJO DE GRADUACIÓN:

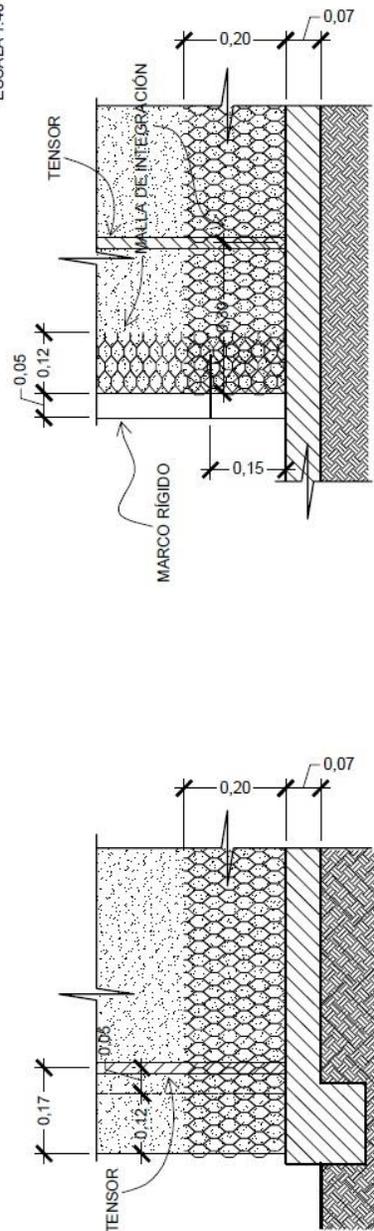
DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y EVALUACIÓN DE UN ELEMENTO CONSTRUCTIVO PARA VIVIENDA UTILIZANDO CAÑAS DE MAÍZ





ELEVACION FRONTAL - DISTRIBUCION DE TENSOR VERTICAL

ESCALA 1:40



DETALLE EF-DTV 2

ESCALA 1:15

DETALLE EF-DTV 1

ESCALA 1:15

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

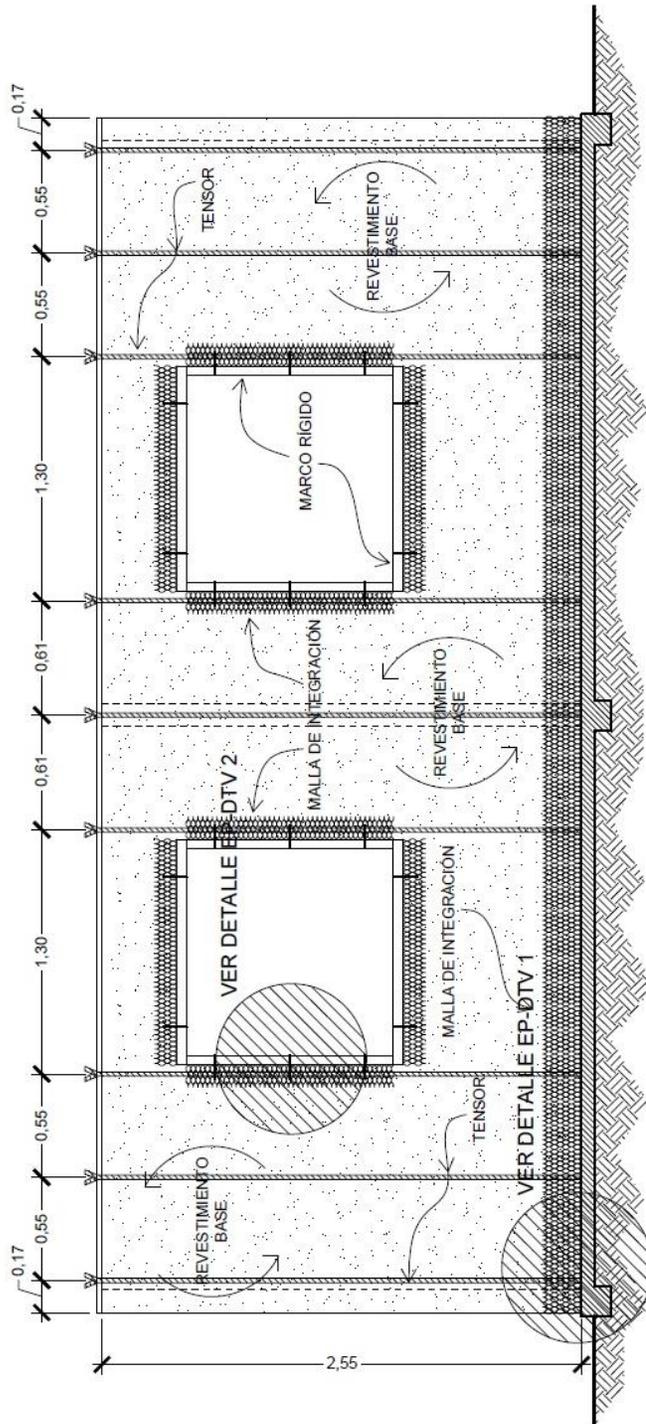
FACULTAD DE INGENIERIA

ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL

TRABAJO DE GRADUACION:

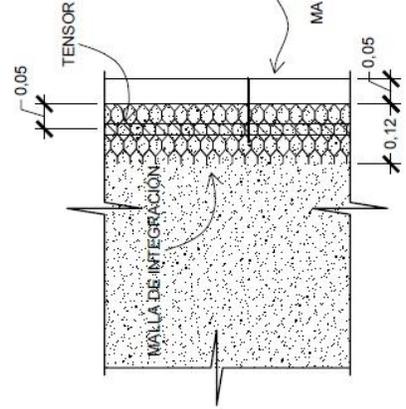
DISEÑO, CONSTRUCCION Y EVALUACION DE UN ELEMENTO CONSTRUCTIVO PARA VIVIENDA UTILIZANDO CAÑAS DE MAIZ





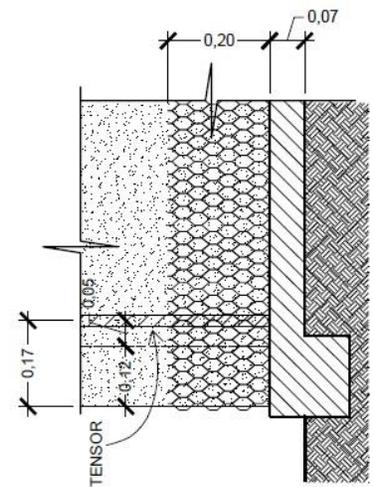
ELEVACIÓN POSTERIOR - DISTRIBUCIÓN DE TORÓN VERTICAL

ESCALA 1:40



DETALLE EP-DTV 2

ESCALA 1:15



DETALLE EP-DTV 1

ESCALA 1:15

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

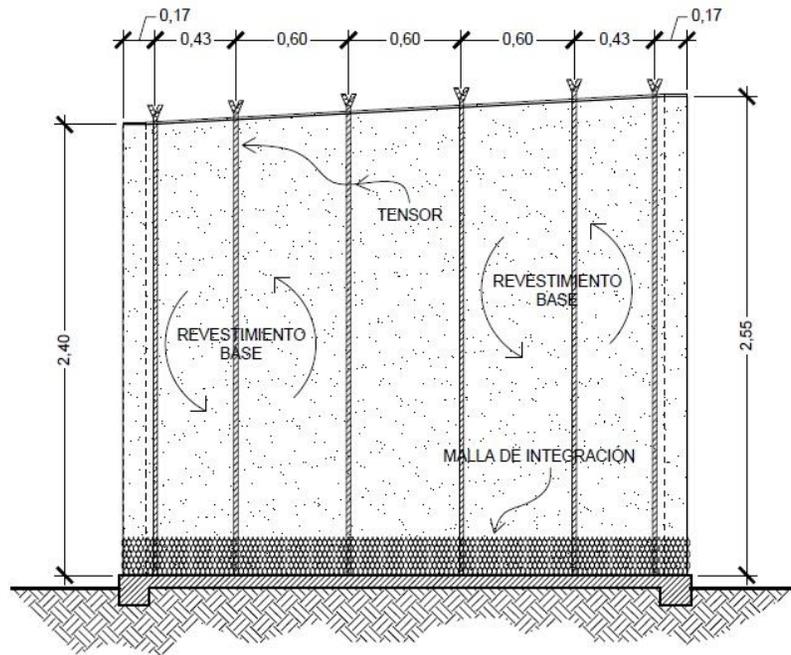
FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL

TRABAJO DE GRADUACIÓN:

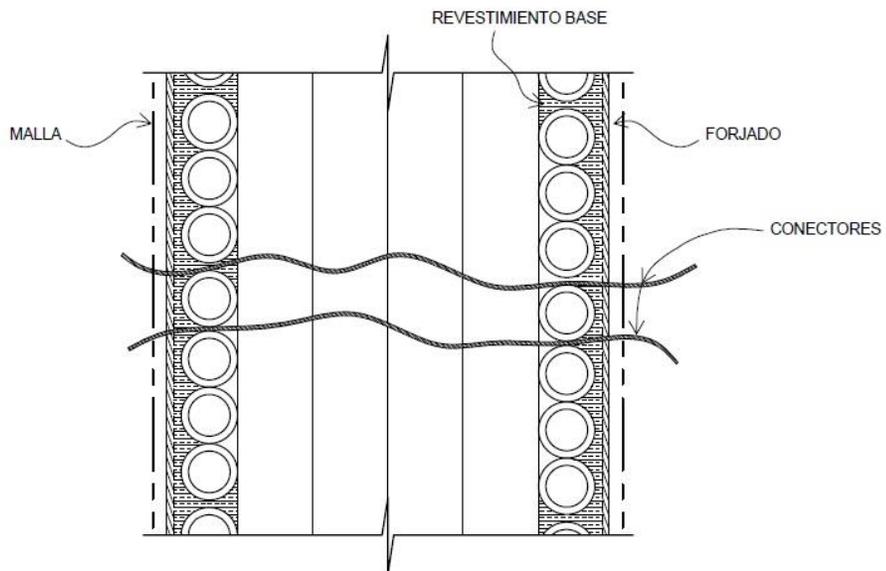
DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y EVALUACIÓN DE UN ELEMENTO CONSTRUCTIVO PARA VIVIENDA UTILIZANDO CAÑAS DE MAÍZ





ELEVACIÓN LATERAL - DISTRIBUCIÓN DE TORÓN

ESCALA 1:40



DETALLE DE CONECTOR

ESCALA 1:2

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

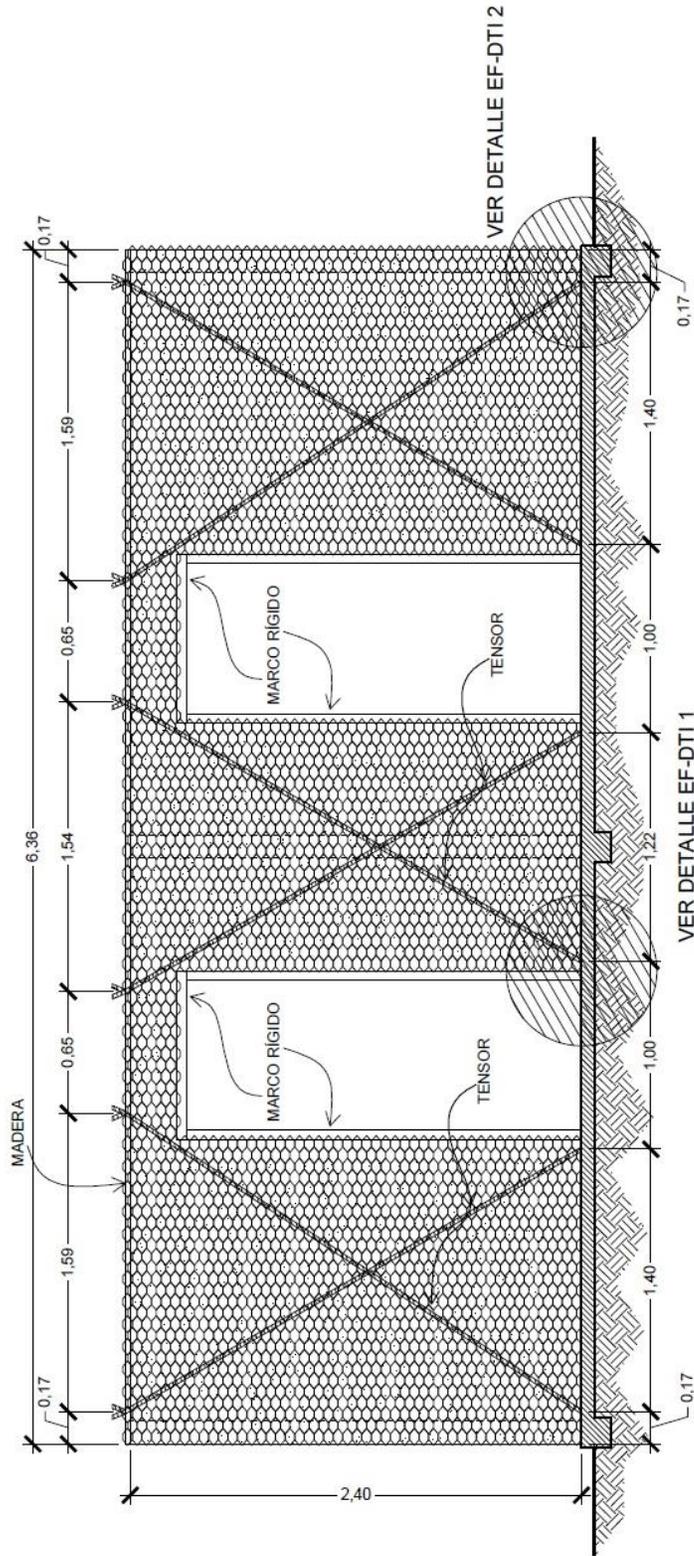
FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL

TRABAJO DE GRADUACIÓN:

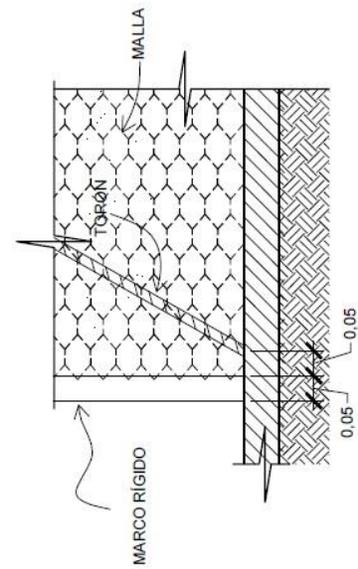
DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y EVALUACIÓN DE UN ELEMENTO CONSTRUCTIVO PARA VIVIENDA UTILIZANDO CAÑAS DE MAÍZ





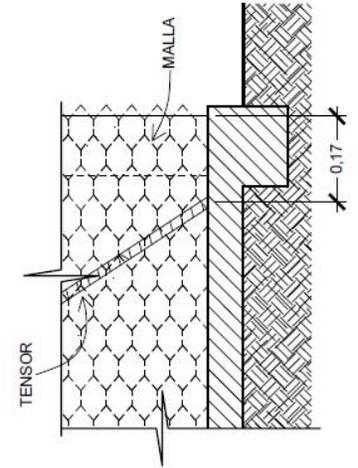
ELEVACIÓN FRONTAL - DISTRIBUCIÓN DE TENSOR INCLINADO

ESCALA 1:40



DETALLE EF-DTI 1

ESCALA 1:15



DETALLE EF-DTI 2

ESCALA 1:15

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

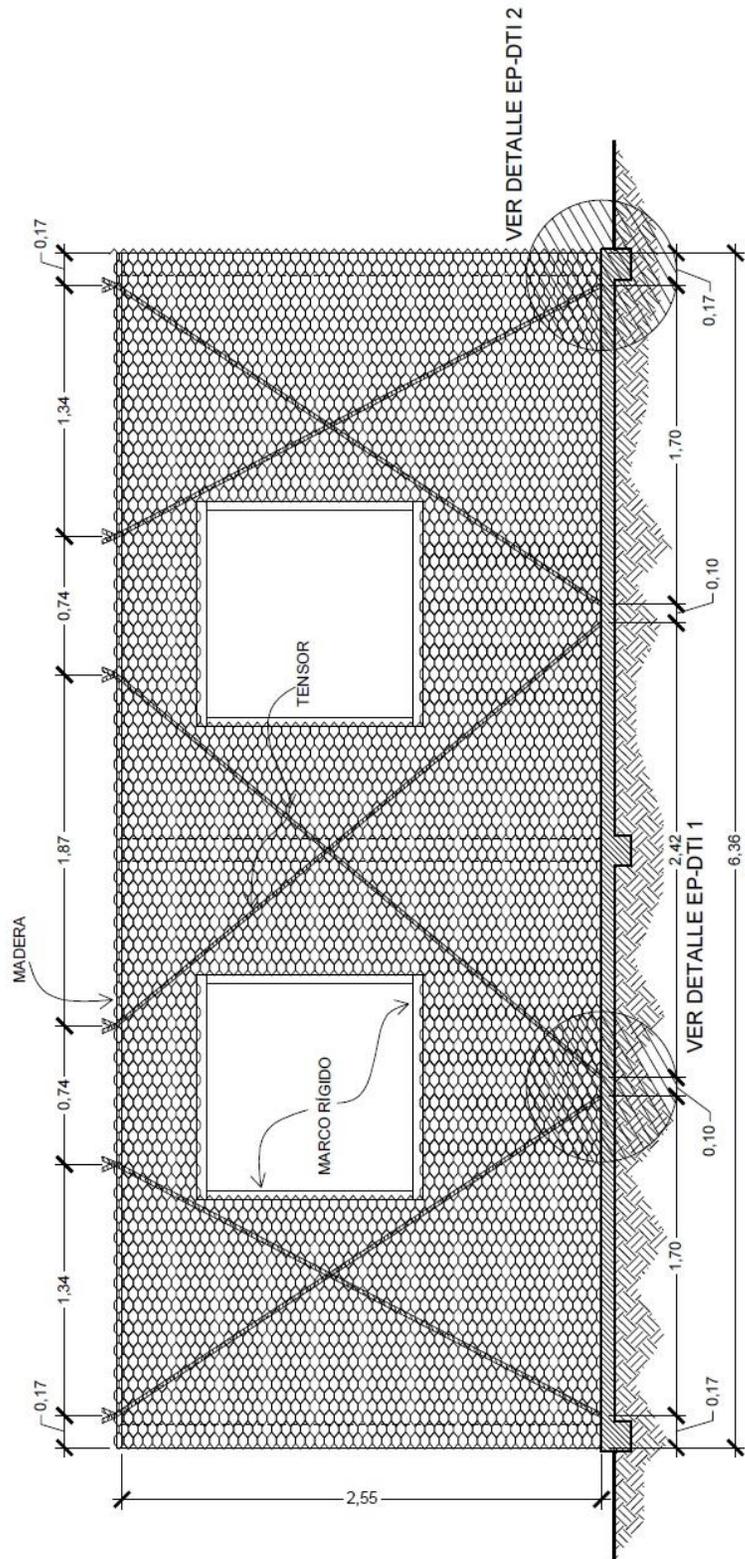
FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL

TRABAJO DE GRADUACIÓN:

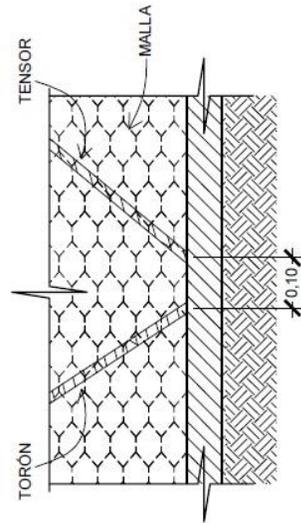
DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y EVALUACIÓN DE UN ELEMENTO CONSTRUCTIVO PARA VIVIENDA UTILIZANDO CAÑAS DE MAÍZ





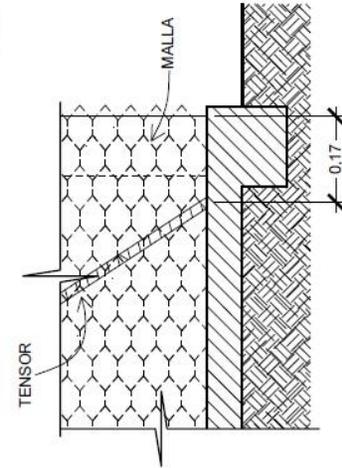
**ELEVACIÓN POSTERIOR - DISTRIBUCIÓN DE TENSOR INCLINADO**

ESCALA 1:40



**DETALLE EP-DTI 1**

ESCALA 1:15



**DETALLE EP-DTI 2**

ESCALA 1:15

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

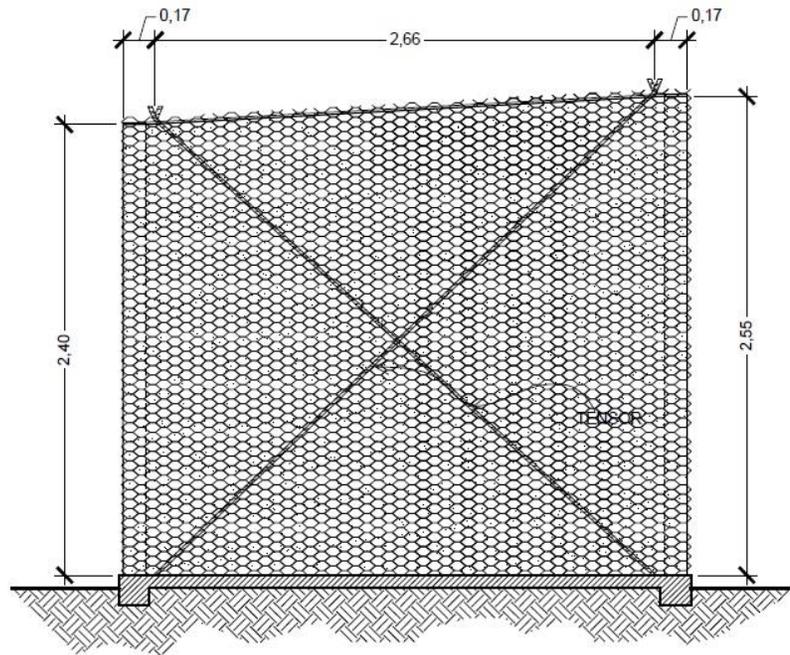
FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL

TRABAJO DE GRADUACIÓN:

DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y EVALUACIÓN DE UN ELEMENTO CONSTRUCTIVO PARA VIVIENDA UTILIZANDO CAÑAS DE MAÍZ





ELEVACIÓN LATERAL - DISTRIBUCIÓN DE TORÓN DIAGONAL

ESCALA 1:40

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

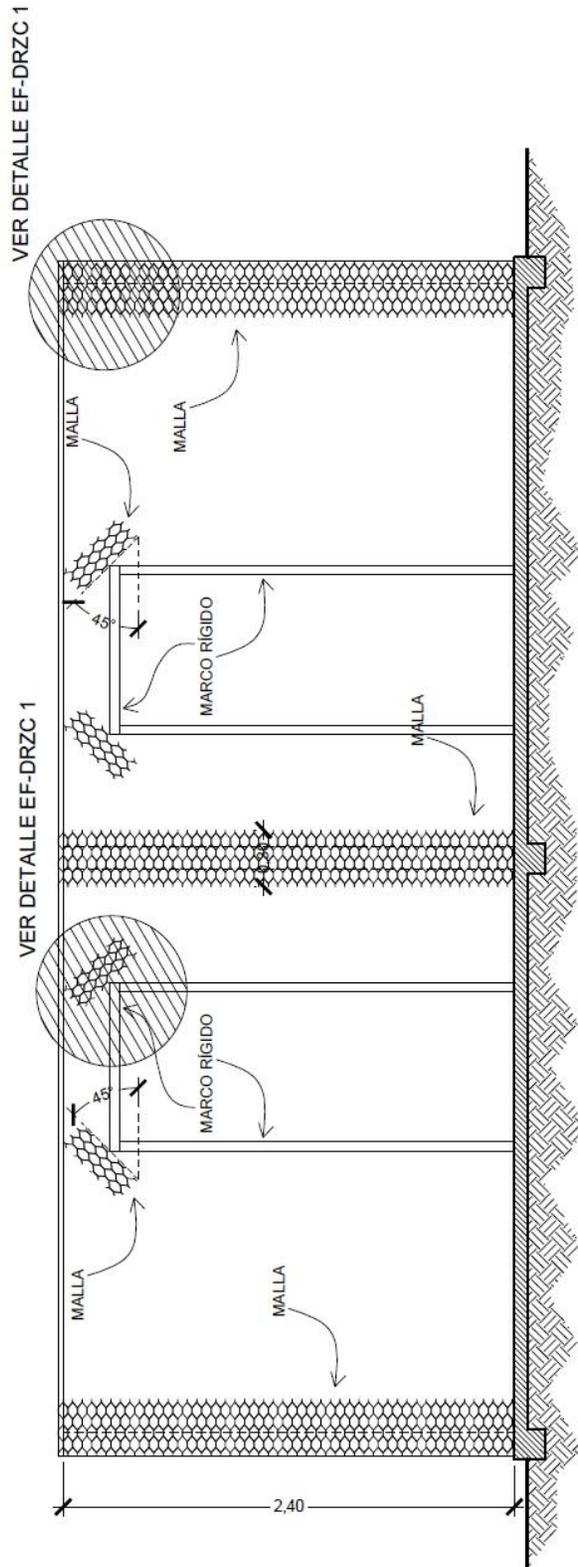
FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL

TRABAJO DE GRADUACIÓN:

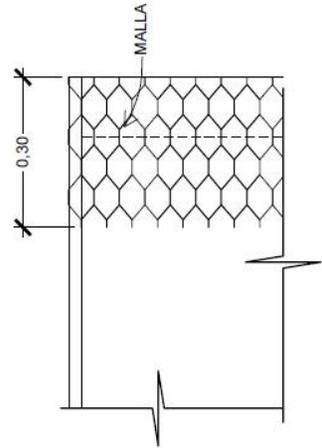
DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y EVALUACIÓN DE UN ELEMENTO  
CONSTRUCTIVO PARA VIVIENDA UTILIZANDO CAÑAS DE MAÍZ





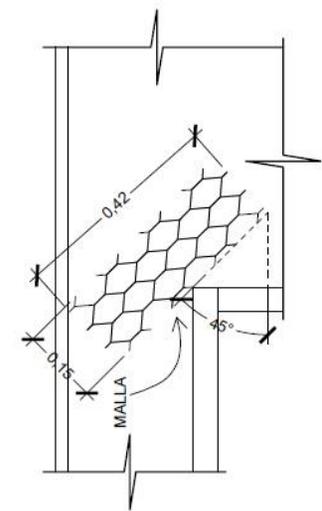
ELEVACIÓN FRONTAL - DISTRIBUCIÓN DE REFUERZO ZONAS CRÍTICAS

ESCALA 1:40



DETALLE EF-DRZC 2

ESCALA 1:15



DETALLE EF-DRZC 1

ESCALA 1:15

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

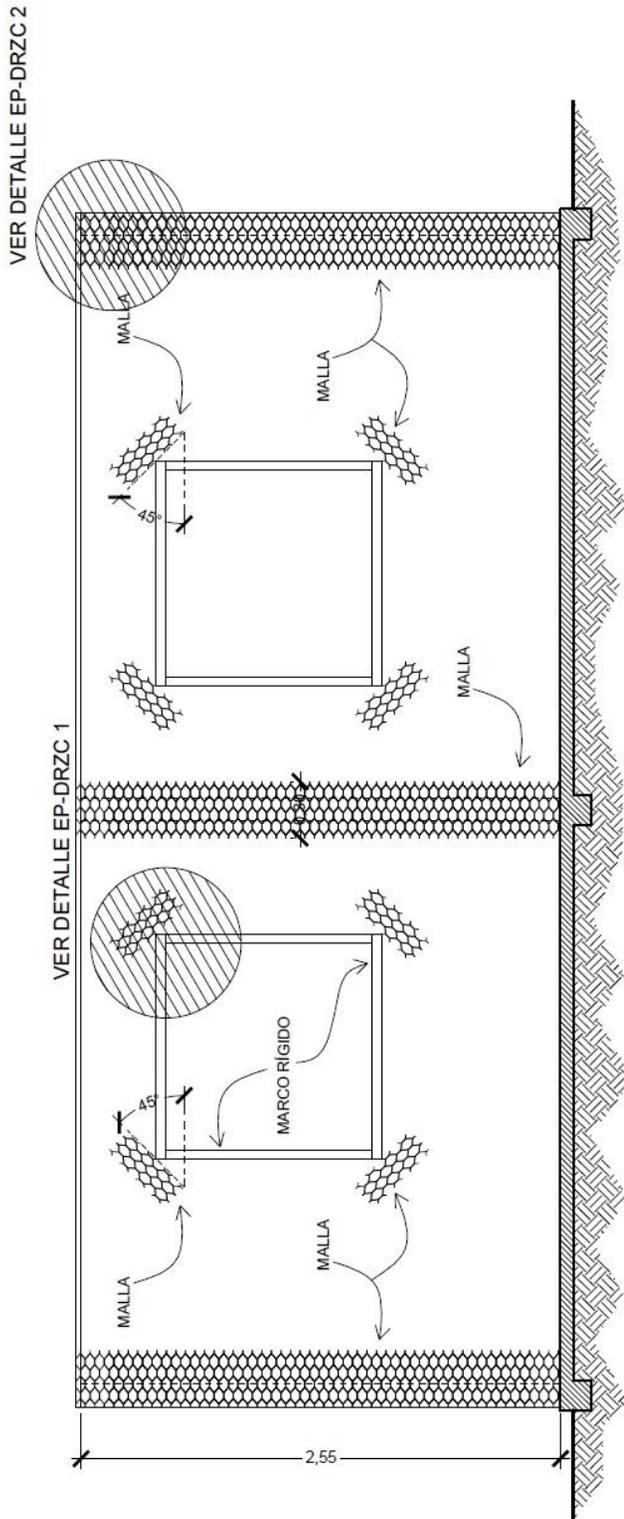
FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL

TRABAJO DE GRADUACIÓN:

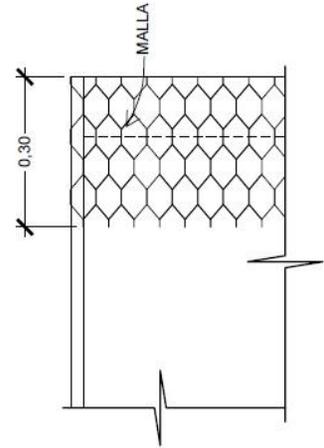
DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y EVALUACIÓN DE UN ELEMENTO CONSTRUCTIVO PARA VIVIENDA UTILIZANDO CAÑAS DE MAÍZ





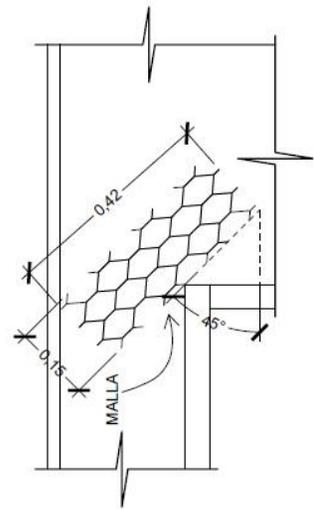
**ELEVACIÓN POSTERIOR - DISTRIBUCIÓN DE REFUERZO EN ZONA CRÍTICA**

ESCALA 1:40



**DETALLE EP-DRZC 2**

ESCALA 1:15



**DETALLE EP-DRZC 1**

ESCALA 1:15

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

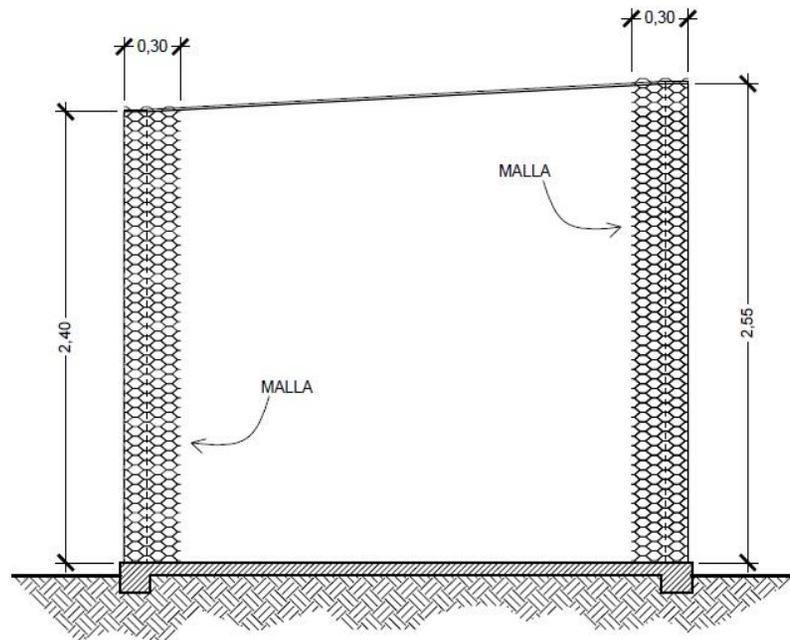
FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL

TRABAJO DE GRADUACIÓN:

DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y EVALUACIÓN DE UN ELEMENTO CONSTRUCTIVO PARA VIVIENDA UTILIZANDO CAÑAS DE MAÍZ





ELEVACIÓN LATERAL - DISTRIBUCIÓN DE REFUERZO EN ZONA CRÍTICA

ESCALA 1:40

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

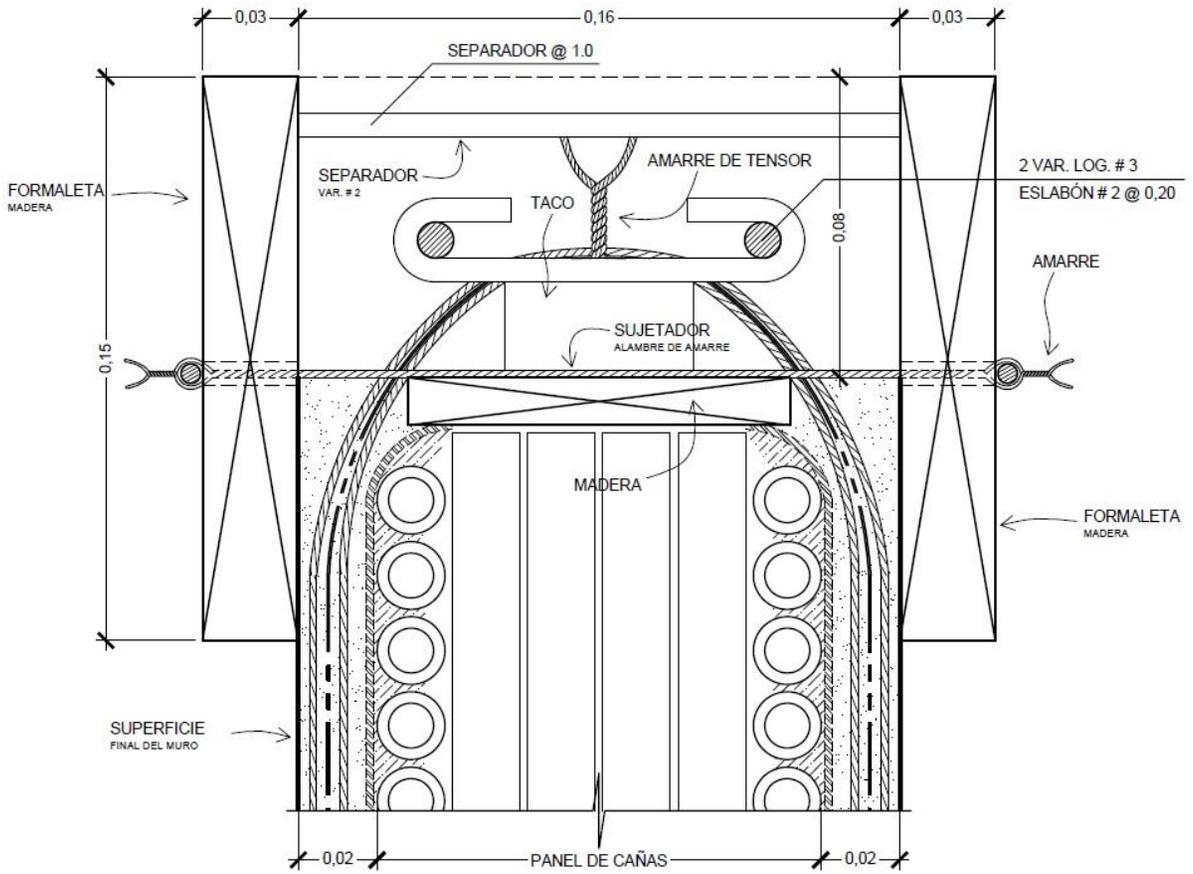
FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL

TRABAJO DE GRADUACIÓN:

DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y EVALUACIÓN DE UN ELEMENTO  
CONSTRUCTIVO PARA VIVIENDA UTILIZANDO CAÑAS DE MAÍZ





**DETALLE TÍPICO - FORMALETEADO DE SOLERA FINAL**

ESCALA 1:2

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

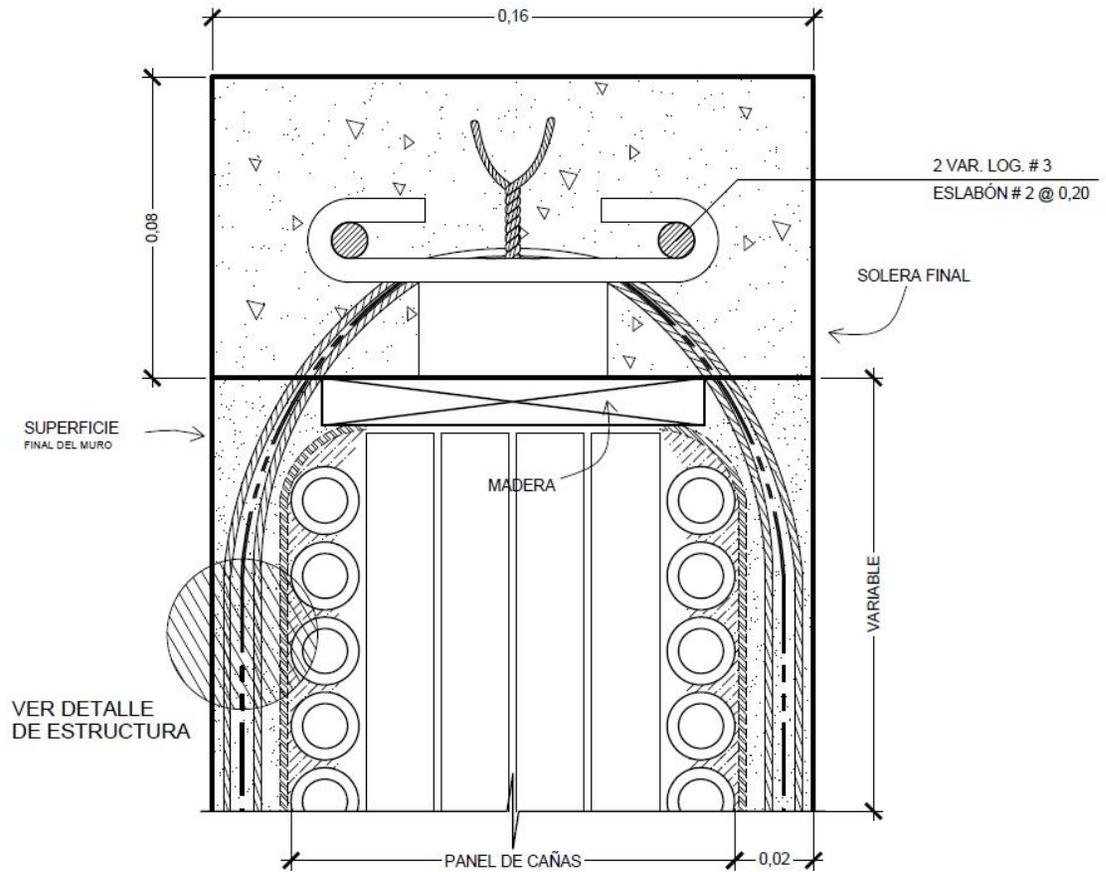
FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL

TRABAJO DE GRADUACIÓN:

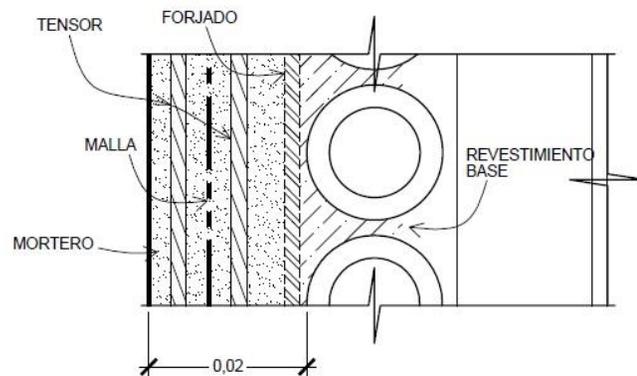
DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y EVALUACIÓN DE UN ELEMENTO CONSTRUCTIVO PARA VIVIENDA UTILIZANDO CAÑAS DE MAÍZ





**DETALLE TÍPICO - SOLERA FINAL**

ESCALA 1:2



**DETALLE DE ESTRUCTURA - FERROCEMENTO**

ESCALA 1:2

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL

TRABAJO DE GRADUACIÓN:

DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y EVALUACIÓN DE UN ELEMENTO CONSTRUCTIVO PARA VIVIENDA UTILIZANDO CAÑAS DE MAÍZ