



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

**PROPUESTA DE TECHO DE CAÑA DE MAÍZ CON FERROCEMENTO PARA  
VIVIENDAS EN ÁREAS RURALES**

**Cristian Fernando Galicia Garrido**

Asesorado por el Ing. Mario Rodolfo Corzo Ávila

Guatemala, noviembre de 2016

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**PROPUESTA DE TECHO DE CAÑA DE MAÍZ CON FERROCEMENTO PARA  
VIVIENDAS EN ÁREAS RURALES**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA  
FACULTAD DE INGENIERÍA

POR

**CRISTIAN FERNANDO GALICIA GARRIDO**

ASESORADO POR EL ING. MARIO RODOLFO CORZO ÁVILA

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

**INGENIERO CIVIL**

GUATEMALA, NOVIEMBRE DE 2016

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE INGENIERÍA



**NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA**

DECANO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL I	Ing. Angel Roberto Sic García
VOCAL II	Ing. Pablo Christian de León Rodríguez
VOCAL III	Inga. Elvia Miriam Ruballos Samayoa
VOCAL IV	Br. Raúl Eduardo Ticún Córdova
VOCAL V	Br. Henry Fernando Duarte García
SECRETARIA	Inga. Lesbia Magalí Herrera López

**TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO**

DECANO	Ing. Murphy Olimpo Paiz Recinos
EXAMINADORA	Inga. Dilma Yanet Mejicanos Yol
EXAMINADOR	Ing. Ronald Estuardo Galindo Cabrera
EXAMINADOR	Ing. Mario Estuardo Arriola Ávila
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:

### **PROPUESTA DE TECHO DE CAÑA DE MAÍZ CON FERROCEMENTO PARA VIVIENDAS EN ÁREAS RURALES**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Civil, con fecha 10 de julio de 2014.

**Cristian Fernando Galicia Garrido**

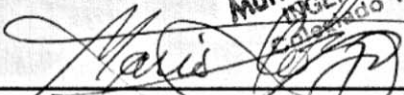
Guatemala 09 de junio de 2016

Ingeniero  
José Gabriel Ordoñez Morales  
Coordinador Área de Materiales y Construcciones Civiles  
Escuela de Ingeniería Civil  
Facultad de Ingeniería  
Universidad de San Carlos de Guatemala  
Presente

Estimado Ingeniero:

Cumpliendo con lo resuelto con la Dirección de la Escuela de Ingeniería Civil, se procedió a la asesoría y revisión del trabajo de graduación: **PROPUESTA DE TECHO DE CAÑA DE MAÍZ CON FERROCEMENTO PARA VIVIENDAS EN AREAS RURALES**, presentado por el estudiante: Cristian Fernando Galicia Garrido, carné 2003-20700.

Considero que el trabajo de graduación se a desarrollado satisfactoriamente y cumple con los objetivos que motivaron la selección de dicho tema, por lo que hago de su conocimiento que apruebo el trabajo realizado. Sin otro particular, atentamente

  
**Mario Rodolfo Corzo A.**  
INGENIERO CIVIL  
Colegiado No. 2089

---

Mario Rodolfo Corzo Ávila  
Ingeniero Civil Colegiado No. 2089



**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,  
 25 de octubre de 2016

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

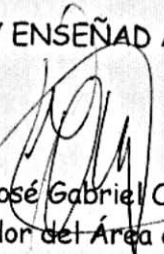
Estimado Ingeniero Montenegro.

Le informo que he revisado el trabajo de graduación **PROPUESTA DE TECHO DE CAÑA DE MAÍZ CON FERROCEMENTO PARA VIVIENDAS EN AREAS RURALES** desarrollado por el estudiante de Ingeniería Civil Cristian Fernando Galicia quien contó con la asesoría del Ing. Mario Rodolfo Corzo Ávila.

Considero este trabajo bien desarrollado y representa un aporte para la comunidad del área y habiendo cumplido con los objetivos del referido trabajo doy mi aprobación al mismo solicitando darle el trámite respectivo.

Atentamente,

ID Y ENSEÑAD A TODOS

  
 Ing. Civil José Gabriel Ordóñez Morales  
 Coordinador del Área de Materiales y  
 Construcciones Civiles



FACULTAD DE INGENIERIA  
 AREA DE MATERIALES Y  
 CONSTRUCCIONES CIVILES  
**USAC**

/mrrm.

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



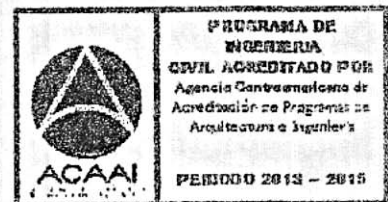
El director de la Escuela de Ingeniería Civil, después de conocer el dictamen del Asesor Ing. Mario Rodolfo Corzo Ávila y del Coordinador del Área de Materiales y Construcciones Civiles Ing. José Gabriel Ordóñez Morales, al trabajo de graduación del estudiante Cristian Fernando Galicia Garrido, titulado PROPUESTA DE TECHO DE CAÑA DE MAÍZ CON FERROCEMENTO PARA VIVIENDAS EN ÁREAS RURALES, da por este medio su aprobación a dicho trabajo.

*Hugo Leonel Montenegro Franco*  
Ing. Hugo Leonel Montenegro Franco



Guatemala, noviembre 2016  
/mrrm.

Mas de 134 años de Trabajo Académico y Mejora Continua





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: **PROPUESTA DE TECHO DE CAÑA DE MAIZ CON FERROCEMENTO PARA VIVIENDAS EN ÁREAS RURALES**, presentado por el estudiante universitario: **Cristian Fernando Galicia Garrido**, y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, se autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE.

  
Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco  
Decano



Guatemala, noviembre de 2016

/cc



## **ACTO QUE DEDICO A:**

- Dios** Por su inmenso amor y las bendiciones que recibo de cada día, lo cual me ha permitido estar hoy aquí presente.
- Mis padres** Dora Amanda Garrido y Julio Cesar Galicia, por su amor, dedicación y por haberme apoyado todos estos años.
- Mi esposa** Mishely, gracias por esas palabras de aliento y fortaleza cuando sentía que todo estaba perdido.
- Mi hija** Aisha, por llegar a mi vida e iluminar mis ideas y propósitos.
- Mis hermanos** Darlin Xiomara, Milvia Lisset, Wendy Paola y Julio Cesar, por ser una fuente de inspiración y una motivación grande en mi vida para alcanzar mis metas.
- Mis abuelos** Santiago Galicia (q. e. p. d.) y Emilia Garrido.

## **AGRADECIMIENTOS A:**

### **Universidad de San Carlos de Guatemala**

Por los conocimientos y la formación académica que me brindaron durante mi preparación como profesional.

### **Facultad de Ingeniería**

Por darme la oportunidad de ser parte de esta Facultad.

### **Mi asesor**

El ingeniero Mario Corzo, porque de él aprendí muchas cosas, no solo para ser un buen profesional, sino también para ser una mejor persona.

### **Sección de Estructuras**

Es difícil nombrar a tantos compañeros que colaboraron con este trabajo, pero a cada uno de ellos muchas gracias. Especialmente a don Fabio Sánchez por ser uno de los pilares importantes de este trabajo.

### **Mis amigos**

Julia Gómez, Antonio Jurado y especialmente a Gerardo Ramírez, ya que fue un gran amigo y compañero durante todo este camino.

## ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	V
LISTA DE SÍMBOLOS .....	VII
GLOSARIO .....	IX
RESUMEN.....	XI
OBJETIVOS.....	XIII
INTRODUCCIÓN.....	XV
1. MATERIALES CONSTITUYENTES .....	1
1.1. Caña de maíz .....	1
1.1.1. Introducción y antecedentes históricos.....	1
1.1.2. Principales tipos de caña de maíz .....	3
1.1.3. Propiedades mecánicas y características físicas.....	4
1.1.4. Aplicaciones.....	4
1.2. Ferrocemento .....	5
1.2.1. Introducción y antecedentes históricos.....	6
1.2.2. Materiales que lo constituyen .....	7
1.2.3. Procedimiento de construcción.....	9
1.2.4. Propiedades mecánicas .....	9
1.2.5. Aplicaciones.....	10
2. PROPUESTA DE TECHOS DE CAÑA DE MAÍZ CON FERROCEMENTO.....	13
2.1. Estructura del techo.....	13
2.2. Determinación de las áreas mínimas de construcción .....	14
2.3. Dimensiones de losa en función del tipo de vivienda .....	18

2.4.	Determinación de cargas a considerar.....	18
2.4.1.	Integración de cargas gravitacionales sobre la losa.....	19
2.4.2.	Cargas horizontales (viento y sismo) .....	19
3.	DESARROLLO EXPERIMENTAL.....	21
3.1.	Evaluación individual de cada elemento .....	21
3.1.1.	Ensayos a la caña de maíz .....	21
3.1.1.1.	Ensayo de carga axial .....	21
3.1.1.2.	Ensayo de corte o tensión diagonal .....	24
3.1.1.3.	Ensayo a flexión .....	28
3.1.2.	Ensayos al ferrocemento.....	30
3.1.2.1.	Ensayo de carga axial .....	30
3.1.2.2.	Ensayo a corte .....	32
3.1.2.3.	Ensayo a flexión .....	32
3.2.	Diseño de techo curvo.....	34
3.2.1.	Cálculo de radio por geometría .....	34
3.2.2.	Longitud de Arco .....	34
3.2.3.	Calculo de contra flecha.....	35
3.3.	Ensayo a flexión para modelo del sistema, con una luz de 3.00 mt por 1,80 mt de ancho .....	36
3.3.1.	Comparativo de costo de losa de concreto armado contra losa de ferrocemento con caña de maíz.....	41
3.3.1.1.	Losa de concreto armado.....	42
3.3.1.2.	Losa de ferrocemento y caña de maíz .....	43
3.3.1.3.	Comparativo de cargas .....	44

4.	EXPOSICIÓN DE RESULTADOS.....	45
5.	ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	47
	CONCLUSIONES.....	57
	RECOMENDACIONES.....	59
	BIBLIOGRAFÍA.....	61



# ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

## FIGURAS

1.	Armado ferrocemento.....	6
2.	Estructura potencial con sistema de ferrocemento .....	10
3.	Tanque de almacenamiento de agua hecho de ferrocemento .....	11
4.	Series de ensayos con tallos de maíz .....	21
5.	Gráfica de carga versus longitud.....	23
6.	Gráfica de carga versus esbeltez.....	23
7.	Morfología del nudo de la caña de maíz .....	24
8.	Gráfica, carga versus número de muestra I .....	26
9.	Gráfica, carga versus número de muestra II .....	27
10.	Ensayo a flexión.....	28
11.	Gráfica, carga vrs de flexión.....	30
12.	Gráfica, Rcvrs núm. de mallas .....	31
13.	Gráfica, momento vrs deflexión.....	33
14.	Longitud del acero.....	35
15.	Cálculo de contrafecha.....	36
16.	Losa curva.....	37
17.	Formaleteo .....	37
18.	Deformómetros en área susceptibles.....	38
19.	Colocación de cilindros de concreto.....	40
20.	Resultados del ensayo .....	45
21.	Puntos estratégicos de la losa .....	47
22.	Gráfica, carga vrs deformación .....	48
23.	Gráfica, carga vrs deformación I .....	49

24.	Gráfica, carga vrs deformación II .....	49
25.	Gráfica, carga vrs deformación III .....	50
26.	Gráfica, carga vrs deformación IV .....	51
27.	Gráfica, carga vrs deformación V .....	52
28.	Gráfica, carga vrs deformación VI .....	53
29.	Gráfica, carga vrs deformación VII .....	53
30.	Gráfica, carga vrs deformación VIII .....	54
31.	Gráfica, carga vrs deformación IX .....	55

## TABLAS

I.	Dimensiones de ambientes en una casa, según normas FHA (medidas de luz de ambientes) .....	16
II.	Superficies mínimas que debe tener cada ambiente .....	16
III.	Clima bajo el cual se debe construir .....	17
IV.	Capacidad de caña de maiz .....	25
V.	Capacidad del corte .....	27
VI.	Presupuesto .....	42
VII.	Presupuesto de vivienda popular .....	43
VIII.	Resultados del segundo ensayo .....	46



## LISTA DE SÍMBOLOS

<b>Símbolo</b>	<b>Significado</b>
<b>A</b>	Área
<b>P</b>	Carga
<b>Cm</b>	Carga muerta
<b>Cv</b>	Carga viva
<b>Cm</b>	Centímetro
<b>Def</b>	Deformación
<b>Ø</b>	Diámetro
<b>Kg</b>	Kilogramo
<b>L</b>	Longitud
<b>Lc</b>	Longitud promedio
<b>Mts</b>	Metros
<b>Mm</b>	Milímetro
<b>R</b>	Radio
<b>L/4</b>	Un cuarto de la longitud
<b>L/2</b>	Un medio de la longitud



## GLOSARIO

<b>ACI</b>	Siglas en inglés del <i>American Concrete Institute</i> , código sobre estructuras de concreto armado usado en Guatemala.
<b>AGIES</b>	Asociación Guatemalteca de Ingeniería Estructural y Sísmica.
<b>Carga axial</b>	Fuerza que actúa a lo largo del eje longitudinal de un miembro estructural aplicada al centro de la sección transversal del mismo produciendo un esfuerzo uniforme.
<b>Carga muerta</b>	Carga vertical aplicada sobre una estructura que incluye el peso de la misma estructura más la de los elementos permanentes.
<b>Carga viva</b>	Carga externa móvil sobre una estructura que incluye el peso de la misma junto con el mobiliario, equipamiento, personas, entre otros, que actúa verticalmente.
<b>Compresión</b>	Fuerza que actúa a lo largo del eje longitudinal de un miembro estructural aplicada al centro de la sección transversal del mismo produciendo un esfuerzo uniforme.

<b>Deflexión</b>	Grado en el que un elemento estructural se deforma bajo la aplicación de una fuerza.
<b>Deformómetro</b>	Instrumento de medición, utilizado para medir deformaciones.
<b>Esbeltez</b>	Es la relación que existe entre la sección de la barra y su longitud.
<b>Ferrocemento</b>	Material constituido por un mortero de cemento con capas de malla de gallinero y electromalla.
<b>FHA</b>	Siglas del Fomento de Hipotecas Aseguradas.
<b>Flexión</b>	Deformación que presenta un elemento estructural alargado en una dirección perpendicular a su eje longitudinal.

## RESUMEN

El presente trabajo presenta una alternativa para la construcción de techos que no solamente son funcionales y resistentes, sino además económicos y de mejora arquitectónica.

Debido a que la problemática de vivienda que existe en Guatemala cada día crece más y que el mayor de los problemas que existe en la vivienda es la construcción de un techo digno, estructuralmente eficiente y sobre todo económico; se busca ofrecer una alternativa que pueda satisfacer estas necesidades.

Durante los últimos años, la utilización estructural de la caña de maíz ha ido en aumento e introducida en diferentes trabajos de investigación en el Centro de Investigaciones de la Facultad de Ingeniería. Actualmente, la caña de maíz se utiliza no solamente en construcción de techos sino también en la construcción de muros en los cuales también ha generado buenos resultados.

Respecto al ferrocemento es un material que ya tiene una gran trayectoria dentro de las estructuras. Debido a su gran capacidad de carga proporcional a sus dimensiones, su fácil moldeabilidad, sus espesores mínimos y su bajo costo, ha resultado un material bastante noble en la construcción y con el cual se ha tenido un gran avance en construcciones de formas circulares.

Esta propuesta consiste en una losa construida con caña de maíz y ferrocemento, los cuales trabajando juntos forman un sistema constructivo adecuado. La unión de estos dos materiales, además de crear una losa

estructuralmente eficiente, genera una apariencia más agradable y un ambiente más fresco en el interior de la habitación.

Guatemala es un país donde el maíz, es uno de los más grandes cultivos que posee; por esa razón se busca una opción de reutilizar la caña de maíz de una manera funcional para la construcción y que de esa manera pueda dársele un mejor uso.

Por ese motivo se consideró la caña de maíz para construir este sistema, el cual dio datos muy satisfactorios que se obtuvieron mediante ensayos realizados en la sección de estructuras del Centro de Investigaciones de la Facultad de Ingeniería.

## **OBJETIVOS**

### **General**

Crear una nueva alternativa para la construcción de techos resistentes y cuyo costo sea económico y viable.

### **Específicos**

1. Evaluar la resistencia a flexión de la caña de maíz como un elemento estructural.
2. Evaluar las características físicas de la caña de maíz para su uso en la construcción.
3. Brindar una alternativa de techo para viviendas más económica y segura.
4. Evaluar el comportamiento bajo aplicación de cargas, sobre el elemento resistente constituido de caña de maíz y ferrocemento.





## INTRODUCCIÓN

El presente trabajo de graduación está elaborado con la finalidad de brindar una nueva alternativa para la construcción de techos para viviendas en el uso no solo de materiales reutilizables sino además económicos y de fácil acceso para las personas.

Esta propuesta es una losa construida con caña de maíz, material que se consigue fácilmente en nuestro país y ferrocemento, un mortero económico y de alta resistencia debido a la combinación de resistencia del mortero y la malla de acero que la componen.

Otra de las ventajas que tiene este tipo de techos es su facilidad para adaptarse a distintas formas, sobre todo las circulares ya que el ferrocemento es bastante flexible.

Como se muestra en este trabajo, el sistema de caña de maíz y ferrocemento se combinan de tal manera que genera un sistema no solamente eficiente estructuralmente, sino además le da un toque arquitectónico y un ambiente más fresco en el interior de la habitación.



# **1. MATERIALES CONSTITUYENTES**

## **1.1. Caña de maíz**

A continuación se describe el proceso de la caña de maíz.

### **1.1.1. Introducción y antecedentes históricos**

El maíz es uno de los cultivos más antiguos realizados por el hombre, de origen hindú, se ha expandido a lo largo de todo el mundo; estados unidos y Europa con las regiones donde mayor se concentra el cultivo de esta planta.

Debido a las características de este cultivo, a las condiciones climáticas y de geología que posee América Central, el maíz ha sido empleado para el consumo de las poblaciones que han habitado estas regiones desde hace miles de años.

En Guatemala se ha consolidado como uno de los granos básicos para la alimentación de la población por su alto contenido energético y de proteínas, así como para animales, y ha llegado a ocupar grandes superficies de siembra y el mayor volumen en cuanto a producción en el país.

Otro de los factores importantes que tiene este cultivo es que no solamente se utiliza como alimento, sino que además posee muchas propiedades medicinales, motivo por el cual suele emplearse para curar algunas enfermedades y además su tallo (la caña) se utiliza para elaborar viviendas.

El cultivo del maíz tiene una amplia distribución a través de las diferentes áreas ecológicas de Guatemala ya que la distribución de este grano está directamente relacionada a su adaptación a las condiciones climáticas y al tipo de suelo.

En Guatemala el cultivo de maíz se concentra en zonas como el altiplano, costa suroccidental y nororiental, a altitudes de 0 hasta 30 000 msnm.

Con respecto a la época de siembra, esta varía según la altitud en la cual se encuentre el cultivo. Por lo general el mayor porcentaje de esta (80 % del cultivo) se realiza bajo condiciones de temporal y variarán según su altitud sobre el nivel del mar. Por consiguiente, las siembras se darán en periodo de lluvia y en otras regiones como el altiplano dependerán de la humedad de sus suelos.

Las zonas que se encuentran bajo los 1 400 msnm, realizan la primera siembra entre los meses de mayo y junio y realizan la segunda siembra durante el mes de septiembre.

En zonas arriba de los 1 500 msnm, se cuenta con diferentes épocas de siembra: la primera entre el mes de marzo y abril y la segunda entre abril y mayo.

Respecto al tallo, se caracteriza por ser robusto, simple, rígido y sin ramificaciones que puede alcanzar longitudes de hasta 4 metros. Otra de las características importantes es que la caña de maíz no posee entrenudos, pero si una medula esponjosa que la constituye internamente.

Durante los últimos años la caña de maíz ha sido estudiada con el fin de obtener los mayores beneficios. Algunos de los materiales que se pueden conseguir de ella son: alcohol antiséptico, papel, aglomerados en la construcción, entre otros.

En Guatemala la caña de maíz se utiliza para alimento de animales e incluso ya se ha comenzado a utilizar en la construcción, aunque de una manera menos técnica pero eficiente; lo cual ha generado la profundización del conocimiento de la misma y su comportamiento en la implementación de viviendas.

### **1.1.2. Principales tipos de caña de maíz**

Debido a la fácil adaptación que tiene el maíz para crecer en casi cualquier tipo de suelo y sobre todo a las variedades geológicas que posee Guatemala, se puede encontrar una gran variedad de climas y, por consiguiente, una gran variedad en lo que respecta a la caña de maíz. En Guatemala los diferentes cultivos no solamente varían dependiendo de las condiciones climáticas sino además por ser uno de los cultivos más importantes para el consumo de la población. Ha sido mutado para obtener mejoras tanto en el cultivo como en su adaptación a climas diferentes, lo que ha causado también propiedades diferentes en la caña de maíz.

Este último, llamado también grano híbrido, puede encontrarse en una gran variedad ya que fue creado para adaptarse a una gran variedad de condiciones en las cuales los granos naturales no podrían germinar.

En el Instituto de Ciencia y Tecnología ICTA se puede encontrar una gran variedad de estos granos híbridos, los cuales seguramente no solo presentan

una variación diferente de granos y color sino además posiblemente tenga propiedades físicas y mecánicas diferentes en sus tallos.

Debido a la poca información que se tiene hasta el momento sobre sus propiedades mecánicas es difícil determinar la variación y clasificar con exactitud todas las especies de caña de maíz en el país desde un punto de vista estructural.

### **1.1.3. Propiedades mecánicas y características físicas**

La característica física de la caña de maíz puede variar según el tipo de maíz que se cultive, ya que estos varían sus propiedades físicas según la región de cultivo y el tipo de grano.

Dentro de las características físicas del tallo o caña de maíz se puede mencionar: la erectilidad del tallo, los robusto y sin ramificaciones, sin entrenudos, un color amarillo, internamente formado por una médula esponjosa y con una altura promedio de 3 mts.

Sobre las propiedades mecánicas de la caña de maízaun no existe mayor información.Hasta el momento, no se han realizado estudios que puedan proporcionar estos datos.

### **1.1.4. Aplicaciones**

Actualmente son muy pocas las aplicaciones que se le da a la caña de maíz en nuestro país debido a la falta de estudios e interés sobre la misma.

En la actualidad, en algunas regiones del país se utiliza como: alimento para animales, varas y, desde hace algunos años, en la construcción; aunque de una manera empírica en la construcción de cercos perimetrales.

En la búsqueda de nuevos materiales en la construcción se han comenzado a realizar investigaciones sobre la caña de maíz: se han realizado estudios sobre la adhesión de la médula del tallo de la caña de maíz en mezclas para morteros, los cuales fueron realizados en el Departamento de Ingeniería de la Construcción de la Universidad Politécnica de Valencia España, donde se obtuvieron resultados satisfactorios tanto en la resistencia del mortero como en el resguardo del medio ambiente.

En Guatemala también han comenzado a realizarse investigaciones con este material. Actualmente existe un trabajo de investigación, realizado en el Centro de Investigaciones de Ingeniería sobre la elaboración de núcleos aligerados con caña de maíz para la construcción de muros tipo emparedado, en los cuales se diseñan paneles con los desechos de maíz.

Aunque los estudios con la caña de maíz aún son pocos, comienzan a dar sus primeros frutos con la esperanza de que en pocos años se pueden aprovechar al máximo las propiedades físicas y mecánicas de esta planta.

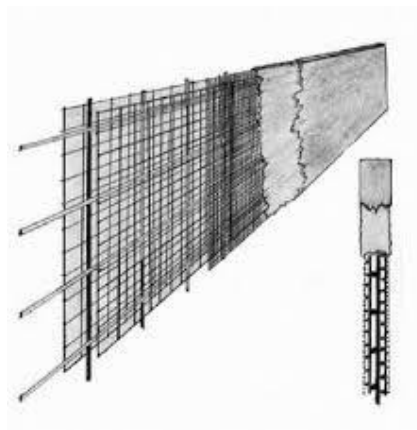
## **1.2. Ferrocemento**

A continuación se describe el proceso del ferrocemento.

### 1.2.1. Introducción y antecedentes históricos

El ferrocemento, es un tipo de hormigón armado de pared muy delgada, reforzado con capas de malla de acero hexagonal (malla de gallinero) de bajo calibre y electromalla. El Comité 549 del Instituto Americano del Concreto ACI, lo define como “Un tipo de construcción de concreto reforzado con pared muy delgada, donde un mortero de cemento hidráulico es reforzado con capas de malla de pequeño diámetro.”

Figura 1. Armado ferrocemento



Fuente: elaboración propia.

Los antecedentes del ferrocemento datan desde el año 1848 cuando el francés Jean Louis Lambort comenzó a realizar trabajos con una materia muy parecido al hormigón armado, el cual llamó ferciment con el cual fabricó pequeños objetos como macetas, recipientes de agua, pequeños recipientes, entre otros objetos. Debido a los resultados obtenidos con este material, logró atraer la atención de varias personas importantes como el ingeniero italiano Pier Luigi Nervi quien con la idea general del material, reformuló y desarrolló el



ferrocemento como actualmente lo conoce. Así fue como en el año 1920 realizó sus primeros proyectos con este material, principalmente la fabricación de barcos pequeños.

No fue, sino hasta el año de 1948 cuando el ferrocemento se comenzó a trabajar dentro de la ingeniería civil; Estados Unidos, Rusia, Canadá, Inglaterra, China y Cuba fueron algunos de los países que comenzaron con la utilización de este material.

Ha sido tanto el impacto de este material que incluso el Instituto Americano del Concreto (ACI) estableció el Comité 549, que se encarga de los asuntos relacionados con el ferrocemento

En nuestro país este material es relativamente nuevo ya que el uso del mismo comenzó a darse durante los años 70. En 1973 el ingeniero Pablo Ocaña, quien laboró en el Centro de Investigaciones de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, fue una de la persona que incursionó en el tema, al realizar su tesis sobre *El estudio sobre ferrocemento liviano a base de pómez*.

En el Centro de Investigaciones, el ingeniero Javier Quiñones es una de las personas que continúa realizando estudios sobre este material. Hoy en día en nuestro país se realiza una serie de estudios sobre las aplicaciones que puede tener el ferrocemento sobre diferentes tipos de elementos estructurales.

### **1.2.2. Materiales que lo constituyen**

A continuación se describen los materiales que componen el ferrocemento.

- Mortero: es una mezcla de cemento y arena con una dosificación no menor a una parte de cemento por 1.5 -2 partes de arena (preferiblemente de río) y 0.45 partes de agua. El asentamiento del mortero debe ser mayor a 2 pulgadas con una resistencia mínima a los 28 días de 205 kg/cm<sup>2</sup>. A pesar de que la arena de río da como resultado una mezcla más pesada, también da a la mezcla una mayor resistencia a compresión.
- Malla de refuerzo: generalmente consiste en alambres delgados, entretejidos o soldados. Los agujeros no deben ser menos a los 10 mm. Esta por lo general podrá ser remplazada por otros tipos de malla existentes en el mercado pero que cumplan con las características requeridas las cuales consisten con un módulo de elasticidad y una fluencia requerida.
- Acero para armazón: esta se utiliza para dar forma a la estructura y generalmente se emplean barras de acero de 1/4 a 3/4 las cuales son soldadas o amarradas. Estas varillas deben tener una separación menor o igual a 7,5 cm para que se les considere como parte del refuerzo estructural del ferrocemento.
- Aditivos: al igual que para la mezcla del concreto estructural, al mortero de ferrocemento también puede agregársele una serie de aditivos como reductores de agua, acelerantes, retardantes, entre otros; con el cuidado de que estos no sobrepasen el 1 % del peso de cemento en la mezcla.
- El material resultante, o sea el ferrocemento, es un material resistente a la compresión y a la tracción ya que al estar la malla distribuida bajo el mortero mantiene sus partículas unidas en todo momento.

### **1.2.3. Procedimiento de construcción**

El procedimiento de construcción con ferrocemento no requiere de una gran habilidad ya que es muy sencillo de trabajarlo.

Consiste primero en colocar una primera capa de malla de metal (malla de gallinero); a continuación, se coloca la capa de malla electro soldada o un armado de varillas corrugados; luego, se coloca la segunda capa de malla de metal y finalmente se coloca el mortero en ambas caras de la armazón. El número de capas de malla de metal puede variar ya que a mayor número de capas se puede obtener una mayor resistencia.

Es importante que el acero del armazón y la malla de refuerzo estén sujetos de tal forma que se mantengan en su posición durante la aplicación del mortero, esto podrá hacerse al realizar un amarre entre alambre de amarre.

### **1.2.4. Propiedades mecánicas**

Las propiedades mecánicas del ferrocemento pueden ser igual a las del hormigón armado, especialmente por su resistencia a la tracción y su gran flexibilidad para poder tomar casi cualquier forma deseada. Además de poseer una buena resistencia a compresión, es impermeable.

El ferrocemento contiene una alta cantidad de esfuerzos debido a la malla que se encuentra uniformemente distribuida dentro del mortero como: la elasticidad del material y su alta resistencia al agrietamiento.

En términos generales carga axial, compresión, flexibilidad, tracción e impacto.

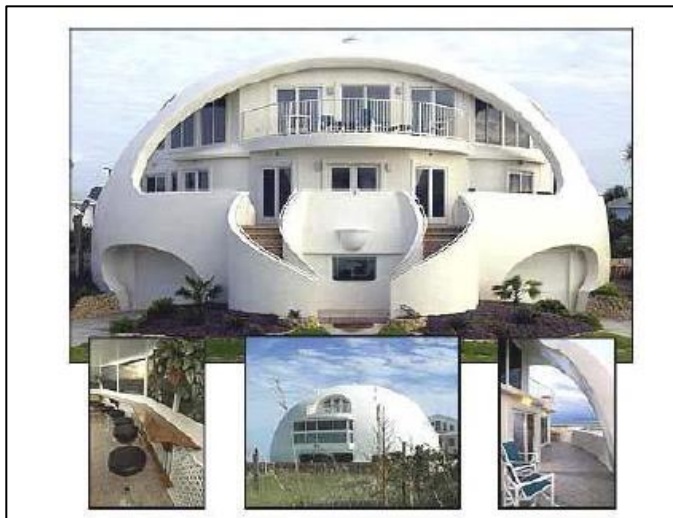
### 1.2.5. Aplicaciones

Debido a las características del ferrocemento, este puede tener muchas aplicaciones que van desde objetos artesanales hasta estructurales.

Cuando se descubrió este material fue utilizado para macetas y pequeñas embarcaciones. Hoy en día su uso se ha extendido, debido a los avances investigativos sobre el material.

Actualmente se realizan construcciones de viviendas, tanques para almacenamiento de agua, pozos sépticos, letrinas, piscinas, silos para granos etc.

Figura 2. **Estructura potencial con sistema de ferrocemento**



Fuente: CARRASCO, Victor. *Cartillaferrocemento*. p. 46.

En Guatemala, las investigaciones y utilización sobre este material han ido creciendo año con año, debido a su bajo costo y a la facilidad de utilización.

Actualmente se han realizado una serie de estudios en el Centro de Investigaciones de la Facultad de Ingeniería de la Universidad San Carlos de Guatemala sobre el comportamiento de diferentes tipos de construcciones de ferrocemento: elaboración de losas curvas, tanque para almacenamiento de agua, muros y paneles. Pero los estudios han ido más allá de la utilización de estos métodos constructivos; además, se ha dado seguimiento a estas construcciones para observar como permanecen después de 25 años. Estos últimos estudios fueron bastante alentadores ya que no presentaban falla alguna.

Figura 3. **Tanque de almacenamiento de agua hecho de ferrocemento**



Fuente: elaboración propia.



## **2. PROPUESTA DE TECHOS DE CAÑA DE MAÍZ CON FERROCEMENTO**

### **2.1. Estructura del techo**

La estructura de techo es uno de los elementos estructurales más importantes de una vivienda ya que protegerá a sus habitantes de las inclemencias del tiempo (lluvia, vientos, rayos solares, entre otros).

Actualmente existe una gran variedad de diseños de techos: techos planos, techos con pendientes, techos curvos, techos tipo cañón y techos trapezoidales. La elaboración de cada uno de estos diseños estará relacionada no solo con el tipo de diseño que se desee y con el tipo de material del cual se desee construir el techo. Hoy en día nuevas investigaciones brindan nuevas opciones de materiales para la construcción, lo cual facilita la construcción de cada uno de los distintos tipos de diseños. Entre los materiales que actualmente se utilizan para la construcción de techos se encuentran: concreto armado, madera, metal, ferrocemento, suelo cemento, adobe, entre otros.

Cabe mencionar que cada uno de los diseños y materiales a utilizar dependerá de las cargas de diseño y de la inclemencia del tiempo a las cuales esté expuesta la estructura ya que de estos factores dependerá la durabilidad y seguridad de sus habitantes.

## **2.2. Determinación de las áreas mínimas de construcción**

Por lo general en las áreas rurales no se aplican reglamentos o normas que regularicen las dimensiones mínimas o máximas de una construcción, ya que dependerá mucho del terreno que se posea y de la necesidad de las personas. A pesar de que algunas municipalidades establecen normas que regularizan estos parámetros, no llegan a cumplirse debido a su falta de atención.

Existen diversos tipos de reglamentos, por mencionar alguno, el Reglamento de Construcción que indica las áreas mínimas de construcción para que las viviendas cumpla con todas las normas constructivas aceptables. Por esta razón el Reglamento de construcción le puede resultar algo incómodo si no lo ha tomado en cuenta en la etapa previa a la Construcción; y que de alguna manera resulta recomendable y bastante conveniente el poder cumplirlo. El Reglamento de Construcción en Guatemala nos determina ciertas áreas mínimas para la construcción de viviendas en los artículos siguientes:

- Artículo 137: los ambientes de cualquier edificación deben gozar de buena ventilación con vanos para puertas y ventanas.
- Artículo 138: cuando la extensión del predio lo permita, el área de piezas habitables en edificaciones tipo A, B y C, según el artículo 60 del Reglamento, no deberá ser menor de 9 metros cuadrados (cuando se trate de una vivienda que tenga más de dos dormitorios de 9 metros cuadrados cada uno, se permitirá una o dos más como máximo, con un área de 6 metros cuadrados cada uno como mínimo); la altura no podrá ser menor de 2,40 metros, que también será la altura libre permitida para el resto de los ambientes (piezas habitables y no habitables); únicamente



en garaje podrá tener una altura menor, que será de 2,10 metros como mínimo.

- Artículo 139: sin restar importancia al artículo anterior se permitirá la construcción de viviendas a criterio del diseñador construidas por una pieza habitable con un área mínima de 12 metros cuadrados, la cual deberá tener anexos locales para baño (2 metros cuadrados de área como mínimo) y cocina (1,00 metro cuadrado de área como mínimo); dichos ambientes deberán tener como mínimo los siguientes muebles de servicio: estufa o poyo, fregadero, inodoro o escusado, lavador y ducha.
  
- Artículo 140: se recomiendan las siguientes superficies mínimas para edificaciones tipo A, B y C del artículo 60 del reglamento:
  - Lado menor de sala o comedor y combinaciones: 3 metros
  - Lado menor de dormitorios: 2,50 metros
  - Lado menor de dormitorio de servicio: 2,10 metros
  - Área mínima de dormitorio de servicio: 5,50 m<sup>2</sup>
  - Lado menor de baño: 0,9 metros
  - Área mínima de baño principal: 3,30 m<sup>2</sup>
  - Área mínima de baño de servicio: 1,60 m<sup>2</sup>
  - Lado mínimo de cocina: 1,50 metros libre
  - Ancho mínimo de pasillos: 0,9 metros libres

Actualmente existen en el país otros entes regularizadores importantes que también velan por el cumplimiento de estos aspectos constructivos; uno de ellos es el Instituto de Fomento de Hipotecas Aseguradas FHA, quien incluso ha publicado un documento de normas de planificación y construcción, en el cual propone dimensiones mínimas de áreas para construcción.

Tabla I. **Dimensiones de ambientes en una casa, según normas FHA (medidas de luz de ambientes)**

a) Lado menor de sala o comedor y sus combinaciones	2,45 m
b) Lado menor de dormitorios	2,35 m
c) Lado menor de dormitorio de servicio	2,00 m
d) Lado menor de baño principal	1,10 m
e) Lado menor de baño de servicio o medio baño	0,90 m
f) Ancho mínimo de pasillo	0,85 m
g) Lado menor de cocina	1,40 m
g) Lavandería (opcional)	1,40 m

Fuente: elaboración propia.

En la siguiente tabla se indican las superficies mínimas que debe tener cada ambiente.

Tabla II. **Superficies mínimas que debe tener cada ambiente**

**Combinación sala-comedor, cocina, dormitorios**

TIPO	SALA-COMEDOR	COCINA	DORMITORIOS		
			1	2	3
Vivienda de un dormitorio	10	3,50	7,56		
Vivienda de dos dormitorios	10	3,50	7,56	7,00	
Vivienda de tres dormitorios					
y más	12	3,80	7,00	7,00	7,00

Continuación de la tabla II.

**Sala, combinación comedor- cocina, dormitorios**

TIPO	SALA	COMEDOR-COCINA	DORMITORIOS		
			1	2	3
Viv. De un dormitorio	7	8,00	7,56		
Viv. De dos dormitorios	7	8,00	7,56	7,00	
Viv. De tres dormitorios					
y mas	7,56	9,00	7,00	7,00	7,00

**Combinación sala-comedor- cocina, dormitorios**

TIPO	SALA-COMEDOR-COCINA	DORMITORIOS		
		1	2	3
Viv. De un dormitorio	13,00	7,56		
Viv. De dos dormitorios	13,00	7,56	7,00	
Viv. De tres dormitorios				
y mas	15,00	7,00	7,0	7,00

Fuente: elaboración propia

Un factor importante para la construcción de losas y que no puede pasar desapercibido, es la cual dependerá considerablemente del clima bajo el cual se desee construir.

Tabla III. **Clima bajo el cual se debe construir**

<b>Clima templado</b>	Vivienda de más de 100 m <sup>2</sup> de área construida	2,40 m
	Vivienda de más de 50 m <sup>2</sup> y hasta 100 m <sup>2</sup> de área construida	2,35 m
<b>Clima cálido</b>		2,55 m

Fuente: elaboración propia.

### **2.3. Dimensiones de losa en función del tipo de vivienda**

La cubierta de las viviendas es un elemento de vital importancia ya que protege de las inclemencias del tiempo. En Guatemala existe una variedad de materiales para construcción: la lámina de zinc, palma de plantas y árboles, concreto, concreto reforzado entre otras.

Una de las más utilizadas es la losa de concreto reforzado, ya que posee una alta capacidad de soporte de carga y una gran durabilidad. Estas trabajan como un diafragma que conduciendo las cargas hacia las vigas. Una losa de concreto está diseñada con base en las dimensiones del ambiente que se quiere cubrir y al tipo de vivienda que se construya ya que de eso dependerá las cargas de servicio para las cuales deberá tener capacidad de soportar.

La Asociación Guatemalteca de Ingeniería Estructural y Sísmica, AGIES recomienda las siguientes cargas a considerar para el dimensionamiento de losas de concreto reforzado para los diferentes ambientes de vivienda que se desee construir.

### **2.4. Determinación de cargas a considerar**

La característica principal de las losas es su capacidad de soportar diferentes cargas que actúan sobre ella y para las cuales se diseña.

Una losa se diseña con base en sus dimensiones y al trabajo al cual estará sometida. Estas cargas que deben considerarse son:

Carga muerta la cual se determina por medio del peso de los materiales que constituyen la losa (cemento, acero).

Cargas vivas, las cuales dependerán de la ocupación o utilización que se le dé a la misma. (Ver tabla).

Otras cargas que deben considerarse según ubicación y altitud de la vivienda son las cargas horizontales ya que estas son la causa principal del fallo estructural en los elementos estructurales.

Las cargas horizontales son fuerzas ocasionadas por las fuerzas del viento y por los sismos. Cabe mencionar que los sismos, muchas veces pueden producir además de fuerzas horizontales, también verticales o gravitacionales.

#### **2.4.1. Integración de cargas gravitacionales sobre la losa**

La integración de las cargas gravitacionales es el análisis de diseño que debe realizarse para determinar tanto el espesor de losa como el tipo y la cantidad de refuerzo que deberá de conformarla. Para este análisis debe considerarse únicamente las cargas muertas y vivas.

Al realizar este análisis se podrá determinar la capacidad máxima de soporte de las losas y de esta manera verificar su capacidad de carga contra las cargas de trabajo reales a las cuales estará siendo sometida.

#### **2.4.2. Cargas horizontales (viento y sismo)**

Este tipo de cargas suele ser tan importante como las cargas gravitacionales ya que son estas cargas (sobre todo la carga sísmica) una de las mayores fuerzas destructivas en las construcciones, debido a que indirectamente genera sobreesfuerzos en las viviendas que les lleva al colapso.

Al ser Guatemala un país ubicado sobre una zona altamente sísmica, es necesario considerar este factor para el diseño no solo de losas, sino también de todos los elementos estructurales de cualquier edificación que se desee construir.

A diferencia de la carga sísmica, las fuerzas generadas por los fuertes vientos solamente afectan a construcciones muy altas y suelen ser una carga más constante que la sísmica. A pesar de que en Guatemala no es un factor determinante que se utilice con frecuencia en las construcciones si se considera en el diseño de estructuras altas como edificios.

### 3. DESARROLLO EXPERIMENTAL

#### 3.1. Evaluación individual de cada elemento

A continuación se describe la evaluación individual a cada elemento.

##### 3.1.1. Ensayos a la caña de maíz

A continuación se describe un ensayo a la caña de maíz.

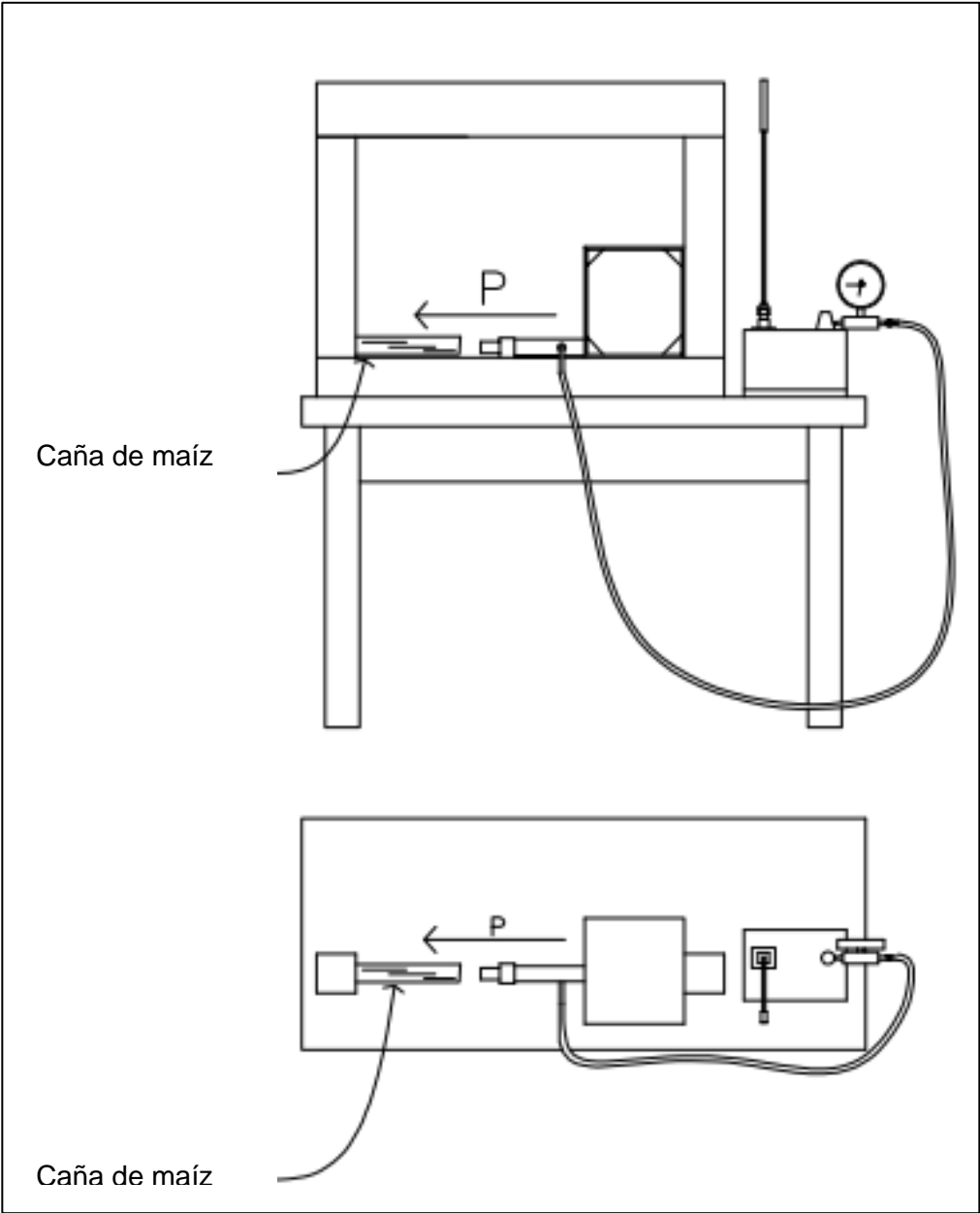
##### 3.1.1.1. Ensayo de carga axial

Se realizaron una serie de ensayos con tallos de maíz de diferentes longitudes y diámetros para analizar su capacidad a la compresión aplicando una carga axial controlada.

Figura 4. Series de ensayos con tallos de maíz

Núm.	P.L (G/cm)	Ø PROM (cm)	L <sub>prom.</sub> (cm)	A (cm)	I (cm <sup>4</sup> )	r (cm)	λ (cm/cm)	γ <sub>c</sub> (kg/cm <sup>2</sup> )
1	0,559	1,703	11,000	2,279	0,413	0,426	50,700	108,800
2	0,450	1,833	17,000	2,640	0,555	0,8	71,800	60,600
3	0,361	1,705	20,500	2,283	0,415	0,426	96,200	16,600
4	0,262	1,480	23,500	1,720	0,236	0,370	126,200	27,900
5	0,348	1,560	16,700	1,911	0,291	0,390	126,700	17,300
6	0,430	1,657	17,700	2,156	0,370	0,414	127,200	33,400
7	0,347	1,710	22,500	2,297	0,420	0,428	156,700	23,500
8	0,405	1,703	23,300	2,279	0,413	0,426	163,900	11,000
Prom	0,304	1,669	19,000	2,196	0,389	0,417	0,000	

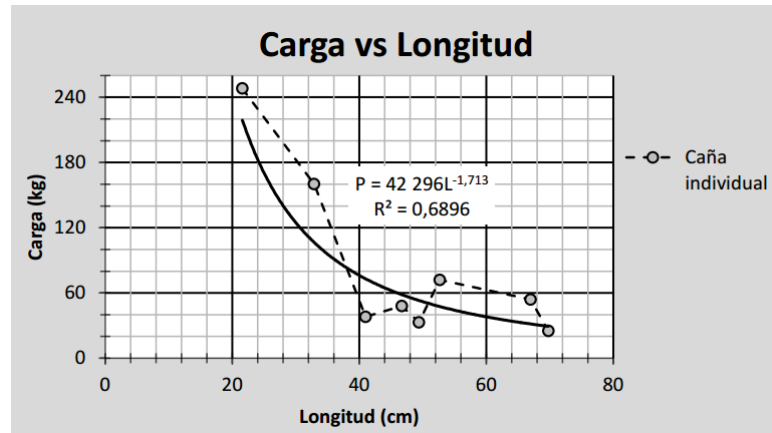
Continuación de la figura 4.



Fuente: elaboración propia.



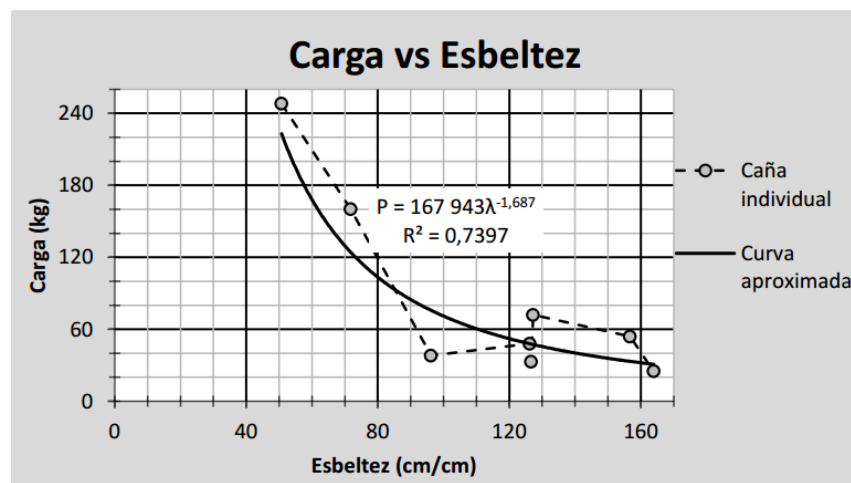
Figura 5. Gráfica de carga versus longitud



Fuente: elaboración propia.

Según los datos de la gráfica, la capacidad de carga es inversamenteproporcional a la longitud de la caña.

Figura 6. Gráfica de carga versus esbeltez



Fuente: elaboración propia.

Según datos de la gráfica, al igual que la longitud, la esbeltez también es inversamente proporcional a su capacidad de carga.

### 3.1.1.2. Ensayo de corte o tensión diagonal

La capacidad de resistencia a corte de la caña de maíz está altamente relacionada con la fibra interna de la caña así como del tallo, ya que es este sistema el que le da una gran capacidad de carga a corte a la caña de maíz.

Para determinar estas capacidades de carga en la caña de maíz, se ensayaron tres muestras de caña de maíz con un diámetro aproximado de 27mm, a los cuales se les indujo la falla en tres diferentes puntos: el nodo, L/4 y L/2, los cuales presentaron en promedio una capacidad de 45kg como carga de falla y de 68,5 como carga última. Además, se pudo comprobar que, al ser aplicada la carga de falla, la caña de maíz se reduce de 3 a 4 mm de su diámetro.

Figura 7. **Morfología del nudo de la caña de maíz**

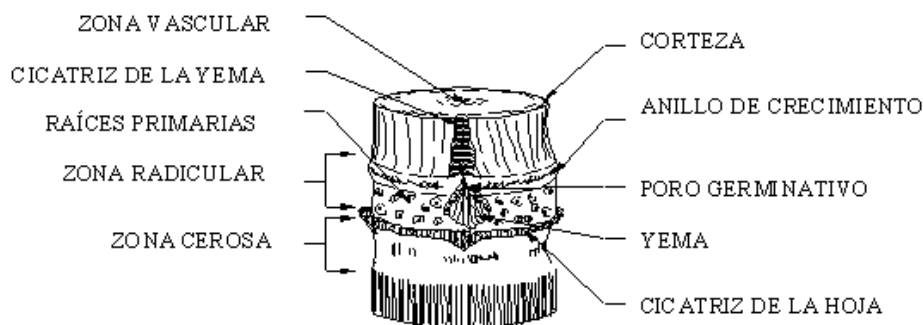


Figura 1. Morfología del nudo y cañuto de la caña de azúcar

Fuente: *Nudo de azúcar*. [scielo.sld.cu/img/revistas/im/v14n1/f0107111.gif](http://scielo.sld.cu/img/revistas/im/v14n1/f0107111.gif).

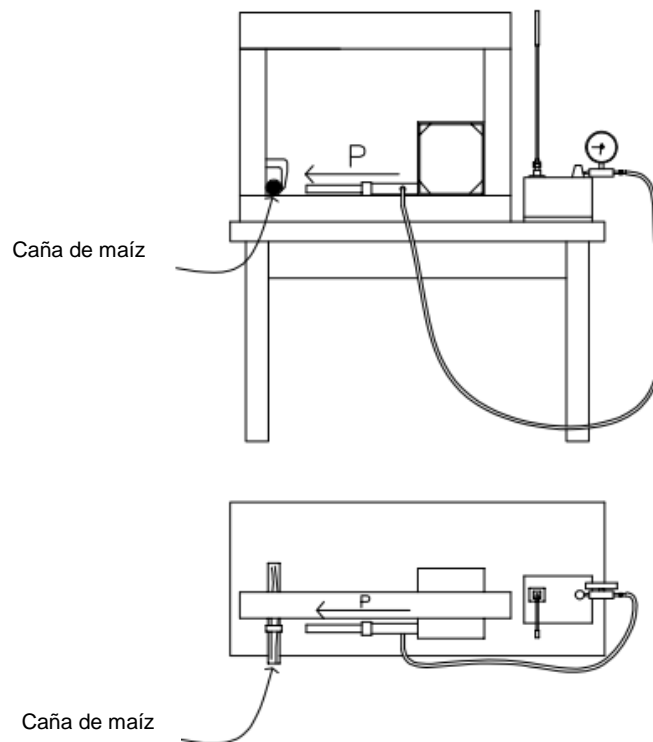
Consulta: 15 octubre de 2014.

A continuación, se presenta una tabla con los datos obtenidos durante el ensayo a corte diagonal en las muestras de caña de maíz ensayadas.

Cabe mencionar que la capacidad de corte de la caña de maíz también está sujeta a otros factores: la región de siembra, si es un injerto, el tipo de riego que haya tenido, etc.

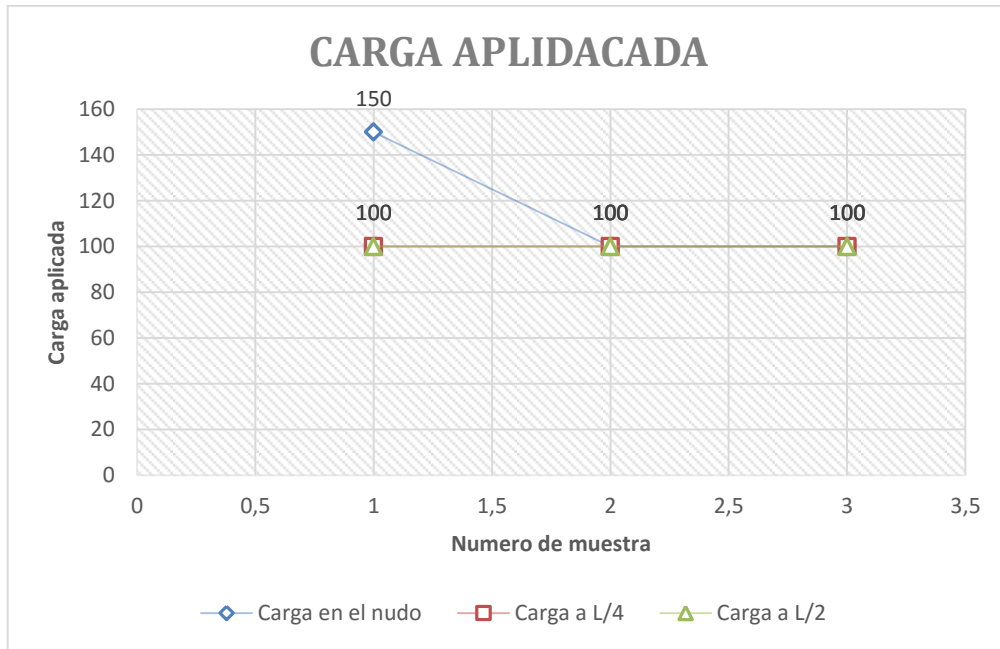
Tabla IV. **Capacidad de caña de maíz**

Muestra	CARGA DE FALLA APLICADA		
	Nudo	L/4	L/2
1	150	100	100
2	100	100	100
3	100	100	100



Fuente: elaboración propia.

Figura 8. Gráfica, carga versus número de muestra I



Fuente: elaboración propia.

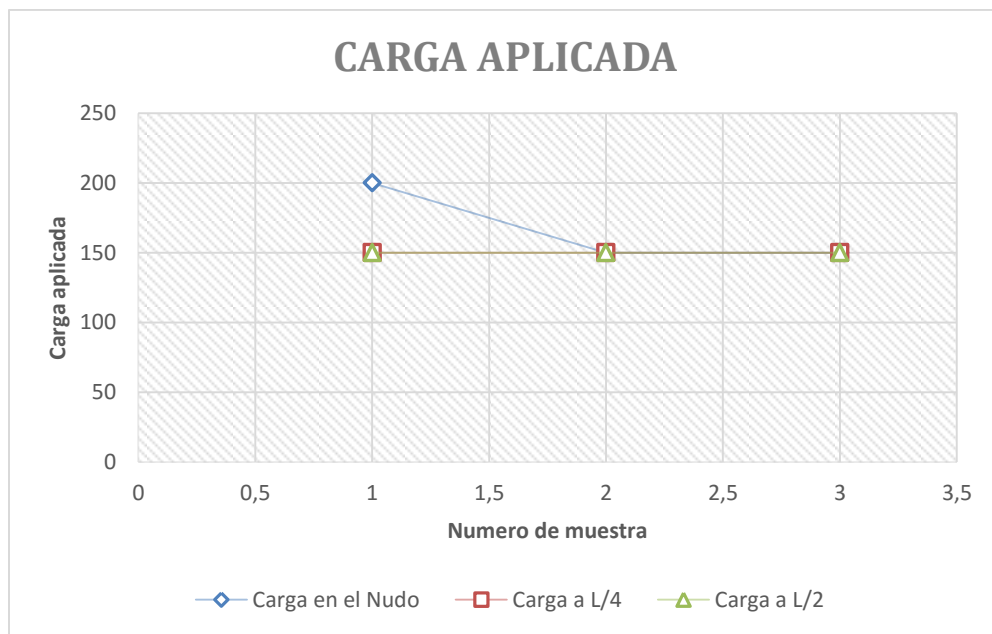
Según datos obtenidos en ensayos, la caña muestra una homogeneidad de resistencia de carga a lo largo de su tallo, a excepción del nudo ya que allí aumenta su capacidad de corte.

Tabla V. **Capacidad del corte**

Muestra	CARGA ÚLTIMA APLICADA		
	Nudo	L/4	L/2
1	200	150	150
2	150	150	150
3	150	150	150

Fuente: elaboración propia.

Figura 9. **Gráfica, carga versus número de muestra II**



Fuente: elaboración propia.

De igual manera que con su carga última, la homogeneidad de resistencia a corte en el tallo persiste en toda su longitud solamente aumentando en el nudo.

### 3.1.1.3. Ensayo a flexión

Para realizar el ensayo a flexión se utilizaron paquetes de 3 y 4 cañas con características físicas muy similares.

Figura 10. Ensayo a flexión

No.	DEFLEXIÓN		def. (cm)	$\epsilon$ (10-3)	P (kg)	$\gamma_c$ (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

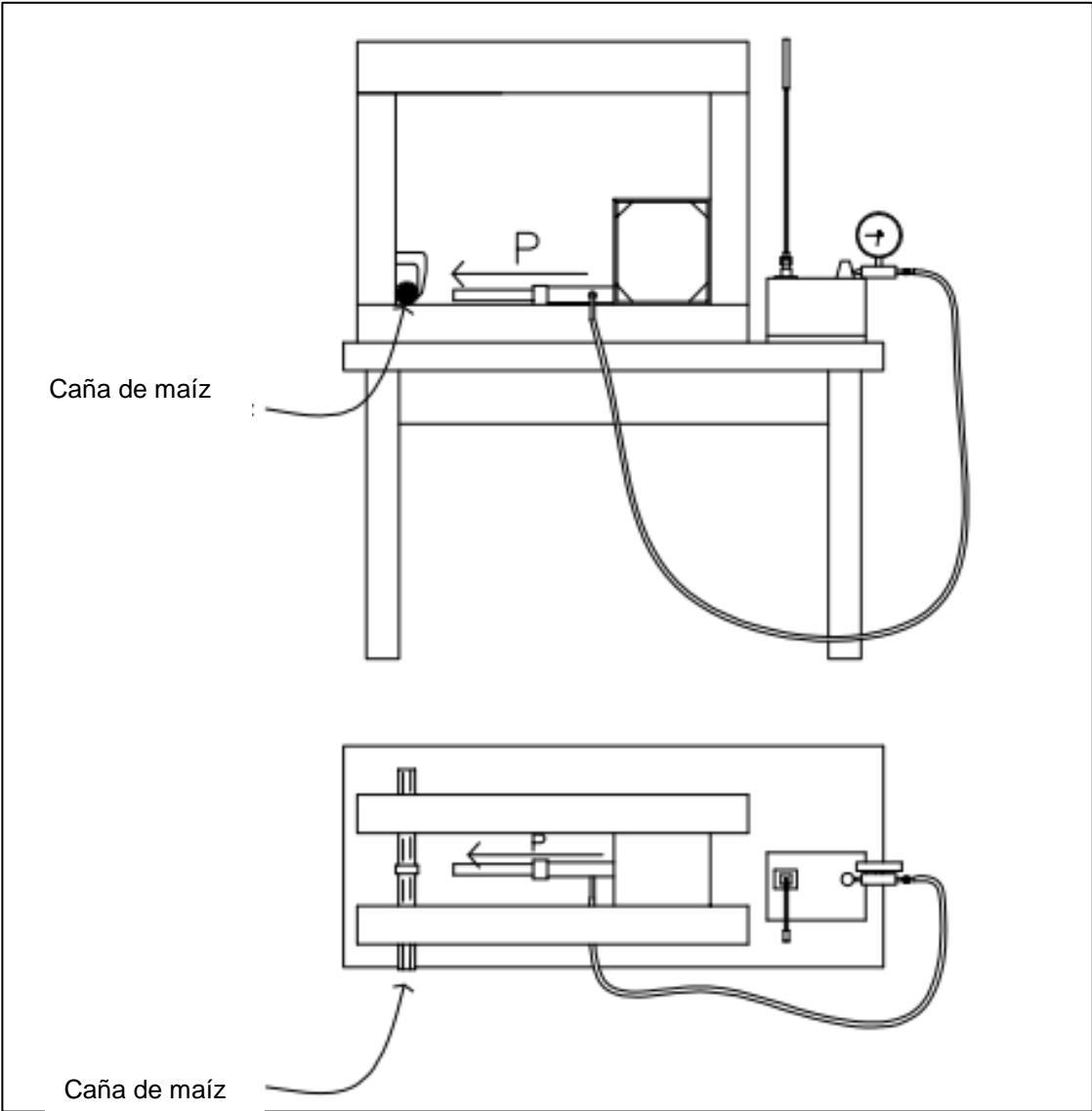
$\epsilon$  = deformación unitaria

P = carga

$\gamma_c$  = esfuerzo a compresión

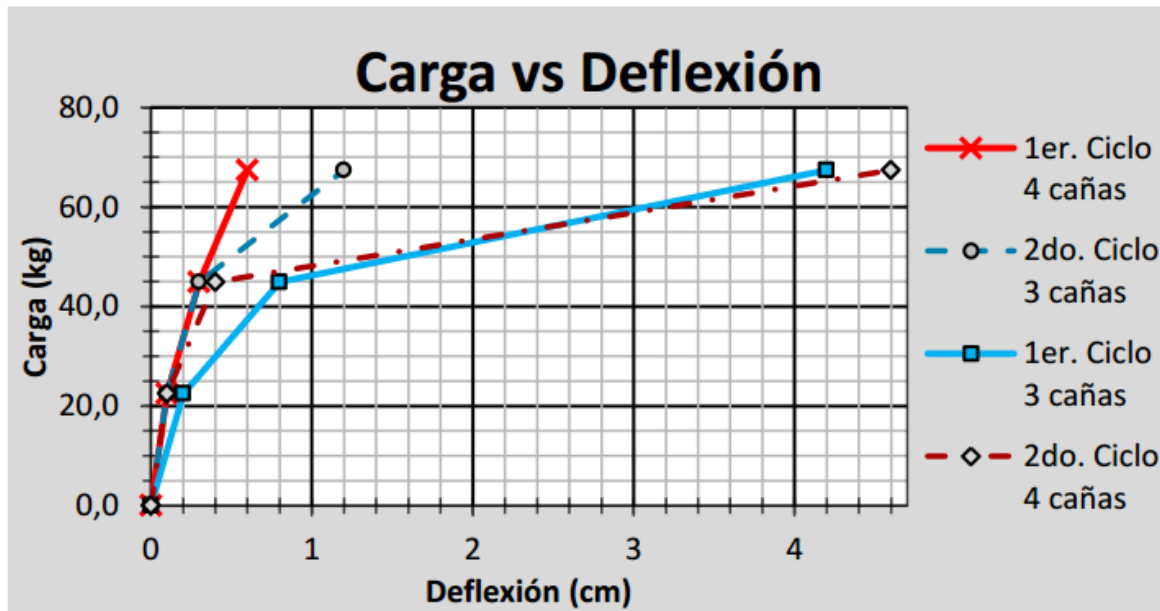
1 = en este intervalo la carga se mantuvo por algunos minutos, luego se descargó

Continuación de la figura 10.



Fuente: elaboración propia.

Figura 11. Gráfica, carga vrs deflexión



Fuente: elaboración propia.

Según la tabla anterior, a medida que se agrupan por paquetes de cañas de mayor cantidad, dará mayor capacidad de flexión al sistema.

### 3.1.2. Ensayos al ferrocemento

A continuación se describe el ensayo al ferrocemento.

#### 3.1.2.1. Ensayo de carga axial

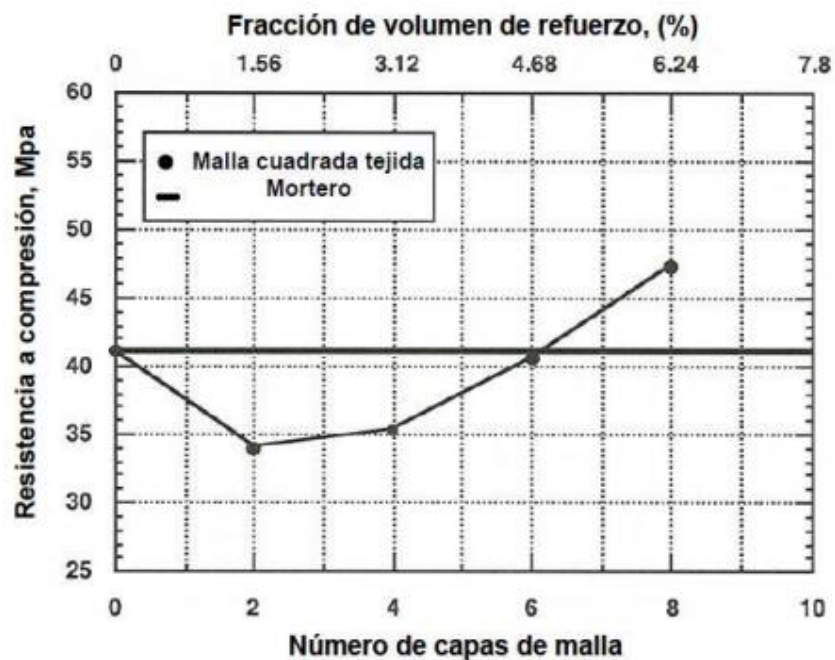
La resistencia a compresión del ferrocemento está relacionada directamente al módulo de elasticidad del mortero. Esta capacidad de resistencia a la deformación se verá aumentada en relación a las capas de refuerzo de malla y de su ubicación.



Estudios realizados presentan que, a mayor cantidad de capas de refuerzo de malla, el ferrocemento presenta menos deformación. Claro está que a mayor resistencia de la electromalla mejor será la capacidad del ferrocemento.

A continuación, se muestra una gráfica con el comportamiento típico del ferrocemento trabajando bajo cargas de compresión.

Figura 12. Gráfica, Rcvrs núm. de mallas



Fuente: elaboración propia.

Según datos proporcionados por la gráfica, a medida que el sistema de ferrocemento tiene mayor cantidad de capas de malla, tendrá mayor capacidad a esfuerzos de compresión.

### **3.1.2.2. Ensayo a corte**

La capacidad de resistencia a corte o compresión diagonal del ferrocemento (V'm) se determina a través de ensayos de muestras curadas durante 28 días y los cuales se deben ensayar en una máquina universal de ensayos de compresión en la cual se le aplicará una carga controlada para corroborar su capacidad de carga máxima.

Los ensayos de capacidad de carga se deberán realizar en tres fases: la primera, después de 7 días de haberse fabricado la muestra, en la cual deberá presentar un de su capacidad: el siguiente ensayo deberá realizarse a los 21 días de su fabricación, se debe obtener un 333 de capacidad de resistencia; finalmente deberá realizarse el último ensayo a los 28 días, debiendo obtener un 100% de su resistencia máxima.

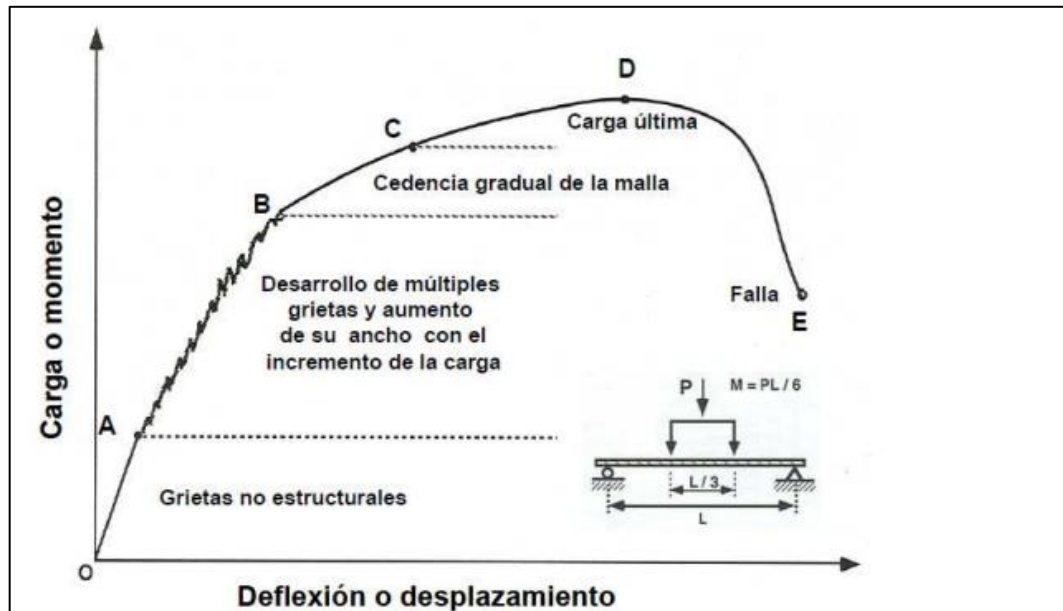
### **3.1.2.3. Ensayo a flexión**

La capacidad de resistencia a flexión del ferrocemento resulta de una combinación de los materiales que lo confirman. Esta combinación también es la que le da una alta resistencia a la compresión del mismo.

El aumento de la capacidad a flexión del ferrocemento al igual que en la compresión, también dependerá de la orientación en que se coloque la malla, así como del tipo de malla que se utilice.

La siguiente gráfica muestra el comportamiento en cada una de las etapas del ferrocemento ensayado a flexión.

Figura 13. Gráfica, momento vrs deflexión



Fuente: *Ensayos ferrocementos*. p. 53.

- El tramo inicial OA representa el tramo sin grietas estructurales.
- El tramo AB es la región donde se generan, desarrollan y multiplican las grietas. El ancho de las grietas aumenta con el incremento de la carga.
- En el tramo BC se inicia la cedencia gradual del acero de refuerzo. La cedencia gradual ocurre cuando una malla de acero llega al punto de cedencia. Las demás capas de refuerzo, colocadas en diferentes posiciones en el espesor del elemento, cederán a medida que aumente la carga.

- La región CD se conoce como portcedencia plástica o región de endurecimiento por deformación. En el punto D se alcanza la carga última.

### **3.2. Diseño de techo curvo**

A continuación se describe el diseño de techo curvo.

#### **3.2.1. Cálculo de radio por geometría**

A continuación se describe el cálculo de radio por geometría.

Donde

b = base

R = radio

f = contra flecha

Ø = ángulo

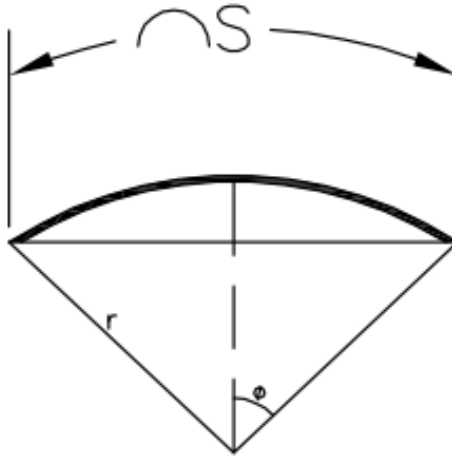
Nota: El cálculo del radio está en función de la base y la contraflecha.

$$R = \frac{f^2 + b^2}{2 \cdot f}$$

#### **3.2.2. Longitud de Arco**

A continuación se describe la longitud de arco.

Figura 14. **Longitud del acero**



Fuente: elaboración propia.

Donde

$\phi$  = ángulo de la bisectriz

S = longitud de arco

r = radio

Nota: el ángulo está en función del radio y la longitud del arco.

### 3.2.3. **Cálculo de contraflecha**

La deflexión de la contra flecha debe estar en un rango entre un 10 % a un 30 %,por tanto:

$$0,15 = f/L$$

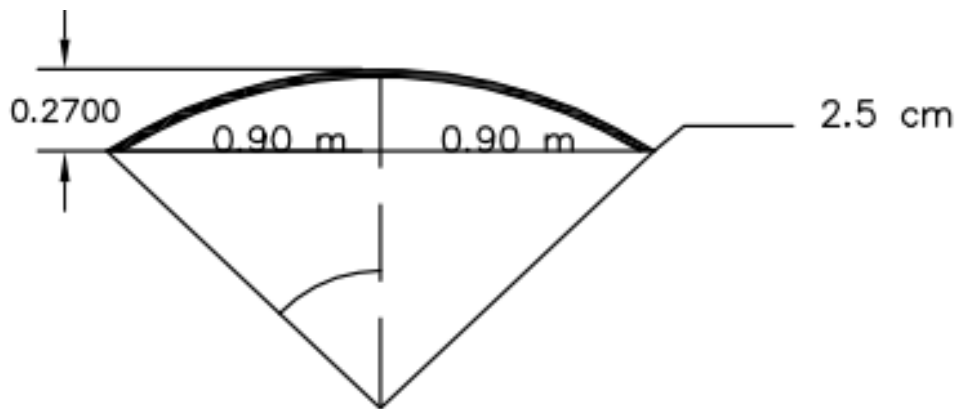
Donde

L = Longitud de sección

F = contra flecha

0,15= porcentaje de relación de contraflecha

Figura 15. Cálculo de contraflecha

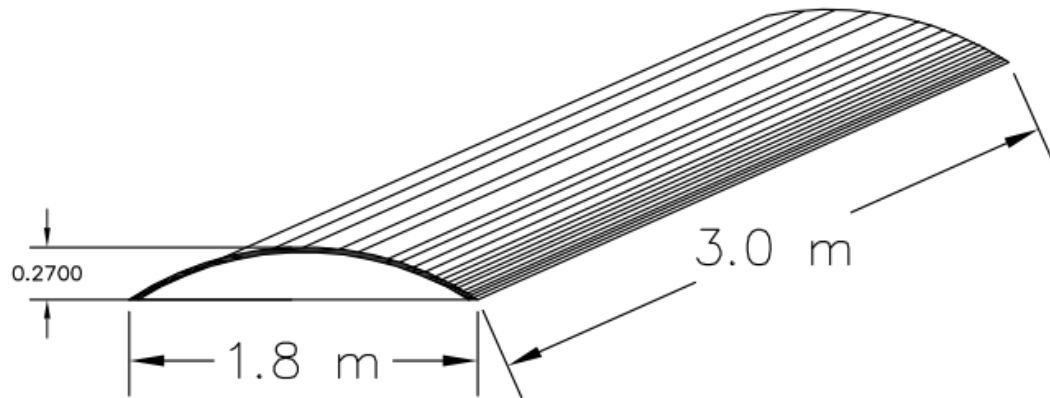


Fecha: elaboración propia.

### 3.3. Ensayo a flexión para modelo del sistema, con una luz de 3,00 mt por 1,80 mt de ancho

Para poder efectuar el ensayo a flexión del sistema constructivo de caña de maíz-ferrocemento, se construyó una losa curva con medidas mínimas, con 1,8 de luz por 3,00mt de largo tal como se muestra en el dibujo.

Figura 16. **Losa curva**



Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD.

Para realizar el ensayo a flexión de la losa, se formaleteó la parte superior con madera y en seguida se rellenó con arena de río, esto para poder distribuir la carga que se colocaría encima.

Figura 17. **Formaleteo**



Fuente: elaboración propia.

Luego de colocar la arena sobre la losa, se colocaron 5 deformómetros en áreas susceptibles a presentar deformación, durante la aplicación de la carga controlada.

Figura 18. **Deformómetros en área susceptibles**





Continuación de la figura 18.



Fuente: elaboración propia.

Posteriormente, finalizada la colocación de los deformómetros, se procedió a colocar una serie de cilindros de concreto, de masa conocida, sobre la losa de ferrocemento. Este procedimiento se hizo de forma ordenada comenzando desde los extremos hacia el centro de la losa, como se muestra en la siguiente imagen. Además, se colocaron una serie de hilos, como guía para su alineamiento.

Figura 19. Colocación de cilindros de concreto



Continuación de la figura 19.



Fuente: elaboración propia.

Este ensayo se llevó a cabo en dos etapas: la primera en la cual se colocó la carga sobre la losa durante un día; para luego quitarle la carga completa nuevamente para analizar las deformaciones que tuvo durante el tiempo en el que estuvo sometida a trabajo.

### **3.3.1. Comparativo de costo de losa de concreto armado contra losa de ferrocemento con caña de maíz**

A continuación se describe el comparativo de costos de losa de concreto armado contra losa de ferrocemento con caña de maíz.

### 3.3.1.1. Losa de concreto armado

A continuación se describe el presupuesto de concreto armado.

Tabla VI. Presupuesto

Presupuesto					
<b>PROYECTO:</b>		Trabajo de graduación			
<b>MODELO DE VIVIENDA:</b>		Vivienda popular			
<b>UBICACIÓN:</b>		N/A			
<b>FECHA:</b>					
Total de cantidad de materiales para techo curvo de 5,52 mts, E=9 cm					
Nº	Descripción	Cantidad	Unidad	Costos unitarios (sin IVA)	Total
<b>Materiales</b>					
1.00	Cemento UGC 3000psi	4,473	saco	Q 72,00	Q 322,06
2.00	Arena de rio lavada	0,231105	m3	Q 95,00	Q 21,95
3.00	Piedrín de 3/8	0,453264	m3	Q 125,00	Q 56,66
4.00	Varilla # 3, de 6m	29	Var	Q 20,00	Q 580,00
5.00	Alambre de amarre	7	Lb	Q 3,26	Q 22,82
6.00	Flete	1	Global	Q 200,00	Q 200,00
<b>Muro de obra</b>					
7.00	Mo. armado acero por octavo	522	Octavo	Q 0,40	Q 208,80
8.00	Mo. Concreto hecho en obra	0.4473	m3	Q 50,00	Q 22,37

<b>COSTOS DIRECTOS:</b>		
(Materiales, mano de obra, prestaciones M.O., maquinaria y equipo, herramientas, combustibles, transporte) (sin IVA)		
<b>TOTAL, COSTO DIRECTO</b>		Q 1 434,65
<b>COSTOS INDIRECTOS:</b>		
Gastos Administrativos (% TOTAL COSTO DIRECTO)	13,95%	Q 200,19
Imprevistos (% TOTAL COSTO DIRECTO)	1,00%	Q 14,35
Utilidad (% TOTAL COSTO DIRECTO)	6,00%	Q 86,08
<b>TOTAL, COSTO INDIRECTO</b>		Q 300,62
<b>SUB TOTAL</b>		Q 1 735,27
<b>IVA (12 %)</b>		Q 208,23
<b>PRECIO</b>		Q 1 943,50
<b>PRECIO POR m2</b>		<b>Q 352,08</b>

Fuente: elaboración propia.

### 3.3.1.2. Losa de ferrocemento y caña de maíz

A continuación se describe la losa de ferrocemento y caña de maíz.

Tabla VII. Presupuesto de vivienda popular

<b>PROYECTO:</b>		Trabajo de graduación			
<b>MODELO DE VIVIENDA:</b>		Vivienda Popular			
<b>UBICACIÓN:</b>		N/A			
<b>FECHA:</b>					
Total, de cantidad de materiales para techo curvo de 5,52 mts, E=2,5 cm					
Nº	Descripción	Cantidad	Unidad	Costos unitarios (sin IVA)	Total
<b>Materiales</b>					
1.00	Cemento UGC 3000psi	2	saco	Q 72,00	Q 144,00
2.00	Arena de rio lavada	0,09108	m3	Q 95,00	Q 8,65
3.00	Alambre de amarre	5	Lb	Q 3,26	Q 16,30
4.00	Acero electro-malla 6x6, 9/9	1	Unidad	Q 98,04	Q 98,04
5.00	Malla hexagonal (gallinero)	0,5	Rollo	Q 275,00	Q 137,50
<b>Mo. De obra</b>					
6.00	Mo. Concreto hecho en obra	0,138	m3	Q 25,00	Q 3,45
7.00	Mo. mezclon hecho en obra	0,138	m3	Q 30,00	Q 4,14
8.00	Mo. Armado con electro-malla	15	m2	Q 3,50	Q 52,50

<b>COSTOS DIRECTOS:</b>			
(Materiales, mano de obra, prestaciones M.O., maquinaria y equipo, herramientas, combustibles, transporte) (sin IVA)			
<b>TOTAL, COSTO DIRECTO</b>			Q 464,58
<b>COSTOS INDIRECTOS:</b>			
Gastos administrativos (% TOTAL COSTO DIRECTO)	13,95%		Q 64,83
Imprevistos (% TOTAL COSTO DIRECTO)	1,00%		Q 4,65
Utilidad (% TOTAL COSTO DIRECTO)	6,00%		Q 27,87
<b>TOTAL, COSTO INDIRECTO:</b>			Q 97,35
<b>SUB TOTAL</b>			Q 561,93
<b>IVA (12%)</b>			Q 67,43
<b>PRECIO</b>			Q 629,36
<b>PRECIO POR m<sup>2</sup></b>			<b>Q 114,01</b>

Fuente: elaboración propia.

En conclusión, se puede observar que el metro cuadrado de construcción de ferrocemento comparado con el concreto armado puede llegar a ser hasta una tercera parte. Lo cual demuestra que los techos construidos con ferrocemento los hace no solamente seguros y resistentes sino además económicos en su construcción.

### **3.3.1.3. Comparativo de cargas**

Con base en las normas de seguridad estructural de edificaciones y obras de infraestructura para la república de Guatemala, AGIES, las cargas vivas para cubiertas pesadas con o sin acceso donde la cubierta en sí tenga un peso propio de  $120 \text{ kg/m}^2$ , deberá tener una capacidad mínima de carga de  $100 \text{ kg/m}^2$ .

Según los resultados obtenidos durante el ensayo de capacidad de carga del sistema caña de maíz- ferrocemento, este presenta una capacidad de  $1\ 056,2 \text{ kg/m}^2$ , es decir, diez veces más la capacidad mínima solicitada por AGIES.

## 4. EXPOSICIÓN DE RESULTADOS

Luego de ensayada la losa bajo cargas de diseño, se obtuvieron los siguientes datos:

Figura 20. Resultados del ensayo

1/09/2015	Fuerza		Lectura										Desplazamiento s														
	Carga (kg)	KN	plg		mm		plg		plg		mm		DEF 1		DEF 2		DEF 3		DEF 4		DEF 5						
	0	0	4	5	19	2	3	50	2	3	54	5	6	47	9	10	9	5.19	0	2.50	0.00	2.54	0	5.47	0	9.09	0
	196.8	1.932576	4	5	19	2	3	52	2	3	56	5	6	47	9	10	9	5.19	0	2.52	0.02	2.56	0.02	5.47	0	9.09	0
	329	3.23078	4	5	19.5	2	3	52	2	3	52.5	5	6	48	9	10	9	5.195	0.005	2.52	0.02	2.525	0.015	5.48	0.01	9.09	0
	458.9	4.506398	4	5	20	2	3	54	2	3	58	5	6	48	9	10	9	5.2	0.01	2.54	0.04	2.58	0.04	5.48	0.01	9.09	0
	591.7	5.810494	4	5	19	2	3	58	2	3	59	5	6	49	9	10	9	5.19	0	2.58	0.08	2.59	0.05	5.49	0.02	9.09	0
	720.6	7.076292	4	5	19	2	3	60	2	3	59	5	6	51	9	10	9	5.19	0	2.60	0.10	2.59	0.05	5.51	0.04	9.09	0
02/09/20015	856.2	8.407884	4	5	19	2	3	61	2	3	62	5	6	52	9	10	9	5.19	0	2.61	0.11	2.62	0.08	5.52	0.05	9.09	0
	856.2	8.407884	4	5	6	2	3	91	2	3	76	5	6	78	9	10	28	5.06	0.13	2.91	0.41	2.76	0.22	5.78	0.31	9.28	0.19
	720.6	7.076292	4	5	3	2	3	87	2	3	74	5	6	79	9	10	27	5.03	0.16	2.87	0.37	2.74	0.2	5.79	0.32	9.271	0.181
	591.7	5.810494	4	5	4	2	3	84	2	3	73	5	6	80	9	10	28	5.04	0.15	2.84	0.34	2.73	0.19	5.8	0.33	9.275	0.185
	458.9	4.506398	4	5	4.5	2	3	81	2	3	72	5	6	79	9	10	28	5.045	0.145	2.81	0.31	2.72	0.18	5.79	0.32	9.275	0.185
	329	3.23078	4	5	3	2	3	78	2	3	71	5	6	80	9	10	28	5.03	0.16	2.78	0.28	2.71	0.17	5.8	0.33	9.275	0.185
	196.8	1.932576	4	5	3	2	3	76	2	3	70	5	6	83	9	10	28	5.03	0.16	2.76	0.26	2.7	0.16	5.83	0.36	9.275	0.185
	0	0	4	5	4	1	2	72	2	3	68	5	6	83	9	10	28	5.04	0.15	2.72	0.22	2.68	0.14	5.825	0.355	9.275	0.185

Fuente: elaboración propia.

La siguiente tabla muestra los datos obtenidos durante el segundo ensayo en el cual la losa se ensayó a su máxima capacidad pero sin llegar a su carga de falla.

Tabla VIII. Resultados del segundo ensayo

2/09/2015	Fuerza		Lectura												Desplazamientos												
	Carga (kg)	KN	plg				mm				plg				mm				DEF 1	DEF 2	DEF 3	DEF 4	DEF 5				
	0	0	4	5	3	1	2	75	2	3	67	5	6	49	8	9	26	10.24	0	1.75	0	2.67	0	5.49	0.000	8.26	0
	197.4	1.938	4	5	1	1	2	75	2	3	68.5	5	6	51	8	9	25	10.19	0.051	1.75	0.00	2.685	0.015	5.51	0.020	8.245	0.015
	331.7	3.257	4	5	2.5	1	2	77	2	3	69	5	6	53	8	9	24	10.22	0.013	1.77	0.02	2.69	0.02	5.525	0.035	8.235	0.025
	460	4.517	4	5	2	1	2	79	2	3	70.5	5	6	55				10.21	0.025	1.79	0.04	2.705	0.035	5.55	0.060	0	0
	591.4	5.808	4	5	2.5	1	2	81	2	3	71	5	6	57				10.22	0.013	1.81	0.06	2.71	0.04	5.57	0.080	0	0
	723.2	7.102	4	5	3	1	2	83.5	2	3	72	5	6	62				10.24	0	1.84	0.09	2.72	0.05	5.62	0.130	0	0
	854.2	8.388	4	5	2.5	1	2	88.5	2	3	74	5	6	65				10.22	0.013	1.89	0.14	2.74	0.07	5.65	0.160	0	0
	987.3	9.695	4	5	3	1	2	91	2	3	75	5	6	69				10.24	0	1.91	0.16	2.75	0.08	5.685	0.195	0	0
	1197.7	11.761	4	5	2	1	2	92	2	3	76	5	6	73				10.21	0.025	1.92	0.17	2.76	0.09	5.725	0.235	0	0
	1328.2	13.043	4	5	3	1	2	97	2	3	77	5	6	76				10.24	0	1.97	0.22	2.77	0.1	5.76	0.270	0	0
	1459.6	14.333	4	5	2	1	2	1	2	3	80	5	6	80				10.21	0.025	2.01	0.26	2.8	0.13	5.8	0.310	0	0
	1592.4	15.637	4	5	2	1	2	4	2	3	82	5	6	83				10.21	0.025	2.04	0.29	2.82	0.15	5.83	0.340	0	0
	1724.4	16.934	4	5	1	1	2	11	2	3	83	5	6	86				10.19	0.051	2.11	0.36	2.83	0.16	5.86	0.370	0	0
	1858.2	18.248	4	5	0.5	1	2	13	2	3	85.5	5	6	91				10.17	0.063	2.13	0.38	2.855	0.185	5.91	0.420	0	0
	1986.8	19.510	4	5	1	1	2	18	2	3	86	5	6	96				10.19	0.051	2.18	0.43	2.86	0.19	5.96	0.470	0	0
100%	2000	19.640	4	5	0	2	3	24	2	3	88	6	7	5				10.16	0.076	2.24	0.49	2.88	0.21	6.05	0.560	0	0

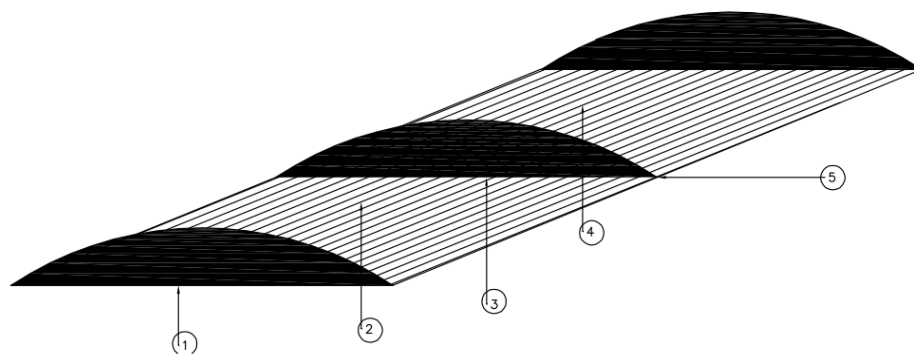
Fuente: elaboración propia.



## 5. ANALISIS DE RESULTADOS

Luego de realizados los ensayos, sobre la losa de ferrocemento y caña de maíz, se procedió a su respectivo análisis, al realizar la gráfica correspondiente de carga versus deformación para cada uno de los deformómetros colocados en puntos estratégicos de la losa.

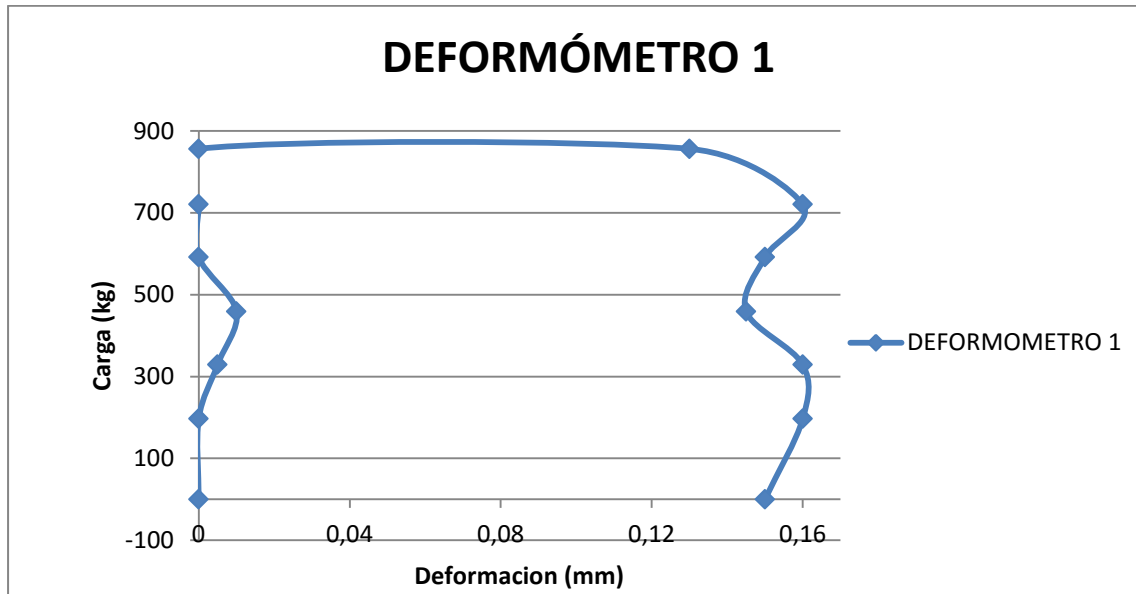
Figura 21. **Puntos estratégicos de la losa**



Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD.

Primeramente, se realizó un ensayo de capacidad de carga, al colocar sobre la losa capacidades de carga permisibles para vivienda para analizar su comportamiento. Posteriormente se ensayó para comprobar su comportamiento con una carga mayor para comprobar su capacidad de carga.

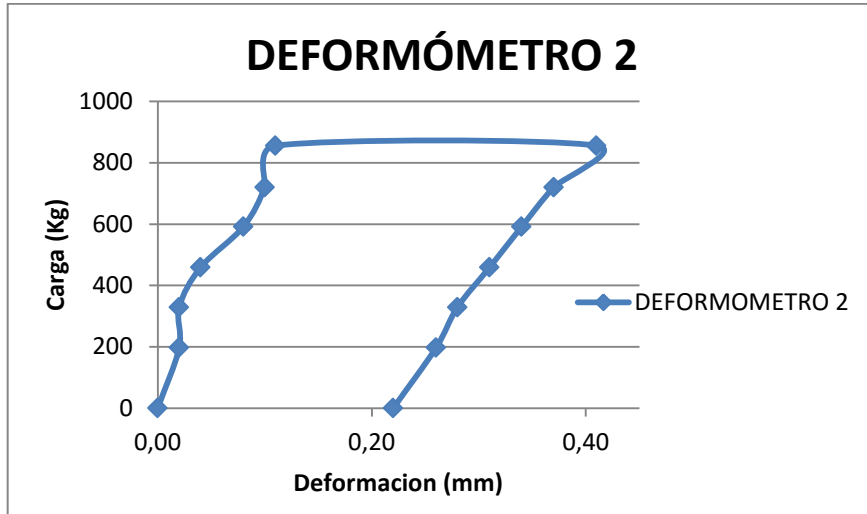
Figura 22. Gráfica, carga vrs deformación



Fuente: elaboración propia.

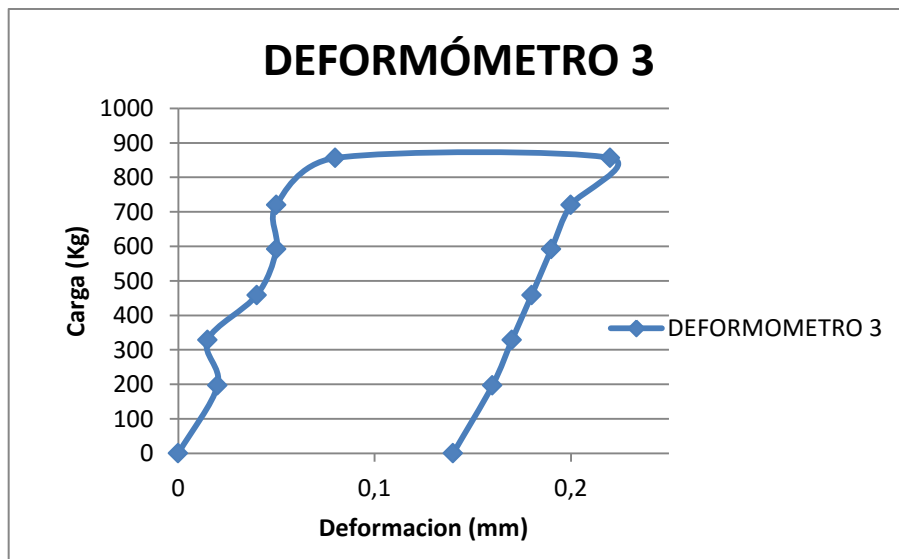
Según datos obtenidos, la gráfica presenta una vibración en el tímpano externo de la losa (ubicación del deformómetro 1), en el cual luego de aplicada la carga, mostró una deformación permanente luego de aplicada la carga.

Figura 23. Gráfica, carga vrs deformación I



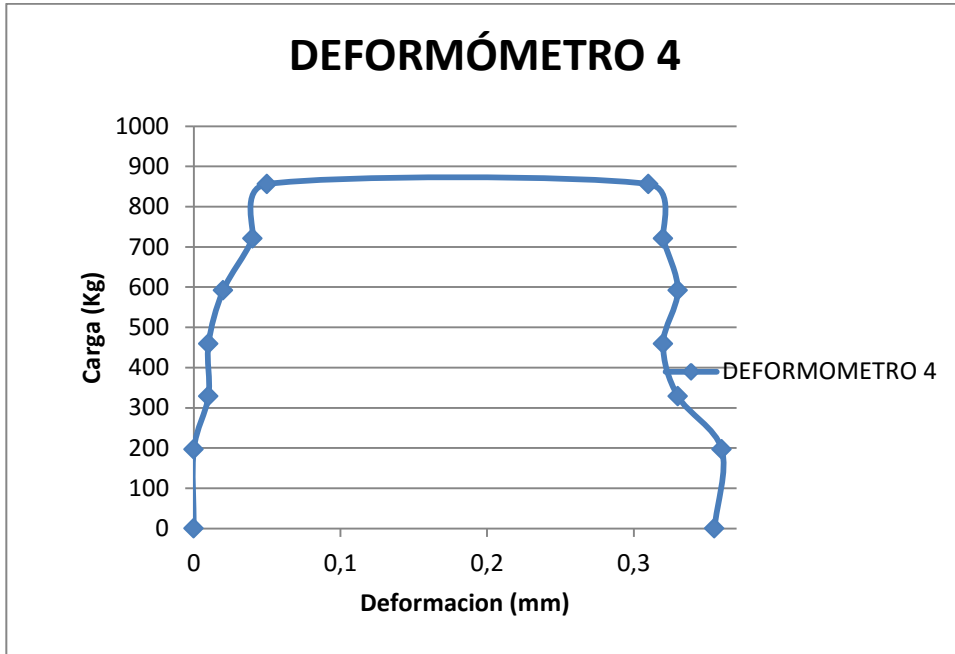
Fuente: elaboración propia.

Figura 24. Gráfica, carga vrs deformación II



Fuente: elaboración propia.

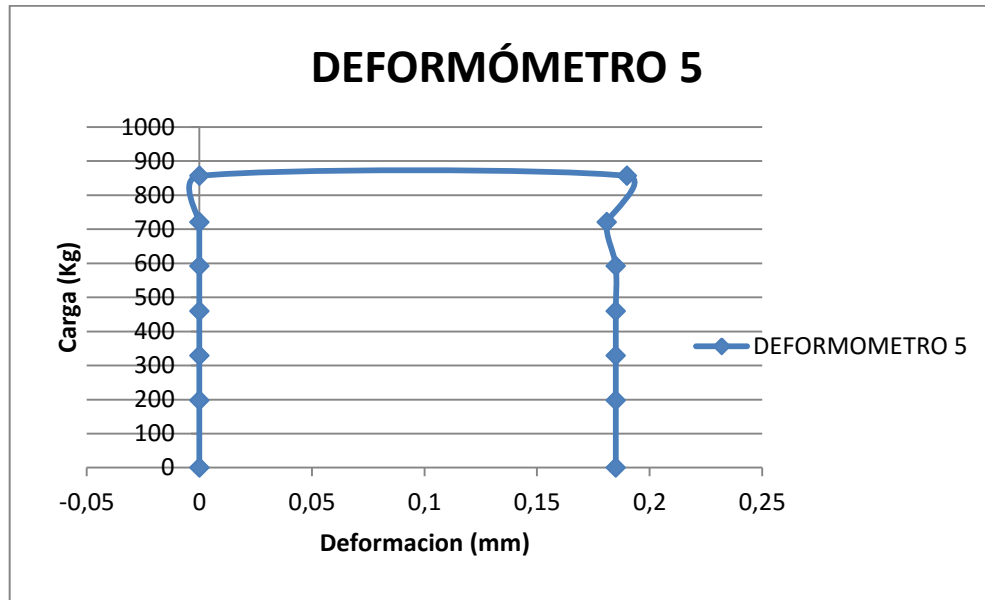
Figura 25. Gráfica, carga vrs deformación III



Fuente: elaboración propia.

Como se puede observar en las gráficas, de los deformómetros 2, 3 y 4, luego de haberse aplicado la carga durante 24 horas, presentó una deformación mínima permanente en el sistema.

Figura 26. Gráfica, carga vrs deformación IV

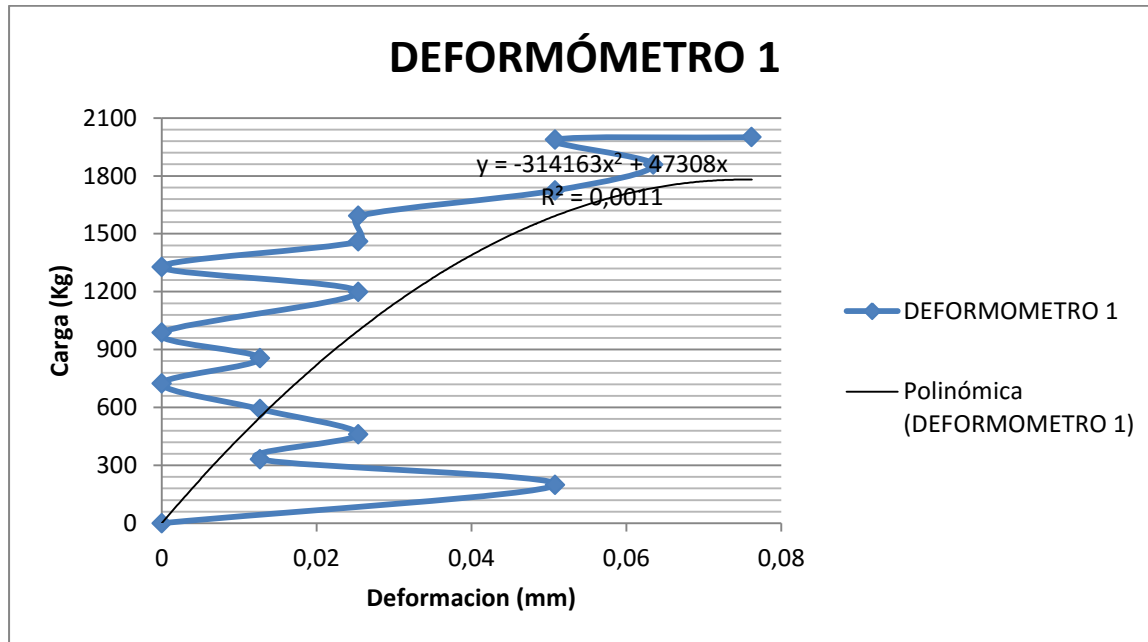


Fuente: elaboración propia.

Según datos obtenidos durante el ensayo, la deformación que sufre la losa, lateralmente es la menor de todas, ya que como se demuestra en la gráfica, su deformación fue menor a los registrados por los otros deformómetros.

Las siguientes gráficas, presentan los datos obtenidos durante la segunda etapa de ensayos la cual se realizó aplicando una carga máxima.

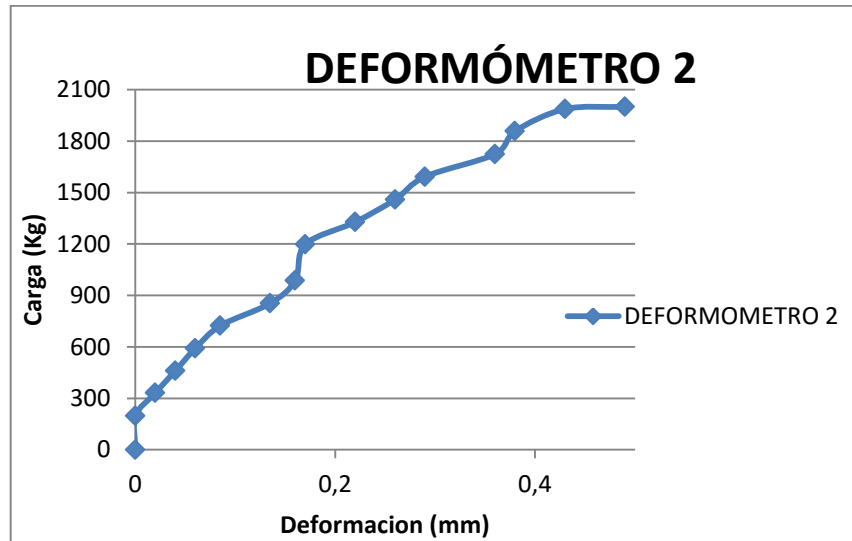
Figura 27. Gráfica, carga vrs deformación V



Fuente: elaboración propia.

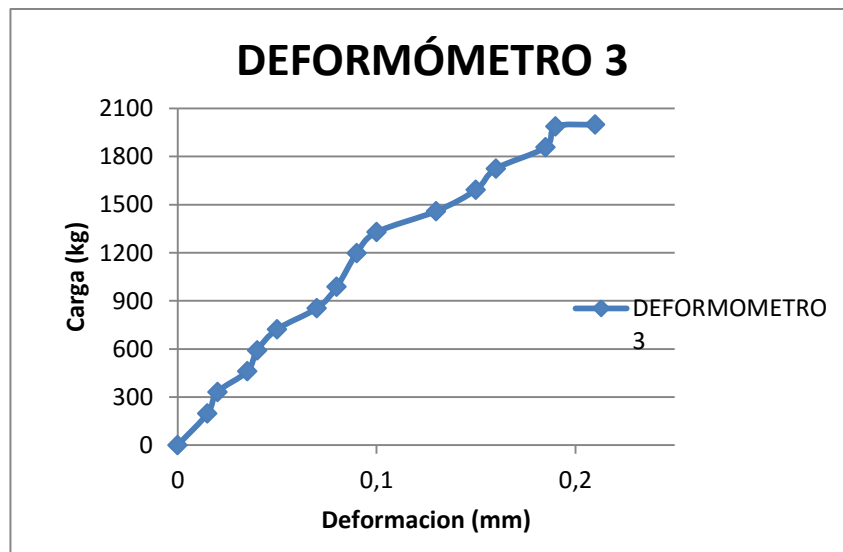
Según datos obtenidos en los ensayos, la gráfica presenta las vibraciones que presentó el tímpano externo de la losa, debido a su poca esbeltez.

Figura 28. Gráfica, carga vrs deformación VI



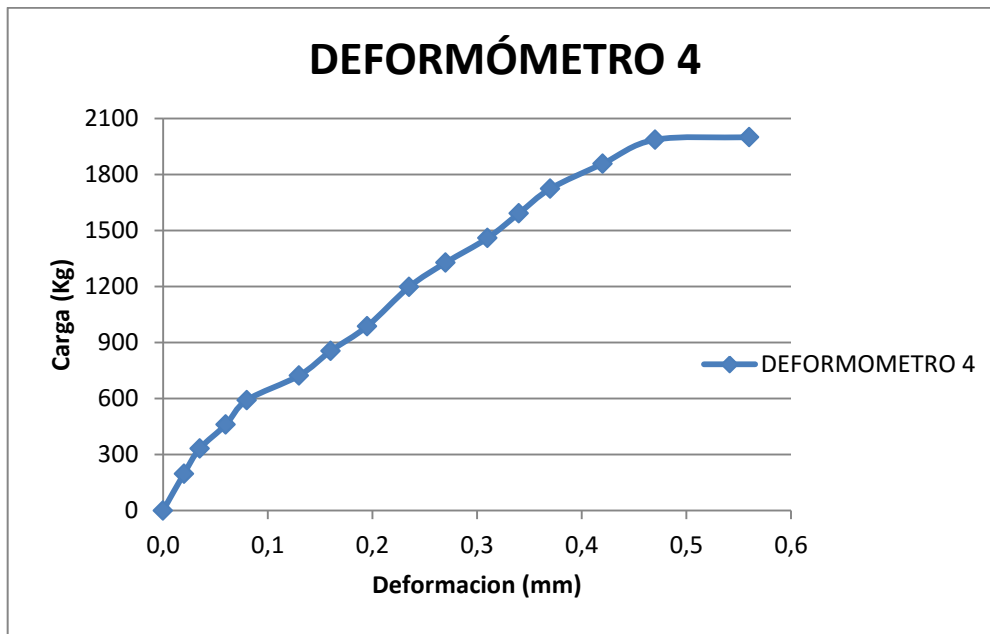
Fuente: elaboracion propia.

Figura 29. Gráfica, carga vrs deformación VII



Fuente: elaboración propia.

Figura 30. Gráfica, carga vrs deformación VIII



Fuente: elaboración propia.

Como puede apreciarse en las gráficas, las deformaciones en los diferentes puntos de la losa son bastante uniformes, presentando valores menores a la deformación máxima permisible ( $L/180$ ) la cual brinda una deformación de 10mm.

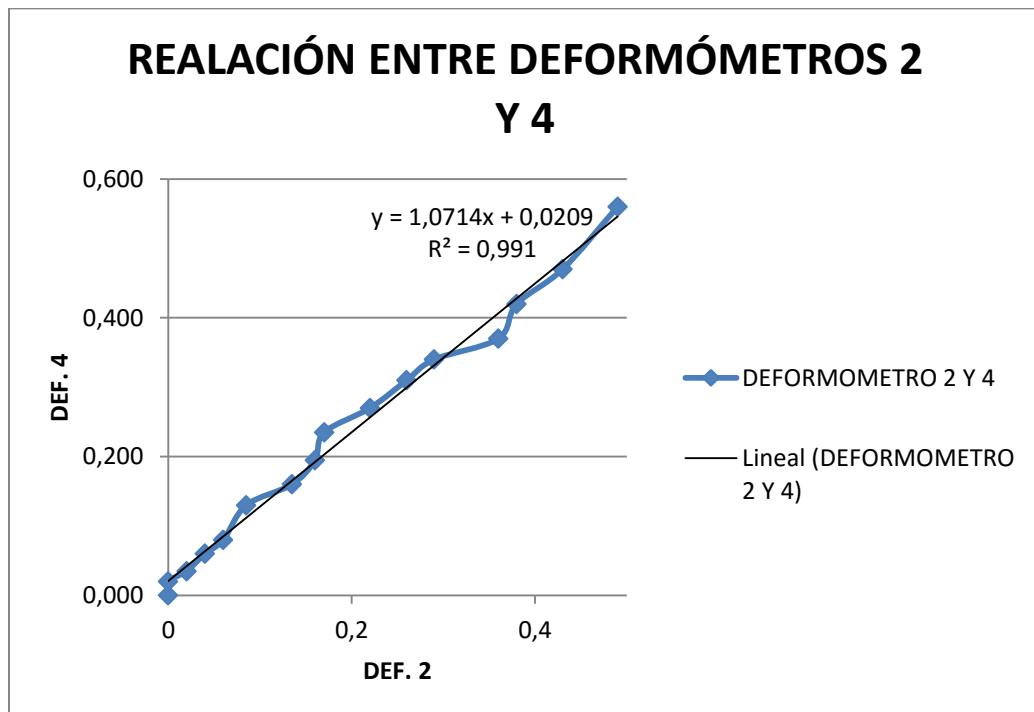
La caña de maíz en su zona de trabajo tiene una capacidad de carga de 42kg, con una deflexión de 4mm. Para las condiciones de este sistema de techo se utiliza la relación de  $L/480$ , la cual da como resultado de 3,7 mm, esto se observa en la gráfica número 6.

Para nuestro sistema de techo curvo, se manejó un factor de seguridad de 3, en relación a la deflexión permitida. Se reportan 1,2 mm de deflexión, misma



que representa un 50 % de la deflexión, medida para una carga de techo de 225 kg/mt.

Figura 31. Gráfica, carga vrs deformación IX



Fuente: elaboración propia.

Con respecto a las deformaciones 2 y 4, debido a su ubicación muestran un comportamiento similar y uniforme, ya que sus valores de deformación muestran un desplazamiento muy similar.



## CONCLUSIONES

1. El sistema de techo de caña de maíz con ferrocemento, es un sistema funcional y satisfactorio debido a que se pudo comprobar mediante ensayos su alta capacidad de carga que cumple así con las normas AGIES.
2. El sistema constructivo de caña de maíz-ferrocemento es un sistema económico comparado con un sistema de losa fundida tradicional.
3. Durante las pruebas se pudo comprobar que la caña de maíz es un sistema viable en la construcción de techos ya que sus propiedades mecánicas contribuyen a la capacidad de carga del sistema.
4. Una de las ventajas de este sistema, además de su capacidad de resistencia de carga, es su bajo costo, lo cual lo hace una alternativa accesible para las personas que deseen construir un techo eficiente y económico, además de contribuir al medio ambiente.
5. El aumento de capas de malla en el ferrocemento disminuye la generación de grietas en la losa.



## RECOMENDACIONES

1. Utilizar caña de maíz de una misma región para que esta sea lo más uniforme posible.
2. Colocar no menos de dos capas de malla hexagonal en el ferrocemento con el objetivo de disminuir la aparición de grietas.
3. Darle un proceso de curado adecuado a la losa para que la mezcla de ferrocemento alcance su capacidad de carga máxima.
4. Utilizar una capa de polímero, entre la caña de maíz y el ferrocemento, para que la caña no se humedezca y no se pudra.
5. Los tímpanos deben tener un refuerzo adicional para evitar las vibraciones.
6. Es recomendable utilizar tallos de caña de maíz con longitudes no mayores a los 30 cm de longitud.
7. Se recomienda utilizar diámetros no menores de 27 mm de tallos de maíz, el sistema constructivo caña de maíz-ferrocemento.



## BIBLIOGRAFÍA

1. Asociación Guatemalteca de Ingeniería Estructural y Sísmica. *Normas de seguridad estructural de edificios y obras de infraestructura para la República de Guatemala*. Guatemala: AGIES, 2010. 75 p.
2. CABRERA SEIS, Jadenón Vinicio. *Guía teórica y práctica del curso de cimentaciones I*. Trabajo de graduación de Ing. Civil. Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala, 1994. 155 p.

