



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

**CARACTERIZACIÓN FÍSICO – MECÁNICA DE MORTEROS  
FIBRORREFORZADOS DE MATRIZ CEMENTICIA Y FIBRA DE COCO**

**Demis Omar Alvarez Molineros**

**Asesorado por el Ing. Francisco Javier Quiñónez de la Cruz**

**Guatemala, abril de 2008**

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**CARACTERIZACIÓN FÍSICO – MECÁNICA DE MORTEROS  
FIBRORREFORZADOS DE MATRIZ CEMENTICIA Y FIBRA DE COCO**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA  
FACULTAD DE INGENIERÍA

POR

**DEMIS OMAR ALVAREZ MOLINEROS**

ASESORADO POR EL ING. FRANCISCO JAVIER QUIÑÓNEZ DE LA CRUZ

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

**INGENIERO CIVIL**

GUATEMALA, ABRIL DE 2008

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

FACULTAD DE INGENIERÍA



### **NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA**

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
VOCAL I	Inga. Glenda Patricia García Soria
VOCAL II	Inga. Alba Maritza Guerrero de López
VOCAL III	Ing. Miguel Angel Dávila Calderon
VOCAL IV	Br. Kenneth Issur Estrada Ruiz
VOCAL V	
SECRETARIA	Inga. Marcia Ivonne Véliz Vargas

### **TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO**

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
EXAMINADOR	Ing. Rafael Enrique Morales Ochoa
EXAMINADOR	Ing. Francisco Javier Quiñónez de la Cruz
EXAMINADOR	Ing. Ronald Estuardo Galindo Cabrera
SECRETARIA	Inga. Marcia Ivonne Véliz Vargas

## HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

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

### **CARACTERIZACIÓN FÍSICO – MECÁNICA DE MORTEROS FIBRORREFORZADOS DE MATRIZ CEMENTICIA Y FIBRA DE COCO,**

tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Civil, con fecha 11 de septiembre de 2007.



Demis Omar Alvarez Molineros

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS  
DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERIA

Guatemala,  
11 de febrero de 2008

Ingeniero  
Fernando Amilcar Boiton Velásquez  
Director de la Escuela de Ingeniería Civil  
Facultad de Ingeniería  
Presente

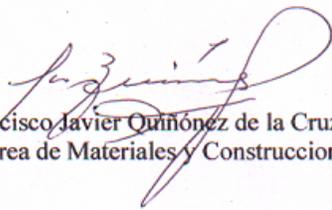
Estimado Ing. Boiton.

Le informo que he revisado el trabajo de graduación **CARACTERIZACIÓN FÍSICO-MECÁNICA DE MORTEROS FIBRORREFORZADOS DE MATRIZ CEMENTICIA Y FIBRA DE COCO**, desarrollado por el estudiante de Ingeniería Civil Demis Omar Alvarez Molineros, quien contó con la asesoría del suscrito.

Considero que el trabajo realizado por el estudiante Alvarez Molineros, satisface los objetivos para los que fue planteado, por lo que recomiendo su aprobación.

Atentamente,

ID Y ENSEÑAD A TODOS

  
Ing. Francisco Javier Quinón de la Cruz  
Coordinador del Área de Materiales y Construcciones Civiles



/bbdeb.

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS  
DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERIA

Guatemala,  
11 de febrero de 2008

Ingeniero  
Fernando Amilcar Boiton Velásquez  
Director de la Escuela de Ingeniería Civil  
Facultad de Ingeniería  
Presente

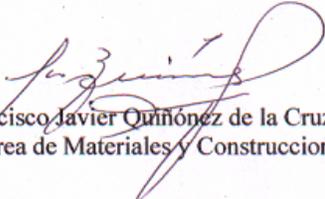
Estimado Ing. Boiton.

Le informo que he revisado el trabajo de graduación **CARACTERIZACIÓN FÍSICO-MECÁNICA DE MORTEROS FIBRORREFORZADOS DE MATRIZ CEMENTICIA Y FIBRA DE COCO**, desarrollado por el estudiante de Ingeniería Civil Demis Omar Alvarez Molineros, quien contó con la asesoría del suscrito.

Considero que el trabajo realizado por el estudiante Alvarez Molineros, satisface los objetivos para los que fue planteado, por lo que recomiendo su aprobación.

Atentamente,

ID Y ENSEÑAD A TODOS

  
Ing. Francisco Javier Quinón de la Cruz  
Coordinador del Área de Materiales y Construcciones Civiles



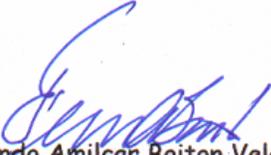
/bbdeb.

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS  
DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERIA

El Director de la Escuela de Ingeniería Civil, después de conocer el dictamen del Asesor y Coordinador del Área de Materiales y Construcciones Civiles, Ing. Francisco Javier Quiñónez de la Cruz, al trabajo de graduación del estudiante Demis Omar Álvares Molineros, titulado **CARACTERIZACIÓN FÍSICO-MECÁNICA DE MORTEROS FIBRORREFORZADOS DE MATRIZ CEMENTICIA Y FIBRA DE COCO**, da por este medio su aprobación a dicho trabajo.

  
Ing. Fernando Amilcar Boiton Velásquez



Guatemala, marzo 2008.

/bbdeb.

Universidad de San Carlos  
de Guatemala



Facultad de Ingeniería  
Decanato

Ref. DTG.085.08

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: **CARACTERIZACIÓN FÍSICO-MECÁNICA DE MORTEROS FIBRORREFORZADOS DE MATRIZ CEMENTICIA Y FIBRA DE COCO**, presentado por el estudiante universitario **Demis Omar Alvarez Molineros**, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE.

Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos \*  
DECANO

Guatemala, abril de 2008

mestras  
/cc

## **ACTO QUE DEDICO:**

- A Dios** Por su infinito amor y sabiduría, que me permitió cumplir una de mis metas.
- A mis padres** Maria Elda Molineros y Luis Alfredo Alvarez, en especial a mi madre; mil gracias por tu esfuerzo, dedicación y apoyo incondicional.
- A mis hermanos** Williams Alfredo y Douglas Estuardo, por alentarme y apoyarme siempre.
- A mi abuela** Maria Candelaria, por su amor y sabios consejos.
- A toda mi familia** Con mucho cariño.

## **AGRADECIMIENTOS**

Al ingeniero Francisco Javier Quiñónez de la Cruz, por su tiempo y experiencia brindados para la realización este trabajo de graduación.

A la Universidad de San Carlos de Guatemala y a la facultad de ingeniería, por la enseñanza y aportación académica.

A todos mis compañeros, por el apoyo y amistad que me brindaron en todo momento.

A todas las personas que de alguna manera contribuyeron en la realización de este trabajo.

# ÍNDICE GENERAL

<b>ÍNDICE DE ILUSTRACIONES</b>	V
<b>LISTA DE SIMBOLOS</b>	IX
<b>GLOSARIO</b>	XI
<b>RESUMEN</b>	XIII
<b>OBJETIVOS</b>	XV
<b>INTRODUCCIÓN</b>	XVII

## **1. ANTECEDENTES**

1.1 Antecedentes de los materiales fibrorreforzados	1
---	---

## **2. MATERIALES COMPUESTOS**

2.1 Características de los materiales compuestos	3
2.2 Clasificación de los materiales compuestos	4

## **3. MATERIALES COMPUESTOS REFORZADOS CON FIBRAS**

3.1 Componentes del material compuesto fibrorreforzado	6
3.1.1 La matriz	6
3.1.2 Las fibras	6
3.1.3 La interfase	8
3.2 Características de los materiales compuestos reforzados con fibras	8
3.2.1 Longitud y diámetros de las fibras	9
3.2.2 Cantidad de fibra	9
3.2.3 Orientación de las fibras	10
3.2.4 Unión y falla	10

## **4. MATERIAS PRIMAS**

4.1	Morteros	11
4.1.1	Propiedades de los morteros	11
4.1.1.1	Propiedades en estado plástico	11
4.1.1.2	Propiedades en estado endurecido	12
4.1.2	Componentes de los morteros	13
4.1.2.1	El cemento	13
4.1.2.2	Agregados	14
4.2	Fibra de coco	16
4.2.1	La palma de coco	16
4.2.1.1	Sus usos	17
4.2.2	El fruto	18
4.2.4	Características de la fibra de coco	19

## **5. DESARROLLO EXPERIMENTAL**

5.1	Procedimiento utilizado	21
5.1.1	Caracterización de agregado fino	21
5.1.3	Obtención de la fibra de coco	22
5.1.3	Mezclas preliminares	24
5.1.4	Proporcionamiento de los materiales	24
5.1.5	Mezclado de los materiales	26
5.1.6	Moldeado de cilindros	27
5.1.7	Moldeado de vigas	28
5.1.8	Desencofrado	29
5.1.9	Curado	29
5.2	Ensayos realizados	30
5.2.1	Ensayo de compresión	32
5.2.2	Ensayo de flexión	38
5.2.3	Ensayo de tensión indirecta	43

<b>6. ANÁLISIS Y EVALUACIÓN DE RESULTADOS</b>	
6.1 Resistencia a compresión	47
6.2 Resistencia a flexión	49
6.3 Resistencia a tensión indirecta	52
6.4 Tipos de fallas en los especímenes ensayados	54
6.4.1 Fallas a compresión	54
6.4.2 Falla a flexión	55
6.4.3 Falla a tensión indirecta	56
6.5 Efecto de la fibra sobre el mortero	57
<b>CONCLUSIONES</b>	59
<b>RECOMENDACIONES</b>	61
<b>BIBLIOGRAFÍA</b>	63
<b>APÉNDICES</b>	65



## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

### FIGURAS

1	Clasificación de las fibras por su origen	8
2	Partes del fruto del coco	18
3	Curva granulométrica del agregado fino	22
4	Obtención de la estopa de coco en la Terminal	23
5	Molino de martillos	23
6	Fibra de coco	23
7	Mezclas preliminares	24
8	Probetas de las mezcla preliminares	24
9	Llenado de cilindros	27
10	Llenado de vigas	28
11	Desencofrado de vigas	29
12	Curado de muestras	30
13	Máquina universal marca BALDWIN	31
14	Máquina marca RIEHLE	31
15	Nivelación de probetas con azufre para el ensayo a compresión	34
16	Realización del ensayo a compresión	34
17	Realización del ensayo a flexión	39
18	Realización del ensayo de tensión indirecta	44
19	Resistencia a compresión a los 28 días, en los distintos tipos de mezcla	47
20	Capacidad de deformación en probetas a compresión	48
21	Gráfica esfuerzo-deformación del material fibrorreforzado (compresión)	48
22	Gráfica esfuerzo-deformación de la muestra control (compresión)	48
23	Comportamiento en el tiempo de los distintos tipos de mezcla R. Comp.	49
24	Resistencia a flexión a los 28, días en los distintos tipos de mezcla	50

25	Capacidad de deflexión en probetas a flexión	50
26	Gráfico esfuerzo-deformación del material fibrorreforzado (flexión)	51
27	Gráfico esfuerzo-deformación de la muestra control (flexión)	51
28	Comportamiento en el tiempo de los distintos tipos de mezcla R. Flexión	51
29	Resistencia a tensión a los 28 días, en los distintos tipos de mezcla	52
30	Capacidad de deformación en probetas a tensión indirecta	53
31	Gráfico esfuerzo-deformación material fibrorreforzado (tensión indirecta)	53
32	Gráfico esfuerzo-deformación de la muestra control (tensión indirecta)	53
33	Comportamiento en el tiempo de los distintos tipos de mezcla R. Tensión	54
34	Fallas ocurridas en los especímenes ensayados a compresión	55
35	Falla a flexión en espécimen fibrorreforzado	56
36	Falla a flexión se puede observar como las fibras trabajaron	56
37	Falla a tensión indirecta en espécimen fibrorreforzado	56
38	Falla a tensión indirecta en espécimen sin refuerzo	56
39	Gráfico esfuerzo - deformación, resistencia a compresión, mezcla A	73
40	Gráfico esfuerzo - deformación, resistencia a compresión, mezcla B	73
41	Gráfico esfuerzo - deformación, resistencia a compresión, mezcla C	74
42	Gráfico esfuerzo - deformación, resistencia a compresión, mezcla D	74
43	Gráfico esfuerzo - deformación, resistencia a compresión, mezcla E	75
44	Gráfico esfuerzo - deformación, resistencia a compresión, mezcla F	75
45	Gráfico esfuerzo - deformación, resistencia a compresión, mezcla G	76
46	Gráfico carga - deflexión, resistencia a flexión, mezcla A	77
47	Gráfico carga - deflexión, resistencia a flexión, mezcla B	77
48	Gráfico carga - deflexión, resistencia a flexión, mezcla C	78
49	Gráfico carga - deflexión, resistencia a flexión, mezcla D	78
50	Gráfico carga - deflexión, resistencia a flexión, mezcla E	79
51	Gráfico carga - deflexión, resistencia a flexión, mezcla F	79
52	Gráfico carga - deflexión, resistencia a flexión, mezcla G	80
53	Gráfico carga - deformación, resistencia a tensión indirecta, mezcla A	81
54	Gráfico carga - deformación, resistencia a tensión indirecta, mezcla B	81
55	Gráfico carga - deformación, resistencia a tensión indirecta, mezcla C	82
56	Gráfico carga - deformación, resistencia a tensión indirecta, mezcla D	82

57	Gráfico carga - deformación, resistencia a tensión indirecta, mezcla E	83
58	Gráfico carga - deformación, resistencia a tensión indirecta, mezcla F	83
59	Gráfico carga - deformación, resistencia a tensión indirecta, mezcla G	84

## TABLAS

I	Características de la fibra de coco	19
II	Características físicas del agregado fino	21
III	Granulometría del agregado fino	22
IV	Tipos de mezcla realizadas	25
V	Cantidad de materiales para cada mezcla	25
VI	Propiedades de las probetas ensayadas a compresión a los 28 días	36
VII	Propiedades de las probetas ensayadas a flexión a los 28 días	41
VIII	Propiedades de las probetas ensayadas a tensión indirecta a los 28 días	45
IX	Formato de trabajo para la hechura de mezclas	64
X	Formato de trabajo para el ensayo de probetas a compresión	65
XI	Formato de trabajo para el ensayo de probetas a flexión	66
XII	Formato de trabajo para el ensayo de tensión indirecta	67
XIII	Resultados de los ensayos a compresión a los 56 días	68
XIV	Resultados de los ensayos a flexión a los 56 días	69
XV	Resultados de los ensayos a tensión indirecta a los 56 días	70



## LISTA DE SÍMBOLOS

<b>A.F.</b>	Agregado Fino
<b>A/C</b>	Relación agua - cemento
<b>Cant.</b>	Cantidad
<b>Coef.</b>	Coeficiente
<b>Comp.</b>	Compresión
<b>db</b>	Decibelios
<b>Def.</b>	Deformación para compresión y tensión indirecta, deflexión para flexión
<b>E</b>	Modulo de Elasticidad
<b>Elast.</b>	Elasticidad
<b>GPa</b>	Giga Pascales
<b>Lbf</b>	Libras fuerza
<b>Long.</b>	Longitud
<b>MPa</b>	Mega Pascales
<b>Resilen.</b>	Resilencia
<b>Resist.</b>	Resistencia
<b>S</b>	Esfuerzo de compresión
<b>T</b>	Esfuerzo de tensión indirecta
<b><math>\delta</math></b>	Deflexión o elongación para el ensayo de flexión
<b><math>\epsilon</math></b>	Deformación unitaria para el ensayo de compresión



## GLOSARIO

<b>Aglomerante</b>	Material que sirve para unir dos o más elementos, en este caso es el cemento, el cual une los agregados.
<b>Caracterización</b>	Determinar las propiedades físico - mecánicas de un material.
<b>Curado</b>	Mantener el mortero en condiciones de humedad y temperatura hasta alcanzar la resistencia requerida.
<b>Ductilidad</b>	Capacidad de los materiales para resistir grandes deformaciones mecánicas sin llegar a romperse.
<b>Estopa de coco</b>	Residuo del fruto de coco, al cual se le extrae la fibra.
<b>Fibras</b>	Elemento de origen natural sintético, con una forma geométrica alargada, que sirve de refuerzo en un material.
<b>Fibrorreforzado</b>	Material conformado por una matriz cementicia y por una fase reforzante constituida por las fibras.
<b>Interfase</b>	Es la forma de interacción entre la matriz y la fibra.
<b>Matriz</b>	En morteros fibrorreforzados, son los elementos del mortero.
<b>Material compuesto</b>	Combinación de dos o más materiales que difieren en forma y en composición química.
<b>Mortero</b>	Es la mezcla de un aglomerante con agregados finos y agua.



## RESUMEN

El presente trabajo trata sobre la caracterización físico – mecánica de morteros de cemento reforzados con fibra de coco, tiene como fin determinar la contribución de la fibra de coco al mortero.

De la estopa de coco, se extrajo la fibra por medio de un molino eléctrico de martillos. Para realizar la caracterización se utilizaron fibras de 4 y 8 cm., las cuales fueron introducidas al azar en diferentes proporciones al mortero, con estas mezclas se elaboraron probetas cilíndricas y vigas, las cuales fueron ensayadas en el laboratorio a compresión, tensión indirecta y flexión; a los 28 y 56 días de edad.

Las pruebas se hicieron de acuerdo a los procedimientos establecidos en las normas ASTM para cada ensayo. Simultáneamente se hicieron las mismas pruebas en mortero sin fibra, para poder contar con muestras de control.

Con los resultados obtenidos se encontró que la incorporación de fibra al mortero ayuda a crear un material menos frágil con mayor capacidad de absorber energía; otro de los aspectos positivos es que al momento de la falla los elementos fibrorreforzados no colapsaron debido al anclaje de la fibra con el mortero, caso contrario ocurrió con las muestras de control ya que estas si colapsaron súbitamente.

Se determinó que los mejores resultados se obtuvieron con la dosificación de 2% de fibra para las dos longitudes de 4 y 8 cm.



## **OBJETIVOS**

### **GENERAL:**

Generar por medio de la combinación de una matriz cementicia y fibras extraídas del desecho del fruto del coco, un material fibrorreforzado, el cual fue caracterizado física y mecánicamente en el laboratorio.

### **ESPECÍFICOS:**

1. Conocer las características físicas y las propiedades Mecánicas de morteros de cemento fibrorreforzados con fibra de coco.
2. Establecer la contribución de las fibras de coco, a los morteros de cemento al compararlos física y mecánicamente con morteros de las mismas características, sin refuerzo.
3. Determinar la variación de las características físico – mecánicas de los elementos fibrorreforzados al utilizar fibras de diferente longitud.
4. Establecer el comportamiento físico – mecánico de los morteros de cemento en función de los porcentajes de fibra utilizados.



## INTRODUCCIÓN

Las tendencias actuales se enfocan en el desarrollo de nuevos materiales que sean económicos y ecológicos, tratando de aprovechar los recursos locales y la mano de obra de cada comunidad.

En diferentes países y universidades del mundo se están realizando estudios sobre materiales fibrorreforzados con fibras sintéticas o naturales. Entre las sintéticas o hechas por el hombre se encuentran los polímeros naturales y sintéticos. Por su parte, las naturales son de origen vegetal, animal y mineral. En el caso de las fibras naturales existen diferentes investigaciones en donde se han utilizado fibras de Yute, Kenaf, coco, bagazo de caña, Bambú, Sisal, etc.

Debido a que la fibra de coco posee buenas características físicas, químicas y mecánicas, un costo relativamente bajo y a la disponibilidad que se tiene en el país, se puede convertir en una alternativa de utilización de materia prima fibrosa como agregado liviano, en la industria del concreto aligerado.

El propósito de este estudio fue realizar la caracterización Físico – Mecánica de morteros fibrorreforzados de matriz cementicia y fibra de coco, los morteros se desarrollaron a base de cemento Pórtland tipo UGC y arena de río, reforzado con la fibra extraída de la estopa de coco. Las variables analizadas fueron la longitud de la fibra y el porcentaje de fibra en la mezcla, al mismo tiempo se realizaron muestras de control (mortero sin fibra) para realizar una comparación entre ambos y determinar como varían las características del material con la adición de fibras de coco.

La parte experimental de este estudio consistió en realizar pruebas de laboratorio sobre los elementos de concreto fibrorreforzados (vigas y cilindros) los cuales fueron ensayados a flexión, compresión y tracción indirecta. Posteriormente se realizó un análisis de resultados para determinar si la adición de fibras de coco mejora las características físico-mecánicas del mortero, comparándolos con morteros sin refuerzo de las mismas características; para determinar en que condiciones se logran los mejores resultados.

# 1. ANTECEDENTES

## 1.1 Antecedentes de los materiales fibrorreforzados

El concepto de utilización de fibras como refuerzo se remonta a los orígenes de la civilización, puesto que en la Biblia, el libro del Éxodo 5: 6 - 7, se lee “Aquel mismo día dio el faraón a los capataces del pueblo y a los escribas la orden de no facilitar, como hasta entonces al pueblo la paja para hacer los ladrillos, sino que fueran ellos a recogerla”. En el siglo XV antes de Cristo se tiene conocimiento que los egipcios producían adobe reforzado con paja, por esa época cerca del actual Bagdad se construyó el “Aqar Quf” con una altura de 57 metros con base en adobes secados al sol y reforzados con paja. En la antigua Valencia (España), los techos de las barracas de los labradores eran contruidos con fango de la Albufera reforzado con pajas de arroz, que además de reforzar, repelían al agua. En el siglo XVI en Iberoamérica se usaba la paja para reforzar adobes y empañetados.

Ya situados en la época moderna el primer material manufacturado por el hombre, conocido como composite, fue el asbesto – cemento, cuyo invento correspondió a Ludwing Hatschek en 1899. Este nuevo material fue la tecnología dominante hasta 1960. En 1920 se patentaron cementos reforzados con fibras de vidrio y acero.

En 1963, los investigadores Romualdi y Bason publicaron el resultado de algunas investigaciones sobre concretos con fibras de acero y esto llevó a su aplicación amplia en la industrial de la construcción de pavimentos y pistas en la década del 70. En el caso de la fibras de vidrio, su baja resistencia a los

álcalis fue un factor que impidió su uso a escala comercial. En la década del 60 al 70, se investigaron otras fibras como el polipropileno, polietileno, nylon, entre otras.

En las últimas décadas se han realizado diversas investigaciones para incorporar fibras de refuerzo al mortero y al concreto, dando como resultado diversos materiales utilizados en la industria de la construcción. Las fibras utilizadas han sido muy variadas, desde fibra de acero, fibra de vidrio, polipropileno, fibras de nylon, y algunas otras fibras sintéticas, y la investigación sobre ellos aún continúa. Sin embargo, a estos se les puede considerar generalmente inapropiados para países en desarrollo, debido a los altos costos y abastecimiento limitado de dichas fibras, lo que ha dirigido la atención hacia las fibras naturales, en particular de origen vegetal como por ejemplo, el kenaf, el sisal, fique, coco, bambú, etc. (1,2)

En Brasil, un estudio sistemático con la finalidad de reforzar matrices con fibras naturales se lleva a cabo desde 1980 en el Centro de Pesquisa e Desenvolvimento (Ceped), localizado en Camacari, Bahía. El trabajo desarrollado en el Ceped en el programa Tecnologías para el Hábitat (THABA), a nivel internacional puede ser considerado como uno de los más amplios y consistentes en el tema. El Ceped es una institución brasileña pionera en el estudio de fibras vegetales como refuerzo de materiales de construcción. Los trabajos se han concentrado en el uso de fibras de sisal y de coco. Exhaustivos estudios sobre la influencia de comportamiento de fibras han sido realizados. A partir de esos estudios, se han estudiado algunos componentes habitacionales como tejas, pilas, pequeñas cajas de agua o drenajes, producidos con construcción simplificada con matrices de cemento Pórtland. (3)

## **2. MATERIALES COMPUESTOS**

Los materiales compuestos se forman con la combinación de dos o más materiales o fases insolubles que difieren en forma y en composición química, los cuales no cambian de composición química durante la manufactura del material compuesto y forman una interfase entre si. La sinergia de los materiales hace que las propiedades de los productos acabados sean superiores a la suma de las propiedades de los productos individuales. (1)

Los materiales compuestos se pueden seleccionar para obtener combinaciones no usuales de rigidez, peso, desempeño a altas temperaturas, resistencia a la corrosión, dureza o conductividad. Los materiales compuestos ponen de manifiesto la forma en que materiales distintos pueden trabajar sinérgicamente. La concha del abalone, la madera, el hueso y los dientes son ejemplos de materiales compuestos de origen natural. Un ejemplo de un material que a macroescala sería un material compuesto es el hormigón armado. (5)

### **2.1 Características de los materiales compuestos**

Los materiales compuestos se constituyen de una o más fases discontinuas sumergidas en una fase continua. La fase discontinua es por lo general, más dura y fuerte que la fase continua y se le da el nombre de reforzante, mientras que a la fase continua se le llama matriz.

Las propiedades de los materiales compuestos están influenciadas generalmente por el tipo de material, su distribución y su geometría (forma, tamaño y distribución de tamaños). En los estudios teóricos, la forma de las unidades discretas de la fase discontinua puede ser aproximada por cilindros o esferas. Otros materiales como la mica son descritos como Hojuelas. El tamaño y distribución de los mismos controlan la textura del material. Estas dos propiedades sumadas a la fracción volumétrica del material reforzante (contenido de fibra) determinan el área interfacial, la cual juega un papel muy importante en la integración entre el agente reforzante y la matriz.

## **2.2 Clasificación de los materiales compuestos**

Los materiales compuestos pueden ser clasificados de la siguiente forma:

- De acuerdo a la forma del material como: particulados o aglomerados (concreto), reforzados (concreto o arcilla con fibras, concreto reforzado de acero) y laminares (triples, fórmica).
- De acuerdo a la forma del agente reforzante como: compuesto de partículas, compuesto de hojuelas, compuesto de fibras.

En la práctica no siempre es posible distinguir entre alguno de ellos. (1,2)

### **3. MATERIALES COMPUESTOS REFORZADOS CON FIBRAS**

Un material compuesto fibrorreforzado para uso en construcción esta conformado por una matriz cementicia, o de material arcilloso o polímero; agua, y adiciones o aditivos diversos y por una fase reforzante constituida por fibras de origen natural o sintético.

Los materiales cementicios, morteros y concretos presentan ventajas en cuanto su resistencia mecánica y rigidez para uso estructural, además de ser en estado fresco fácilmente moldeables; pero presentan deficiencias en cuanto a su baja resistencia al impacto y a la tensión debido a su alta fragilidad. La adición de fibras, en general mejora una o mas propiedades tales como la resistencia a la tracción, flexión, impacto o fatiga y una mejor relación resistencia - peso. Las contribuciones mas importantes están en la ductilidad y tenacidad, cualidades necesarias para elementos que van a ser utilizados expuestos a esfuerzos dinámicos.

Estas propiedades son determinadas principalmente por la naturaleza de las fibras, la morfología del sistema, la interacción de la interfase fibra – matriz y la tecnología de fabricación. Por esto, se pueden obtener las propiedades más deseables para un uso específico diseñando adecuadamente las formas, tamaño, proporción de los componentes y el proceso de fabricación. Debido a no existir formulaciones universales para la producción de un material cementicio fibrorreforzado se debe considerar un diseño específico de sus componentes acorde al elemento y condiciones finales de servicio. (1,2)

### **3.1 Componentes del material compuestos fibrorreforzado**

Los componentes del material compuesto fibrorreforzado son:

- La matriz
- La fibra
- La interfase

#### **3.1.1 La matriz**

La matriz transfiere y distribuye la carga externa a las fibras, enlaza las fibras, las separa, las mantiene en su posición correcta y las protege del medio exterior atmosférico. La fibra es el principal constituyente soporte de carga, evita la propagación de las grietas en la matriz y puede rebajar la densidad del producto. Un recubrimiento sobre la fibra protege la fibra del deterioro químico y mecánico, previene el contacto directo entre fibras y la interfase acopla la matriz con la fibra, y transfiere los esfuerzos de la matriz a las fibras.

#### **3.1.2 Las fibras**

La matriz es frágil y la fibra actúa reforzándola. Es necesario aclarar, que aunque el uso de barras de acero cumple un papel similar al actuar como reforzamiento, en ningún momento la fibra puede sustituir su función. La fibra actúa mejor que las barras de acero en aquellos elementos que por su espesor no permiten su utilización, donde se dice que representan un reforzamiento de carácter primario al actuar sobre la resistencia y primordialmente la tenacidad del composite, y también en elementos sometidos a altas cargas o deformaciones o cambios de temperatura donde actúan básicamente controlando el agrietamiento del producto.

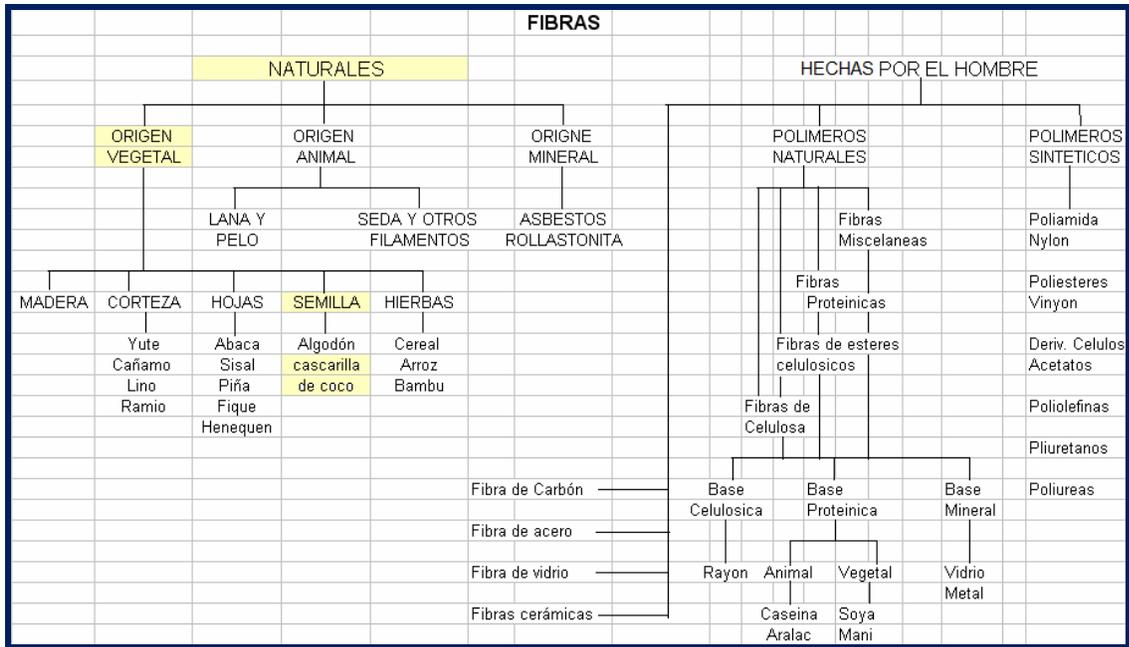
La bondad de incorporar fibra en una matriz depende de la capacidad de transferencia de los esfuerzos desde la matriz hacia la fibra, de tal manera que desde el punto de vista de la transferencia de carga, el material compuesto se comporte como un todo homogéneo aunque, la matriz esté agrietada.

En la actualidad las fibras que más se utilizan son las de asbesto, acero, vidrio, carbón, polipropileno, nylon, etc. Sin embargo debido a la dificultad de su obtención y fabricación, así como los costos que esto representa, surge la alternativa ecológica y de bajo costo de utilizar fibras naturales como el sisal, henequén, fique, celulosa, coco y otras.

Las fibras naturales de origen vegetal están constituidas de celulosa, sustancia polimérica conformada por moléculas de glucosa, enlazadas por lignina y asociada a cantidades variables de otros materiales naturales. Estas pueden ser clasificadas de acuerdo a la parte de la planta de donde son extraídas. Para el caso de las fibras de coco, son extraídas de la semilla del mismo, aunque hay indicios que pueden utilizarse también las fibras del tallo y las hojas. En la figura 1 se presenta la clasificación de la fibras de acuerdo a su origen.

Particularmente, para el desarrollo de este trabajo de graduación, se hará uso de fibra natural orgánica extraída de la estopa del coco, la cual será utilizada para hacer la caracterización Físico – Mecánica de morteros fibrorreforzados, con el objetivo de desarrollar un material dúctil con mayor resistencia al agrietamiento, y al impacto, que pueda tener como aplicación el desarrollo de elementos prefabricados que puedan ser utilizados en la industria de la construcción. (1)

**Figura 1. Clasificación de las fibras por su origen**



Fuente: Ruby de Gutiérrez, Materiales compuestos fibrorreforzados. Pág. 14

### 3.1.3 La interfase

Es la forma de interacción física y mecánica entre la matriz y la fibra.

## 3.2 Características de los materiales compuestos reforzados con fibras

Al diseñar un material compuesto reforzado con fibras, deben tomarse en consideración muchos factores, incluyendo longitud, diámetro, orientación, cantidad y propiedades de las mismas, así como las propiedades de la matriz y de la unión entre ambas.

### 3.2.1 Longitud y diámetro de las fibras

Las fibras pueden ser cortas, largas o incluso continuas. A menudo, sus dimensiones se caracterizan en función de la relación de forma  $l/d$ , donde  $l$  es la longitud de la fibra y  $d$  su diámetro. Las fibras comunes tienen diámetros que varían desde  $10\ \mu\text{m}$  ( $10 \times 10^{-4}\ \text{cm}$ ) hasta  $250\ \mu\text{m}$  ( $250 \times 10^{-4}\ \text{cm}$ ).

La resistencia del material compuesto se mejora cuando la relación de forma es grande. Con frecuencia, las fibras se fracturan debido a defectos superficiales. Al hacer que los diámetros sean tan pequeños como sea posible, las fibras tienen menos área superficial y, en consecuencia, menos defectos que pudieran propagarse durante el proceso o bajo carga. También se prefieren las fibras largas. Los extremos de una fibra soportan menos carga que el resto; en consecuencia, cuantos menos extremos existan, mayor será la capacidad de absorción de carga de las fibras. En muchos sistemas reforzados con fibra, se utilizan fibras discontinuas con una relación de forma superior al de cierto valor crítico para llegar a un término medio aceptable entre facilidad de proceso y propiedades.

### 3.2.2 Cantidad de fibra

Una fracción volumétrica mayor de fibras incrementa la resistencia y la rigidez del material compuesto, sin embargo esta tiene sus límites y al sobre pasar el porcentaje máximo de fibra las propiedades del material empiezan a disminuir.

### **3.2.3 Orientación de las fibras**

Las fibras de refuerzo pueden introducirse en la matriz con diversas orientaciones. Las fibras cortas de orientación aleatoria y con una pequeña relación de forma son fáciles de introducir en la matriz y le dan al material compuesto un comportamiento relativamente isotrópico.

Los arreglos de fibras largas, o incluso continuas y unidireccionales, producen propiedades anisotrópicas, con una resistencia y rigidez particularmente buenas en dirección paralela a las fibras. Estas fibras se conocen como capas de  $0^\circ$ , lo cual muestra que todas las fibras están alineadas en la dirección del esfuerzo aplicado. Sin embargo, las orientaciones unidireccionales originan malas propiedades si la carga es perpendicular a dichas fibras

El acomodamiento o dirección puede darse en una, dos o tres direcciones. En particular las fibras largas y continuas pueden alinearse en dirección específica mientras que las cortas generalmente se distribuyen al azar.

### **3.2.4 Unión y falla**

Las fibras deben estar firmemente unidas al material de la matriz para que la carga se transmita correctamente de la matriz a las fibras. Si la unión es mala, las fibras pueden salirse de la matriz durante la carga reduciendo la resistencia del material compuesto. (5)

## **4. MATERIAS PRIMAS**

### **4.1 Morteros**

Un mortero es una mezcla de materiales aglomerantes y agregados finos, que al añadirles agua forman masas plásticas que permiten ser extendidas y moldeadas convenientemente adquiriendo después de endurecidas la forma del molde que las contiene, especiales para unión de unidades de mampostería, para revestimiento de las mismas, y con la adición de fibras se utiliza para la fabricación de elementos prefabricados.

#### **4.1.1 Propiedades de los morteros**

Son las características que presentan los morteros de acuerdo al estado en que se encuentren. Los morteros de mampostería presentan dos estados: plástico y endurecido.

##### **4.1.1.1 Propiedades en estado plástico**

Determinan la adaptabilidad de un mortero en la construcción, debe fluir bien, ser trabajable, contar con buena retención de agua y mantener dichas propiedades por largo tiempo. El mortero en sí mismo debe ser cohesivo y homogéneo.

Las principales propiedades de los morteros en estado plástico son:

- Trabajabilidad
- Retención de agua
- Contenido de aire
- Masa unitaria
- Resistencia a la penetración

#### **4.1.1.2 Propiedades en estado endurecido**

Las propiedades del mortero endurecido ayudan a determinar características como la adherencia, durabilidad, elasticidad y resistencia a la compresión.

Las principales propiedades de los morteros en estado endurecido son:

- Adherencia
- Resistencia a la compresión
- Resistencia a la tensión
- Resistencia a corte
- Resistencia a flexión
- Permeabilidad. (6)

## 4.1.2 Componentes del mortero

### 4.1.2.1 El cemento

El cemento Pórtland es un aglomerante plástico hidráulico, es el resultado de mezclar piedra caliza y esquisto, la cual es triturada y luego molida en un molino de bolas, esta mezcla se cuece en hornos a una temperatura de 1400°C a 1600°C obteniéndose un material gris oscuro llamado clinker, el cual se muele en forma conjunta con otros minerales que le confieren propiedades específicas al cemento.

Tipos de cemento:

- |          |   |
|----------|---|
| Tipo I   | Uso general, para concreto de uso normal.   |
| Tipo II  | Moderada resistencia a los sulfatos, como en suelos y aguas Subterráneas, que tienen un bajo contenido de sulfatos.   |
| Tipo III | Alta resistencia inicial, es usado cuando se requiere resistencia a edades tempranas y en lugares fríos.  |
| Tipo IV  | Bajo calor de Hidratación, se utiliza cuando el calor durante el proceso de hidratación debe ser mínimo, por ejemplo: las presas donde se colocan grandes volúmenes de concreto.  |
| Tipo V   | Alta resistencia a sulfatos, se usa en un concreto que estará expuesto a altas concentraciones de sulfatos, como tuberías de aguas residuales, obras expuestas al agua del mar, al ambiente marino o a suelos y aguas con alto contenido de sulfatos. |

El cemento que se utilizó es Cemento Progreso tipo UGC con puzolanas, de uso general en la construcción, especificado con la norma ASTM C-1157 (Especificación normalizada de desempeño para cemento hidráulico) es un cemento UGC – 28 Tipo GU, con una masa por saco de 42.5 kg. Es ideal para zapatas, cimientos, columnas, paredes, vigas, losas, morteros, suelo cemento y demás aplicaciones. Su clase de resistencia mínima es de 4,000 lbs. por pulgada cuadrada (28N/mm<sup>2</sup>) a 28 días en morteros normalizados de cemento, además de mejorar la impermeabilidad del concreto. Su color es ideal para concretos a la vista y fachadas arquitectónicas. Cumple con las normas nacionales e internacionales para cementos hidráulicos. (7)

#### **4.1.2.2 Agregados**

También llamados áridos, son aquellos materiales inertes, de forma granular, naturales o artificiales. Los agregados ocupan generalmente las tres cuartas partes del volumen de la mezcla, deben estar libres de suciedad, ser durables y no deben tener sustancias que reaccionen químicamente con el cemento. Los agregados deben cumplir con la norma ASTM C - 33-03 (Especificación normalizada de agregados para concreto).

El agregado usado para mortero es generalmente arena (A.F.) tal como se encuentra en la naturaleza, debe ser bien graduada, con partículas que formen una suave curva granulométrica dentro de ciertos límites establecidos. Deben tener preferentemente formas redondeadas, pues estas producen un tipo de mortero fácil de trabajar.

Una arena bien graduada proveerá una masa densa de agregados, requiriendo una mínima cantidad de materiales cementantes para una resistencia dada. La resistencia y trabajabilidad del mortero se incrementan usualmente con la arena bien graduada. (5)

Las principales características de los agregados que afectan la calidad del mortero son, su forma geométrica, la distribución de tamaño de sus partículas, sus propiedades mecánicas y su interacción química con la pasta.

La clasificación de los agregados se realiza basándose en su tamaño, el agregado fino (arena) es aquel cuyas partículas tienen un diámetro inferior al tamiz ASTM No.4 (4.76 mm) pero se recomienda que su tamaño sea superior a 74  $\mu\text{m}$ . (2)

El agregado fino (arena de río) utilizado para realizar las mezclas de mortero con fibra de coco, se paso por el tamiz No 4.

## 4.2 Fibra de coco

### 4.2.1 La palma de coco

*Cocos nucifera L.*, conocida comúnmente como palma de coco, es la palmera más cultivada e importante del mundo, ya que actualmente es la principal especie productora de grasa vegetal.

Es una de las plantas que proporciona una mayor diversidad de productos del mundo, siendo una fuente primaria de alimento, bebida y de abrigo.

La distribución de la palma de coco se extiende por la mayoría de las islas y de las costas tropicales y en algunos lugares fuera de la zona tropical, su cultivo se localiza en Indonesia, India, Filipinas, Malasia, Centroamérica y África tropical. El principal producto exportado es la copra sin procesar seguido del coco desecado. La diversidad y potencialidad del coco contribuye de manera considerable al sector económico de los países productores. (8)

El cocotero (*Cocos nucifera L.*) se clasifica botánicamente como:

- Clase: Monocotyledoneae.
- Orden: Palmales
- Familia: Palmae
- Subfamilia: Cocowsideae
- Género: *Cocos*
- Especie: *nucifera*.

Las partes de la palma de coco son:

- Raíz
- Tallo
- Hojas
- Inflorescencia
- Fruto (9)

#### **4.2.1.1 Sus usos**

Aún no se ha llegado al aprovechamiento del 100% de todas las partes de la palmera de coco (cocos nucífera), sin embargo se dice que es la planta a la que se le conocen más aplicaciones y es una de las más aprovechadas por el hombre.

La copra que es la pulpa seca del coco, es altamente aprovechada para la elaboración de aceites, jabones, champús, cosméticos, etc.

La caneara del coco, o endocarpio, se puede usar para hacer varios utensilios tales como tazones, tazas, cucharas y cucharones, pipas para fumar, ceniceros, floreros, cajas, juguetes, carbón, carbón activado, botones.

La parte más utilizada de la palmera de coco es sin duda alguna su madera, los usos dentro de la construcción son ilimitados, aunque esto genera un daño a las plantaciones y es una causa de la disminución de los plantíos. (10)

#### 4.2.2 El fruto

El fruto es una drupa, formado por una epidermis lisa, un mesocarpo espeso (también conocido como estopa) del cual se extrae la fibra. Más al interior se encuentra el endocarpo que es una capa fina y dura de color marrón llamada hueso o concha, envuelto por él se encuentra el albúmen sólido o copra que forma una cavidad grande donde se aloja el albúmen líquido, también conocido como agua de coco. El embrión se encuentra próximo a dos orificios del endocarpo, envuelto por el albúmen sólido

**Figura 2. Partes del fruto del coco**



### 4.2.3 Características de la fibra de coco

La fibra de coco pertenece a la familia de las fibras duras, tales como el "sisal", el "henequén" y "abacá". Es una fibra multicelular que tiene como principales componentes la celulosa y el leño, lo que confiere elevados índices de rigidez y dureza. La baja conductividad al calor, la resistencia al impacto, a las bacterias y al agua, son algunas de sus características. La resistencia, durabilidad y resiliencia, convierten a la fibra de coco en un material versátil y perfectamente indicado para los mercados del aislamiento (térmico y acústico). (11)

La longitud de las fibras varía de 0.9 a 12.2cm y el diámetro de las fibras de 0.05 a 0.365mm.

**Tabla I. Características de la fibra de coco**

Parámetro	Unidad	Valor
Diámetro	mm	0.25
Densidad aparente	gr/cm <sup>3</sup>	0.638
Densidad real	gr/cm <sup>3</sup>	1.14
Absorción de agua	%	155
Lignina	%	43
Resistencia a la tracción	MPa	160
Elongación a la ruptura	%	18
Modulo de Elasticidad	GPa	22.5
Ph	-	5
Conductividad eléctrica	mS/cm	2.15

Fuente: Arjona, Silvio Delvasto, Materiales compuestos fibrorreforzados. Pág. 74

Ventajas de la fibra de coco (11):

- No electroestática
- Inodora
- Resistente a la humedad - amplia difusión
- No atacable por roedores o termitas
- Imputrescible, no produce hongos
- Conductividad térmica: 0,043 a 0,045 W/mk
- Reducción de los ruidos de percusión (de acuerdo con los espesores):  
25 a 35 db (en forjado)
- Reducción de ruidos aéreos: 47 db (en media)
- Comportamiento al fuego: clase B2 (Productos cuyo punto de inflamación esta comprendido entre 38°C y 55°C)

## 5. DESARROLLO EXPERIMENTAL

### 5.1 Procedimiento utilizado

#### 5.1.1 Caracterización del agregado fino

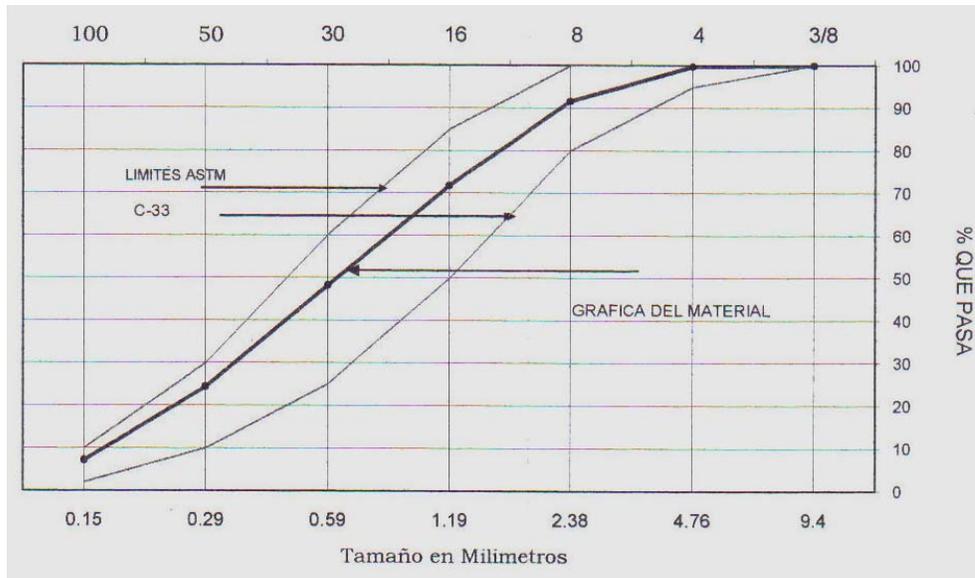
El agregado fino fue caracterizado en el Laboratorio de Concretos del Centro de Investigaciones de Ingeniería (CII), de la Universidad de San Carlos de Guatemala, de acuerdo con norma ASTM C-33-03 “Especificación normalizada de agregados para concreto” .

Los resultados fueron los siguientes:

**Tabla II. Características físicas de agregado fino**

Peso Especifico	2.52
Peso Unitario (kg/m <sup>3</sup> )	1556.24
Peso Unitario Suelto (kg/m <sup>3</sup> )	1446.57
Porcentaje de Vacíos	38.22
Porcentaje de Absorción	2.82
Contenido de Materia Orgánica	0.0
% Retenido en Tamiz 6.35	0.0
% que pasa Tamiz 200	6.16
Modulo de Finura	2.57

**Figura 3. Curva granulométrica del agregado fino**



**Tabla III. Granulometría del Agregado Fino**

Tamiz No	Porcentaje que pasa	Norma ASTM C-33
3/8 (9.40mm)	100	100
4 (4.76mm)	99.82	95 a 100
8 (2.38mm)	91.66	80 a 100
16 (1.19mm)	71.79	50 a 85
30 (0.59mm)	48.21	25 a 60
50 (0.29mm)	24.34	10 a 30
100 (0.15mm)	7.09	2 a 10

### 5.1.2 Obtención de la fibra de coco

Para la obtención de la fibra de coco se siguieron los siguientes pasos, la estopa de coco (cáscara del fruto) que es un desperdicio para las personas que venden su jugo y albumen, se obtuvo en la Terminal zona 9 de la Ciudad Capital, este es traído de las zonas costeras de Guatemala como por ejemplo, Escuintla, Retalhuleu, Santa Rosa, Izabal, etc.

**Figura 4. Obtención de la estopa de coco en la Terminal**



La estopa de coco fue puesta a secar al sol, ya que esta viene verde y para poder extraer la fibra debe de estar seca. Para la separación de la fibra y el polvo de la estopa se utilizó un molino de martillos de motor eléctrico, en el cual antes de introducir la estopa al molino se remojó en un

recipiente para que no se levantara mucho el polvo de coco ya que este tiene una densidad muy baja. Luego de haber remojado la estopa se introdujo al molino aproximadamente de 9 a 12 estopas y se dejan aproximadamente 2 minutos en el molino, este proceso se repite hasta obtener la cantidad de fibra deseada.

**Figura 5. Molino de martillos**



**Figura 6. Fibra de coco**



### 5.1.3 Mezclas preliminares

Se procedió a realizar pruebas preliminares, mezclando morteros de cemento con diferentes porcentajes y longitudes de fibra de coco para determinar la trabajabilidad de las mezclas y los porcentajes máximos de fibra que puede tolerar la mezcla y en base a estos resultados se determinaron las proporciones a utilizar para la caracterización.

**Figura 7. Mezclas preliminares**



**Figura 8. Probetas de las mezclas preliminares**



### 5.1.4 Proporcionamiento de los materiales

Se elaboraron siete tipos de mezclas de mortero, y se consideraron como variables la longitud de fibra y el porcentaje de adición de fibra. Se trabajó con dos longitudes de fibra 4 y 8cm, con las que se realizaron tres cantidades de adición de fibra al mortero.

Para todas las mezclas se trabajó con una misma matriz de mortero, una de las mezclas se realizó sin adición de fibras para tener muestras de control. Las proporciones se realizaron en base al peso del cemento. La tabla IV muestra los tipos de mezclas que se elaboraron.

**Tabla IV. Tipos de mezclas elaboradas**

<b>Tipo de Mezcla</b>	<b>Longitud de fibra (cm.)</b>	<b>Fibra en relación al peso del mortero (%)</b>
A	4	4
B	4	3
C	4	2
D	8	2.5
E	8	2
F	8	1.5
G	0	0

La tabla V muestra la dosificación por partes y por peso de los materiales que se utilizaron para cada mezcla. La proporción utilizada en la matriz de mortero fue de 1:3, una de cemento y tres de arena de río tamizada por el tamiz No4.

**Tabla V. cantidad de materiales para cada mezcla**

<b>Componentes</b>	<b>Dosificación por partes 1:3</b>	<b>Dosificación por peso (Kg)</b>
Cemento	0.015 m <sup>3</sup>	7.5
A.F.	0.01125 m <sup>3</sup>	22.5
Agua	0.005 m <sup>3</sup> (5.06 lt)	5.06

Conociendo el volumen total de la mezcla, se realizó el cálculo de la cantidad de fibra que se debía cortar, determinando el volumen que se iba a trabajar en cada tipo de mezcla, y considerando desperdicios.

### **5.1.5 Mezclado de los materiales**

El mezclado de los materiales se realizó a mano utilizando palas y cucharas, el procedimiento realizado fue el siguiente.

Basándose en las proporciones determinadas, se pesó el cemento y la arena en una balanza mecánica con capacidad para kilogramos, y la fibra se peso en una balanza mecánica de menor capacidad para pesar gramos, el agua se midió en una probeta de plástico.

Después de pesar la fibra esta se sumergió en un recipiente con agua durante aproximadamente 10 minutos, para que no se alterara la relación agua – cemento del mortero, esto debido a que la fibra es muy absorbente.

Teniendo pesados los materiales y la fibra saturada de agua, se procedió a realizar la mezcla de los materiales, el cemento y la arena se mezclaron en seco y después se le agregó la cantidad de agua indicada hasta que la mezcla quedara homogénea, luego se sacó la fibra del agua y se exprimió con las manos para sacarles el exceso de agua, esta se esparció sobre la mezcla y se procedió a mezclar hasta que la mezcla quedara homogénea.

Con la mezcla lista se procedió al llenado de los cilindros y las vigas, con los cuales se realizó la caracterización del material, siguiendo el procedimiento que se explica a continuación.

### 5.1.6 Moldeado de cilindros

Los moldes utilizados para fundir los cilindros fueron de 3 plg de diámetro por 6 plg de altura, estos son de tubería de PVC, y se les hizo un corte longitudinal para poder abrirlos a la hora de desencofrar. Estos fueron amarrados con alambre para evitar que se abrieran a la hora de estar llenándolos. En la parte de abajo de los moldes se colocó un lienzo de polietileno.

La mezcla se colocó en el molde en tres capas de volumen aproximadamente igual, luego se apisonó con 25 golpes cada capa, utilizando una varilla de 5/8" de diámetro por 24" de longitud y extremo esférico, los golpes fueron distribuidos uniformemente sobre la sección del molde y se procuraba que penetraran hasta la capa inferior, al llegar a la última capa se le daban 25 golpes a un costado del molde para que se asiente la mezcla, y por último se enraza con la cuchara.

**Figura 9. Llenado de cilindros**



Por cada mezcla se elaboraron 12 cilindros, de los cuales 6 se ensayaron a compresión y los otros 6 se ensayaron a tensión indirecta, de estos 6 se ensayaron tres a 28 días y tres a 56 días de edad.

### 5.1.5 Moldeado de vigas

Antes de verter la mezcla en los moldes, a estos se les aplicó un desmoldante para que la mezcla no se pegara a los moldes.

Los moldes utilizados para fundir las vigas tenían una sección de 2 plg por 2 plg y 12 plg de longitud, estos fueron hechos de madera en la base y en los extremos fijados por medio de tornillos de mariposa que permiten desarmarlos fácilmente y se colocaron piezas de metal de 2 plg por 12 plg de largo para hacer la separación de las vigas.

La mezcla se colocó en dos capas aproximadamente a la mitad del molde cada una, a cada capa se le dieron 25 golpes con la cuchara, y por último se enrazaron con la cuchara para que la superficie quedara uniforme.

**Figura 10. Llenado de vigas**



Por cada mezcla se elaboraron 6 vigas para los ensayos de Flexión, de estas fueron ensayadas, tres a 28 días y tres a 56 días de edad.

### 5.1.6 Desencofrado

Veinticuatro horas después de haber sido moldeados los especímenes, se desencofraron manualmente, en el caso de las vigas se procedió a destornillar las mariposas y luego se quitaron las piezas de metal que separaban a cada una de las vigas, por último se les asignó una nomenclatura para poder ser identificados a la hora de ensayarlos.

**Figura 11. Desencofrado de vigas**



Para desencofrar los cilindros se procedió a quitarles el alambre que se les había colocado para que no se abrieran y luego con un destornillador plano se abrieron para sacar los especímenes, por último al igual que las vigas se les asignó una nomenclatura.

### 5.1.7 Curado

El proceso de curado es de los más importantes, ya que con este se previene la evaporación en la mezcla evitando así la formación de grietas, si el curado no se lleva a cabo adecuadamente la pérdida de humedad afecta la resistencia del mortero.

**Figura 12. Curado de muestras**

Luego de ser desencofradas, las probetas (cilindros y vigas), fueron sumergidas en un tanque con agua, hasta cumplir con la edad requerida para realizar los ensayos. Con base en ello, todas las muestras se curaron hasta las edades de 28 y 56 días, para realizar los ensayos de compresión, flexión y tensión indirecta.



## **5.2 Ensayos Realizados**

La determinación de las propiedades Físico – Mecánicas se realizaron de acuerdo a los procedimientos establecidas en las normas ASTM; estas normas se mencionaran más adelante en la descripción de cada ensayo.

Los ensayos que se realizaron para la caracterización del material fueron:

- Compresión
- Flexión
- Tensión Indirecta ó Tensión por hendido

Las pruebas se realizaron en el Centro de Investigaciones de Ingeniería, de la Universidad de San Carlos de Guatemala.

El mecanismo usado para realizar las pruebas fue la máquina universal marca BALDWIN con una capacidad máxima de 60000 kg (figura13), esta cuenta con diferentes escalas de carga dependiendo de los ensayos que se quieran realizar, para los ensayos a Flexión se utilizó la escala de 600Kg y para los ensayos a Compresión y Tensión indirecta se utilizó la escala de 12000Kg. Para realizar los ensayos de compresión y tensión también se utilizó la máquina para ensayar testigos de concreto marca RIEHLE (figura 14) la cual tiene una capacidad de 600000Lb.

**Figura 13. Máquina universal  
Marca BALDWIN**



**Figura 14. Máquina marca  
RIEHLE**



Antes de la realización de los ensayos, las muestras fueron pesadas y se tomaron sus dimensiones utilizando un pie de rey o vernier con aproximación de 0.1mm, se les asignó una nomenclatura a cada una de las probetas para registrar sus propiedades de una manera ordenada.

La nomenclatura utilizada fue la siguiente:

- A, B, C, D, E, F, G = porcentaje y longitud de fibra (tabla 4)
- 1 = flexión, 2 = compresión, 3 = tensión indirecta
- Por ultimo se colocó el número de probeta ensayada.

Por ejemplo:

**A.2.4** = 4% de fibra de 4cm, ensayo de compresión, probeta numero 4.

### **5.2.1 Ensayo de Compresión**

Este ensayo se realizó de acuerdo a lo establecido en la Norma ASTM C 39/C39M-04a (método de ensayo para resistencia a compresión de especímenes cilíndricos de concreto), la cual tiene por objeto describir el procedimiento para determinar la resistencia a compresión de especímenes cilíndricos. Las probetas fueron refrentadas sin adherencia, de acuerdo a lo establecido en la norma ASTM C – 1231/C1231M-04 (Práctica estándar para uso de cabezales no adheridos en la determinación de la resistencia a compresión de cilindros de concreto endurecido). Adicionalmente se determinó el modulo de Elasticidad, conforme a la norma ASTM C 469 – 02e (Método de ensayo para determinar el modulo de elasticidad estático y relación de Poisson del concreto en compresión). (13)

Las pruebas fueron realizadas a especímenes cilíndricos de 3 plg (7.62 cm) de diámetro y 6 plg (15.24 cm) de altura.

El procedimiento establecido en la norma para la realización del ensayo es el siguiente:

- Se debe tener un cilindro elaborado conforme a la norma ASTM C 31/C31M-06 (práctica normalizada para preparación y curado de especímenes de ensayo de concreto).
- Se debe contar con una máquina capaz de aplicar una fuerza continua y sin choques de 20 a 50 psi/seg.
- Tomar las dimensiones del cilindro de acuerdo a la norma.
- Pesar e identificar los especímenes.
- Nivelar los especímenes usando azufre sublimado, para asegurarse que la carga sea distribuida en toda la superficie del espécimen.
- Colocarle el compresómetro al cilindro, para medir las deformaciones.
- Luego se debe colocar el espécimen sobre la base inferior de la máquina y centrarse sobre la misma para ser ensayado.
- Realizar el ensayo, anotando las deformaciones a cada valor de carga constante, en este caso se tomaron lecturas a cada 500 kg.
- Anotarse la carga máxima que soporta el espécimen.
- Por último deben hacerse los cálculos y el reporte como se describe en la norma.

**Figura 15. Nivelación de probetas con azufre para el ensayo de compresión**



**Figura 16. Realización del ensayo a compresión**



Según la Norma ASTM C 39/C39M – 04a (método de ensayo para resistencia a compresión de especímenes cilíndricos de concreto), el esfuerzo a compresión se calcula por medio de la siguiente fórmula:

$$S = F / A$$

Donde:

S = esfuerzo de compresión, en MPa

F = carga necesaria para que falle el espécimen, en N

A = área de la sección transversal del espécimen, en mm<sup>2</sup>

La norma establece que los resultados del esfuerzo de compresión no pueden diferir en +/- 14% del promedio, por lo que se realizó un análisis estadístico para determinar que todos los datos se encontraran dentro del rango, de lo contrario los datos que estaban fuera del rango se descartaron y se calculó nuevamente el promedio.

El módulo de elasticidad de compresión se calculó de acuerdo a la norma ASTM C 469 – 02e (Método de ensayo para determinar el módulo de elasticidad estático y relación de Poisson del concreto en compresión), por medio de la siguiente fórmula:

$$E = (S_2 - S_1) / (\epsilon_2 - 0.000050)$$

Donde:

E = módulo de elasticidad, MPa

S<sub>2</sub> = Esfuerzo correspondiente al 40% de la carga última, MPa

S<sub>1</sub> = Esfuerzo correspondiente a la deformación longitudinal,  $\epsilon_1$ , de 50 millonésimas, en MPa

$\epsilon_2$  = Deformación longitudinal producido por el esfuerzo S<sub>2</sub> (13)

Para medir las deformaciones se utilizó un compresómetro Marca Ploog Eng.co, con aproximación de 0.0001” y con capacidad máxima de deformación de 0.2plg (5.08mm), la longitud efectiva del compresómetro es de 10cm.

El Modulo de Resilencia que se utilizó para determinar la cantidad de energía absorbida al esforzar el material hasta el límite elástico se calculó como el área bajo la curva esfuerzo-deformación en la zona plástica o rango elástico.

**Tabla VI. Propiedades Físico-Mecánicas de las probetas ensayadas a Compresión a los 28 días.**

Identificación	Resist. Comp.	Modulo Elast.	Densidad	Carga máxima	Peso	Módulo Resilen.	Def. máxima
	(MPa) (Psi)	(MPa) (Psi)	(Kg/m <sup>3</sup> ) (Lb/ft <sup>3</sup> )	(N) (Lbf)	(Kg) (Lb)	(MPa) (Psi)	(mm) (plg)

FIBRA 4 %, LONGITUD 4cm							
A.2.1	14.20 2060	103766.7 15050094	2020 126	67862 15256	1.654 3.65	13.01 1887	0.160 0.0063
A.2.2	14.55 2110	116177.38 16850105	2010 126	70804 15917	1.631 3.60	13.21 1916	0.112 0.0044
Media	14.38	109972.06	2015.00	69333.00	1.64	13.11	0.14
Desv. Estándar	0.17	6205.32	5.00	1471.00	0.01	0.10	0.02
Coef. de variación (%)	1.22	5.64	0.25	2.12	0.70	0.76	17.76

FIBRA 3 %, LONGITUD 4cm							
B.2.2	9.7 1407	101698.30 14750092	2020 126	46091 10362	1.593 3.51	10.12 1468	0.112 0.0044
B.2.3	11.4 1653	98250.90 14250089	2080 130	53740 12081	1.651 3.64	7.54 1094	0.119 0.0047
Media	10.55	99974.60	2050.00	49915.50	1.62	8.83	0.12
Desv. Estándar	0.85	1723.70	30.00	3824.50	0.03	1.29	0.00
Coef. de variación (%)	8.06	1.72	1.46	7.66	1.79	14.61	3.30

FIBRA 2 %, LONGITUD 4cm							
C.2.1	16.4 2379	54813.66 7950050	1960 122	77865 17505	1.57 3.46	22.85 3314	0.102 0.004
C.2.2	16.1 2335	63776.90 9250058	1970 123	76492 17196	1.56 3.44	18.32 2657	0.114 0.005
C.2.3	17.2 2495	108248.4 15700098	1960 122	82376 18519	1.57 3.46	21.25 3082	0.064 0.003
Media	16.57	75612.97	1963.33	78911	1.57	20.807	0.09
Desv. Estándar	0.46	23365.02	4.71	2513.42	0.00	1.88	0.02
Coef. de variación (%)	2.80	30.90	0.24	3.19	0.30	9.02	23.18

FIBRA 2.5 %, LONGITUD 8cm							
D.2.1	12.7 1842	99974.60 14500090	1970 123	60801 13669	1.598 3.52	11.23 1629	0.084 0.0033
D.2.2	11.5 1668	64811.12 9400059	1980 124	54917 12346	1.597 3.52	9.72 1410	0.102 0.004
Media	12.10	82392.86	1975.00	57859.00	1.60	10.48	0.09
Desv. Estándar	0.60	17581.74	5.00	2942.00	0.00	0.75	0.01
Coef. de variación (%)	4.96	21.34	0.25	5.08	0.03	7.21	9.59

Continúa

Identificación	Resist. Comp. (MPa) (Psi)	Modulo Elast. (MPa) (Psi)	Densidad (Kg/m <sup>3</sup> ) (Lb/ft <sup>3</sup> )	Carga máxima (N) (Lbf)	Peso (Kg) (Lb)	Módulo Resilen. (MPa) (Psi)	Def. máxima (mm) (plg)
----------------	---------------------------------	---------------------------------	---	------------------------------	----------------------	-----------------------------------	------------------------------

FIBRA 2 %, LONGITUD 8cm							
E.2.1	18.7 2712	109627.32 15900099	1940 121	89241 20062	1.52 3.35	24.67 3578	0.152 0.0060
E.2.2	18.3 2654	112729.98 16350102	1980 124	87279 19621	1.57 3.46	16.82 2440	0.056 0.0022
Media	18.50	111178.65	1960.00	88260.00	1.55	20.75	0.10
Desv. Estándar	0.20	1551.33	20.00	981.00	0.03	3.93	0.05
Coef. de variación (%)	1.08	1.40	1.02	1.11	1.62	18.92	46.34

FIBRA 1.5 %, LONGITUD 8cm							
F.2.1	17.1 2480	131690.68 19100119	1970 123	81591 18342	1.577 3.48	14.74 2138	0.097 0.0038
F.2.2	17.6 2553	141688.1 20550128	1970 123	84337 18960	1.566 3.45	14.04 2036	0.066 0.0026
Media	17.35	136689.41	1970.00	82964.00	1.57	14.39	0.08
Desv. Estándar	0.25	4998.73	0.00	1373.00	0.01	0.35	0.02
Coef. de variación (%)	1.44	3.66	0.00	1.65	0.35	2.43	18.75

SIN REFUERZO							
G.2.1	20.8 3017	112729.98 16350102	1990 124	99439 22355	1.591 3.51	25.24 3661	0.030 0.0012
G.2.3	21.0 3046	134103.9 19450121	1990 124	100224 22531	1.590 3.51	23.39 3392	0.030 0.0012
Media	20.90	123416.92	1990.00	99831.50	1.59	24.32	0.03
Desv. Estándar	0.10	10686.94	0.00	392.50	0.00	0.93	0.00
Coef. de variación (%)	0.48	8.66	0.00	0.39	0.03	3.80	0.00

## 5.2.2 Ensayo de Flexión

Este ensayo fue realizado de acuerdo a lo establecido en la norma ASTM C 293 – 02 (Método de ensayo para resistencia a la flexión del concreto (usando viga simple con carga en el punto medio)), la cual tiene por objetivo determinar la resistencia a flexión de una viga simple con apoyos en los extremos y carga aplicada en el punto central. (13)

Los ensayos fueron realizados en vigas con dimensiones de 2 plg (5.08 cm) de ancho, 2 plg (5.08 cm) de espesor y 12 plg (30.48 cm) de longitud. La longitud libre entre apoyos es de 22 cm y la carga fue aplicada a  $(L / 2)$  11 cm.

El procedimiento para realizar este ensayo se describe a continuación:

- Se debe tener un espécimen de prueba a flexión, elaborado conforme a la norma ASTM C – 31/C31M-06 (práctica normalizada para preparación y curado de especímenes de ensayo de concreto).
- La máquina debe ser capaz de aplicar una carga continua en la fibra extrema de 125 a 175 psi/min, hasta que ocurra la ruptura.
- Pesar el espécimen.
- Tomar las dimensiones de la viga de acuerdo al procedimiento establecido en la norma.
- Marcar la viga a la mitad de su longitud  $(L / 2)$
- Armar el sistema para la aplicación de la carga en la maquina.
- Se procede a realizar el ensayo, anotando las deformaciones a cada valor de carga constante, en este caso se tomaron lecturas a cada 10 kg.
- Anotar la carga máxima que resiste el espécimen.
- Por último, se deben realizar los cálculos y el reporte que se describe en esta norma.

**Figura 17. Realización del ensayo a flexión**



La resistencia a Flexión o Módulo de ruptura se calcula por medio de la siguiente formula:

$$R = 3 PL / 2 bd^2$$

Donde:

R = resistencia a flexión, en MPa

P = carga máxima aplicada, en N

L = distancia entre apoyos, en mm

b = ancho de la probeta, en mm

d = espesor de la probeta, en mm.

La norma establece que los resultados de la resistencia a flexión no pueden diferir en +/- 12% del promedio, por lo que se realizó un análisis estadístico para determinar que todos los datos se encontraran dentro del rango, de lo contrario los datos que estaban fuera del rango se descartaron y se calculó nuevamente el promedio. (13)

El módulo de elasticidad de Flexión, para una viga simplemente apoyada con carga "P" aplicada a L/2, se calcula por medio de la siguiente fórmula:

$$E = ( PL^3 ) / ( 4 \delta b h^3 )$$

Expresión que se deriva del cálculo de la deflexión máxima.

Donde:

E = Módulo de elasticidad, en MPa

P = cualquier diferencia de fuerza en el campo elástico, en N

$\delta$  = deflexión al centro de la probeta producida por la  
diferencia de fuerzas aplicadas, en mm

L = distancia entre apoyos, en mm

b = ancho de la probeta, en mm

d = espesor de la probeta, en mm (13)

Para medir las deflexiones se utilizó un deformómetro Marca SOILTEST.INC, con aproximación al 0.01 de milímetro y con capacidad máxima de deformación de 25 mm (1 plg), también se utilizó un deformómetro marca MERCER, con aproximación al 0.01 de milímetro y con capacidad máxima de deformación de 25 mm (1 plg).

**Tabla VII. Propiedades Físico-Mecánicas de las probetas ensayadas a Flexión a los 28 días.**

Identificación	Resist. Flexión (MPa) (Psi)	Módulo Elast. (MPa) (Psi)	Densidad (Kg/m <sup>3</sup> ) (Lb/ft <sup>3</sup> )	Carga máxima (N) (Lbf)	Peso (Kg) (Lb)	Def. máxima (mm) (plg)
----------------	-----------------------------------	---------------------------------	---	------------------------------	----------------------	------------------------------

FIBRA 4 %, LONGITUD 4cm						
A.1.1	3.20 464	9.35 1356	1950 122	1412 317	1.655 3.65	14.4 0.57
A.1.3	3.65 529	12.85 1864	2010 126	1549 348	1.652 3.64	13.1 0.52
Media	3.43	11.10	1980.0	1480.50	1.65	13.75
Desv. Estándar	0.23	1.75	30.0	68.50	0.00	0.65
Coef. de variación (%)	6.57	15.77	1.52	4.63	0.09	4.73

FIBRA 3 %, LONGITUD 4cm						
B.1.1	2.70 392	16.25 2357	2030 127	1108 249	1.624 3.58	13.7 0.54
B.1.2	3.20 464	28.2 4090	2060 129	1314 295	1.650 3.64	14.0 0.55
B.1.3	3.25 471	21.2 3075	2060 129	1314 295	1.625 3.58	14.4 0.57
Media	3.05	21.88	2050	1245.33	1.633	14.03
Desv. Estándar	0.25	4.90	14.14	97.11	0.01	0.29
Coef. de variación (%)	8.14	22.40	0.69	7.80	0.74	2.04

FIBRA 2 %, LONGITUD 4cm						
C.1.1	3.65 529	22.6 3278	2020 126	1471 331	1.619 3.57	7.9 0.31
C.1.2	4.15 602	16.6 2408	2000 125	1677 377	1.598 3.52	5.8 0.23
C.1.3	4.3 624	18.8 2727	1990 124	1765 397	1.612 3.55	8.9 0.35
Media	4.03	19.33	2003.33	1637.67	1.610	7.53
Desv. Estándar	0.28	2.48	12.47	123.21	0.01	1.29
Coef. de variación (%)	6.89	12.82	0.62	7.52	0.54	17.15

FIBRA 2.5 %, LONGITUD 8cm						
D.1.2	3.45 500	23.6 3423	1890 118	1471 331	1.544 3.40	8.0 0.31
D.1.3	3.85 558	29.1 4221	1950 122	1618 364	1.603 3.53	7.3 0.29
Media	3.65	26.35	1920.00	1544.50	1.57	7.65
Desv. Estándar	0.20	2.75	30.00	73.50	0.03	0.35
Coef. de variación (%)	5.48	10.44	1.56	4.76	1.87	4.58

Continúa

Identificación	Resist. Flexión (MPa) (Psi)	Modulo Elast. (MPa) (Psi)	Densidad (Kg/m <sup>3</sup> ) (Lb/ft <sup>3</sup> )	Carga máxima (N) (Lbf)	Peso (Kg) (Lb)	Def. máxima (mm) (plg)
----------------	-----------------------------------	---------------------------------	---	------------------------------	----------------------	------------------------------

FIBRA 2 %, LONGITUD 8cm						
E.1.2	4.1 595	16.95 2458	2000 125	1657 373	1.602 3.53	5.15 0.20
E.1.3	4.0 580	10.4 1508	2000 125	1618 364	1.584 3.49	5.08 0.20
Media	4.05	13.68	2000.00	1637.50	1.59	5.12
Desv. Estándar	0.05	3.28	0.00	19.50	0.01	0.04
Coef. de variación (%)	1.23	23.95	0.00	1.19	0.56	0.68

FIBRA 1.5 %, LONGITUD 8cm						
F.1.1	3.35 486	23.9 3466	1930 121	1422 320	1.576 3.48	3.9 0.15
F.1.2	3.75 544	22.45 3256	1935 121	1569 353	1.574 3.47	6.41 0.25
F.1.3	3.80 551	28.7 4163	1945 122	1618 364	1.608 3.55	2.6 0.10
Media	3.63	25.02	1936.67	1536.33	1.586	4.30
Desv. Estándar	0.20	2.67	6.24	83.28	0.02	1.58
Coef. de variación (%)	5.54	10.68	0.32	5.42	0.98	36.75

SIN REFUERZO						
G.1.1	4.50 653	32.15 4663	2000 125	1863 419	1.641 3.62	0.36 0.01
G.1.2	4.70 682	33.15 4808	2020 126	1961 441	1.642 3.62	0.26 0.01
G.1.3	5.20 754	26.85 3894	2010 126	2157 485	1.633 3.60	0.54 0.02
Media	4.80	30.72	2010	1993.67	1.639	0.39
Desv. Estándar	0.29	2.76	8.16	122.23	0.00	0.12
Coef. de variación (%)	6.13	9.00	0.41	6.13	0.25	29.96

### 5.2.3 Ensayo de Tensión Indirecta

La resistencia a tensión fue calculada por medio de la prueba de tensión indirecta o tensión por hendido, el procedimiento para la realización de este ensayo esta normado en la ASTM C – 496/C 496M – 04 (método de ensayo para resistencia a la tensión indirecta de especímenes cilíndricos de concreto). (13)

Las pruebas fueron realizadas a especímenes cilíndricos de 3 plg (7.62 cm) y 6 plg (15.24 cm) de altura.

Este ensayo consiste en cargar a compresión el cilindro a través de dos ejes longitudinales opuestos diametralmente.

El procedimiento para la realización de esta prueba es el siguiente:

- Se debe tener un cilindro de concreto, elaborado de acuerdo a la norma ASTM C-31/C31M-06 (práctica normalizada para preparación y curado de especímenes de ensayo de concreto).
- Se debe contar con una máquina capaz de aplicar una fuerza continua y sin choques, de 100 a 200 psi/min.
- Pesarse los cilindros en la balanza.
- Tomar las medidas de los cilindros, como lo describe la norma y se deben de tener bien identificados.
- Armar el sistema para la aplicación de la carga en la máquina.
- Realizar el ensayo, controlando la velocidad de carga de la máquina.
- Anotar la carga máxima que soportó el espécimen.
- Realizar los cálculos y el reporte, como se describe en la norma.

**Figura 18. Realización del ensayo de tensión indirecta**



La resistencia a Tensión Indirecta o Tensión por Hendido es calculada por medio de la fórmula:

$$T = 2P / \pi Ld$$

Donde:

T = esfuerzo de tensión por hendido, en MPa

P = carga máxima aplicada, en N

L = longitud del espécimen, en mm

d = diámetro del espécimen, en mm

La norma establece que los resultados de la resistencia a tensión indirecta no pueden diferir en +/- 14% del promedio, por lo que se realizó un análisis estadístico para determinar que todos los datos se encontraran dentro del rango, de lo contrario los datos que estaban fuera del rango se descartaron y se calculó nuevamente el promedio. (13)

**Tabla VIII. Propiedades Físico-Mecánicas de las probetas ensayadas a Tensión Indirecta a los 28 días.**

Identificación	Resist. Tensión	Densidad	Carga máxima	Peso	Def. máxima
	(MPa) (Psi)	(Kg/m <sup>3</sup> ) (Lb/ft <sup>3</sup> )	(N) (Lbf)	(Kg) (Lb)	(mm) (plg)

<b>FIBRA 4 %, LONGITUD 4cm</b>					
A.3.1	2.25 326	2010 126	47072 10582	1.644 3.63	3.85 0.15
A.3.2	2.35 341	2030 127	49229 11067	1.646 3.63	3.79 0.15
A.3.3	2.30 334	2030 127	47072 10582	1.634 3.60	3.88 0.15
Media	2.30	2023.33	47791	1.641	3.84
Desv. Estándar	0.04	9.43	1016.82	0.01	0.04
Coef. de variación (%)	1.77	0.47	2.13	0.32	0.97

<b>FIBRA 3 %, LONGITUD 4cm</b>					
B.3.2	1.80 261	2020 126	37363 8400	1.621 3.57	3.69 0.15
B.3.3	1.60 232	2030 127	32166 7231	1.610 3.55	3.45 0.14
Media	1.70	2025.00	34764.50	1.62	3.57
Desv. Estándar	0.10	5.00	2598.50	0.01	0.12
Coef. de variación (%)	5.88	0.24691	7.47	0.34	3.36

<b>FIBRA 2 %, LONGITUD 4cm</b>					
C.3.1	2.30 334	1980 124	47072 10582	1.580 3.48	2.56 0.10
C.3.2	2.40 348	1980 124	49229 11067	1.589 3.50	2.65 0.10
C.3.3	2.65 384	1990 124	54917 12346	1.595 3.52	2.82 0.11
Media	2.45	1983.33	50406	1.588	2.68
Desv. Estándar	0.15	4.71	3309.08	0.01	0.11
Coef. de variación (%)	6.01	0.24	6.56	0.39	4.03

Continúa

Identificación	Resist. Tensión	Densidad	Carga máxima	Peso	Def. maxima
	(MPa) (Psi)	(Kg/m <sup>3</sup> ) (Lb/ft <sup>3</sup> )	(N) (Lbf)	(Kg) (Lb)	(mm) (plg)
<b>FIBRA 2.5 %, LONGITUD 8cm</b>					
D.3.1	1.80	1940	36677	1.541	5.2
	261	121	8245	3.40	0.20
D.3.2	2.00	1960	42169	1.530	3.7
	290	122	9480	3.37	0.15
D.3.3	1.65	2000	33343	1.547	3.82
	239	125	7496	3.41	0.15
Media	1.82	1966.67	37396.33	1.539	4.24
Desv. Estandar	0.14	24.94	3638.92	0.01	0.68
Coef. de variación (%)	7.89	1.27	9.73	0.46	16.05

<b>FIBRA 2 %, LONGITUD 8cm</b>					
E.3.1	2.65	2010	53937	1.585	4.7
	384	126	12126	3.49	0.19
E.3.2	2.50	2000	50995	1.590	3.1
	363	125	11464	3.51	0.12
E.3.3	2.30	2020	46091	1.588	3.9
	334	126	10362	3.50	0.15
Media	2.48	2010	50341	1.588	3.90
Desv. Estandar	0.14	8.16	3236.33	0.00	0.65
Coef. de variación (%)	5.77	0.41	6.43	0.13	16.75

<b>FIBRA 1.5 %, LONGITUD 8cm</b>					
F.3.1	1.65	1990	333343	1.549	2.93
	239	124	74938	3.42	0.12
F.3.2	1.85	1940	37265	1.543	2.8
	268	121	8378	3.40	0.11
F.3.3	2.00	1950	41188	1.543	2.85
	290	122	9259	3.40	0.11
Media	1.83	1960	137265.3	1.545	2.86
Desv. Estandar	0.14	21.60	138657.10	0.00	0.05
Coef. de variación (%)	7.82	1.10	101.01	0.18	1.87

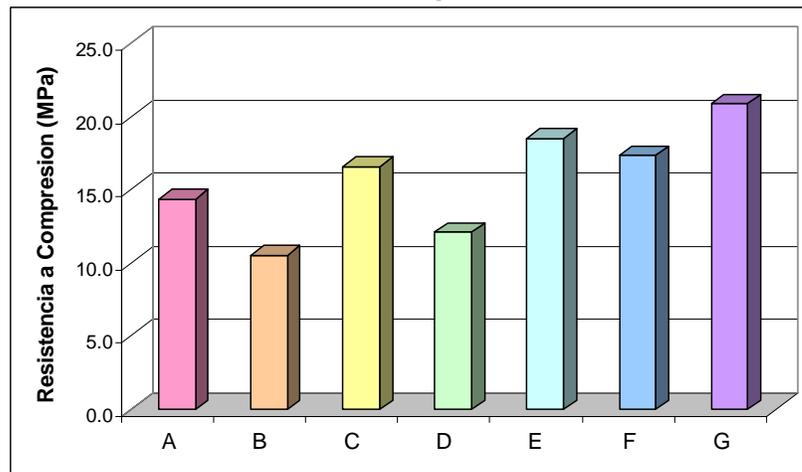
<b>SIN REFUERZO</b>					
G.3.1	2.00	1990	40207	1.585	1.6
	290	124	9039	3.49	0.06
G.3.2	2.10	1990	43149	1.589	2.0
	305	124	9700	3.50	0.08
G.3.3	2.50	2010	50995	1.594	1.8
	363	126	11464	3.51	0.07
Media	2.20	1996.67	44783.67	1.589	1.80
Desv. Estandar	0.22	9.43	4553.34	0.00	0.16
Coef. de variación (%)	9.82	0.47	10.17	0.23	9.07

## 6. ANÁLISIS Y EVALUACIÓN DE RESULTADOS

### 6.1 Resistencia a Compresión

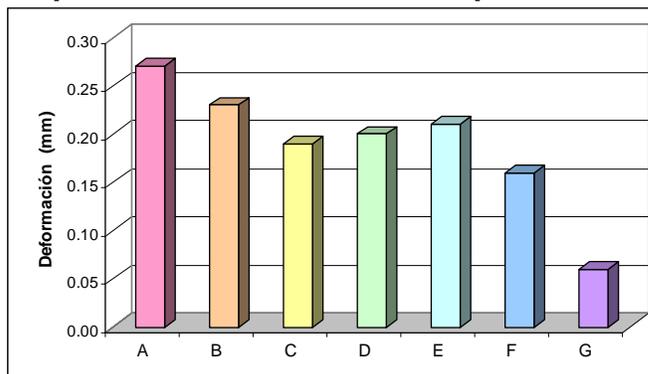
Con base a los ensayos realizados se determinó que la inclusión de fibras de coco a la mezcla de mortero de cemento disminuye la resistencia a compresión. Al comparar la resistencia de la probeta control G con las probetas A y B que contenían un 4% y 3% de fibra de 8cm las cuales presentaron una disminución del 31.2% y 49.5% respectivamente, la probeta D con 2.5% de fibra de 4cm disminuyó la resistencia en un 42.1%, los mejores resultados se obtuvieron en las mezclas con menor volumen de fibra, las probetas C con 2% de fibra de 8cm, E y F con 2% y 1.5% de fibra de 4cm presentaron una disminución del 20.7%, 11.5% y 17% respectivamente (figura 19).

**Figura 19. Resistencia a compresión a los 28 días, en los distintos tipos de mezcla**

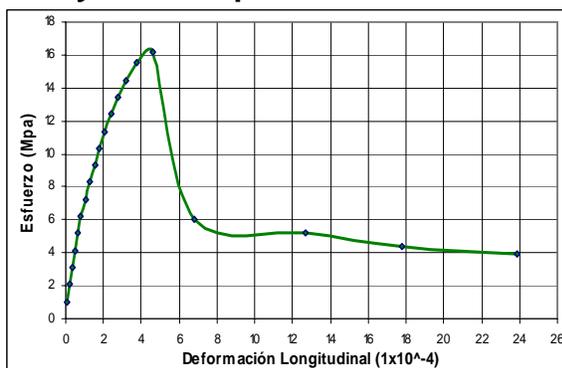


Se determinó que la inclusión de fibras de coco a la mezcla aumenta la capacidad de deformación significativamente en comparación con la muestra control, debido al anclaje de las fibras con el mortero, como se puede observar en la figura 20 la muestra control G es la que presenta menor capacidad de deformación en comparación con las muestras fibrorreforzadas, donde la mezcla A (8cm, 4%) es la que tiene mayor capacidad de deformarse. En las figuras 21 y 22 se muestran los gráficos Esfuerzo – Deformación de mezclas con fibra y sin fibra, como se puede observar las mezcla de control una vez alcanza su resistencia máxima ya no tiene la capacidad de seguir deformándose, mientras que las mezclas con fibra siguen resistiendo aún después de la falla.

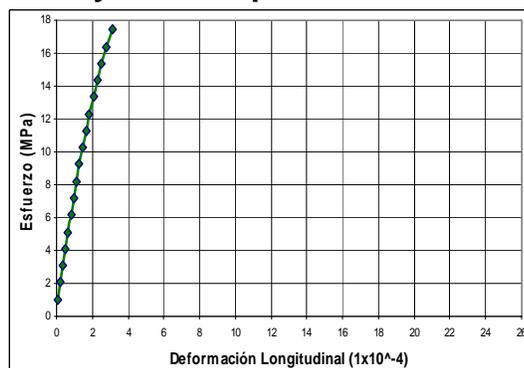
**Figura 20. Capacidad de deformación en probetas a compresión**



**Figura 21. Gráfica esfuerzo – def. del material fibrorreforzado. Ensayo de compresión.**

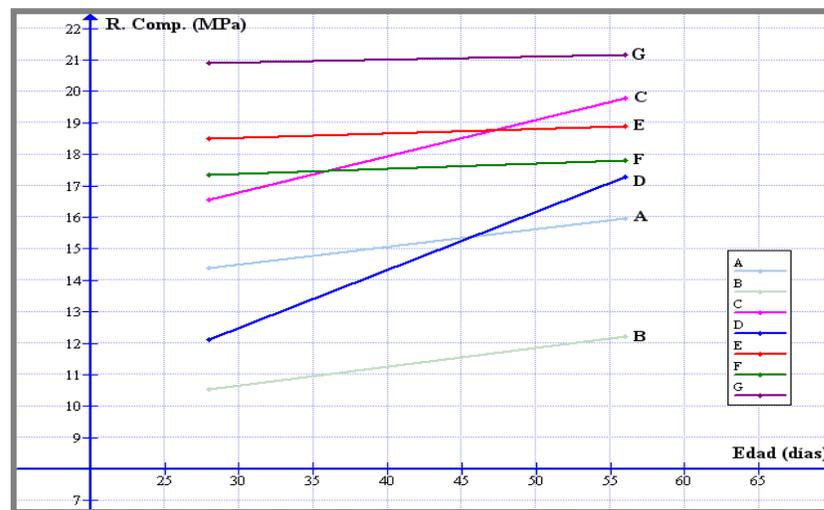


**Figura 22. Gráfica esfuerzo – def. de la muestra control. Ensayo de compresión.**



Las mezclas C (8cm, 2%) y D (4cm, 2.5%) fueron las que tuvieron mayor ascenso de resistencia hasta los 56 días, mientras que las mezclas A (8cm, 4%) y B (8cm, 3%) tuvieron un ascenso leve de resistencia, por su parte las mezcla E (4cm, 2%), F (4cm, 1.5%) y la muestra control G presentaron un aumento casi nulo en la resistencia a compresión (figura 23).

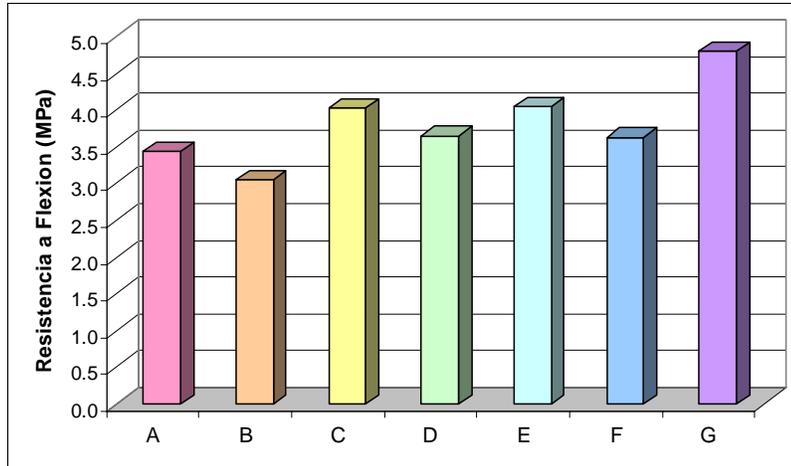
**Figura 23. Comportamiento en el tiempo de los distintos Tipos de mezcla, resistencia a compresión**



## 6.2 Resistencia a Flexión

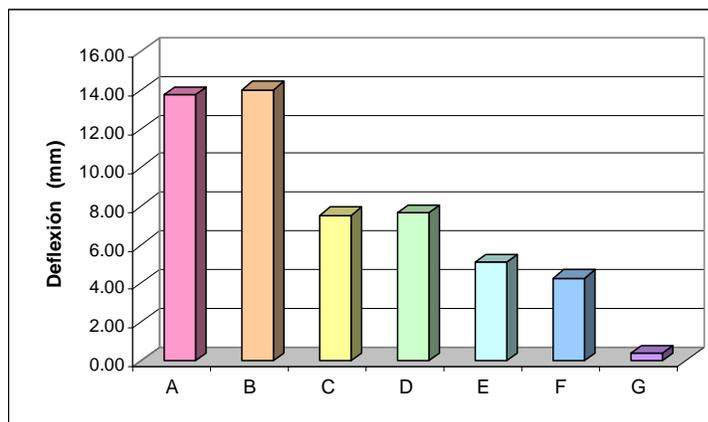
La resistencia a flexión fue menor para las probetas que contenían fibra de coco en comparación con la de control. La probeta B fue la que presentó la mayor disminución de resistencia con un 36.5%, por su parte las probetas A, D y F presentaron una disminución de 28%, 24%. 24.3% respectivamente, los mejores resultados se obtuvieron con las probetas que contenían 2% de fibra C (8cm) y E (4cm) con una disminución del 16% y 15.6% respectivamente. (Figura 24).

**Figura 24. Resistencia a flexión a los 28 días, en los distintos tipos de mezcla**



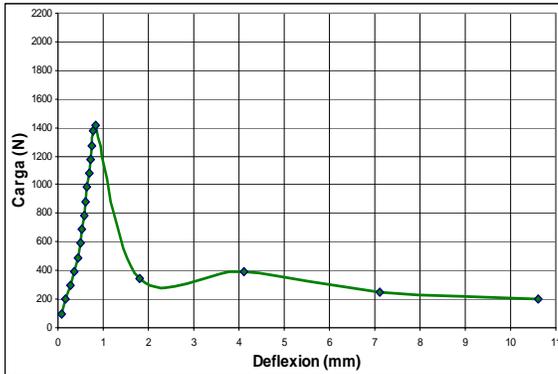
La inclusión de fibra de coco a la mezcla aumentó muy significativamente la capacidad de deflexión de las probetas, como lo muestra la figura 25. Las probetas con mayor longitud y con volúmenes altos de fibra son capaces de deflectarse más que las que tienen menor longitud y volúmenes bajos de fibra. Las probetas A (8cm, 4%) y B (8cm, 3%) fueron las que tuvieron mayor capacidad de deflexión, además después de que las probetas fallaron las que tenían fibra permanecían unidas y se seguían deformando, mientras que la de control G al ocurrir la falla se partió en dos después de aparecer la falla.

**Figura 25. Capacidad de deflexión en probetas a flexión**

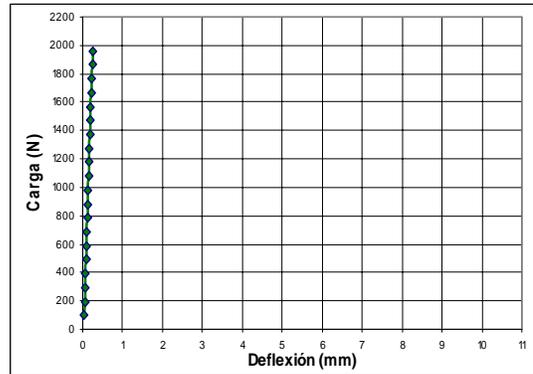


La figura 26 y 27 muestran los diagramas de Carga – Deflexión, para probetas con fibra y sin fibra.

**Figura 26. Gráfica esfuerzo – def. del material fibrorreforzado. Ensayo de flexión.**

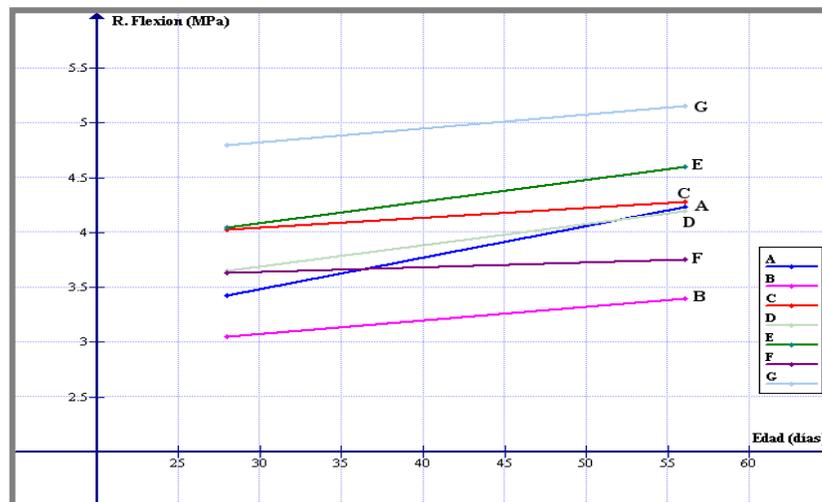


**Figura 27. Gráfica esfuerzo – def. de la muestra control. Ensayo de flexión.**



Las mezclas A (8cm, 4%), E (4cm, 2%) y la de control G, fueron las que presentaron un mayor ascenso de resistencia a los 56 días, las mezclas B (8cm, 3%) y D (4cm, 2.5%) presentaron un ascenso de resistencia más bajo, por su parte las mezclas C (8cm, 2%) y F (4cm, 1.5%) no tuvieron un ascenso de resistencia considerable (figura 28).

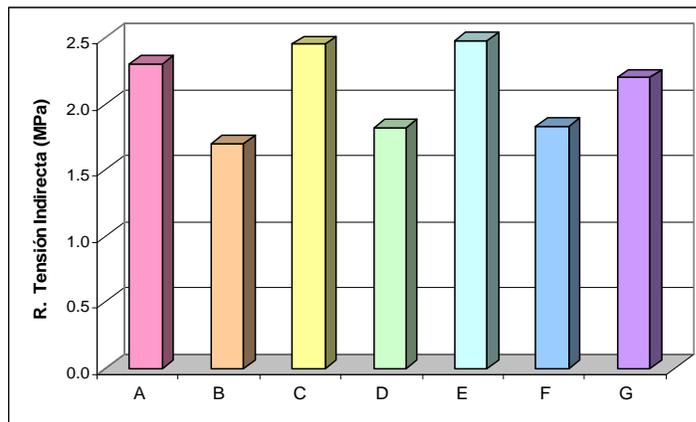
**Figura 28. Comportamiento en el tiempo de los distintos Tipos de mezcla, Resistencia a flexión.**



### 6.3 Resistencia a tensión indirecta

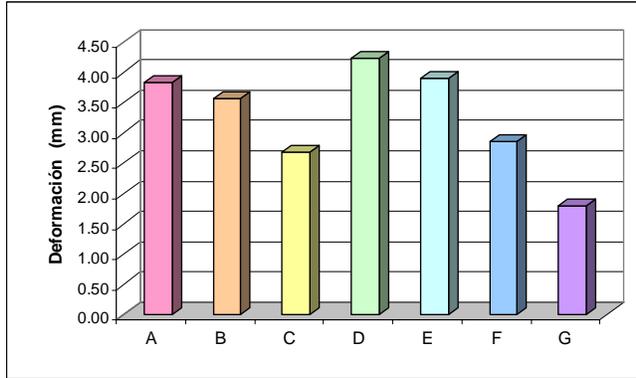
Los resultados de los ensayos de tensión indirecta presentaron un fenómeno diferente a los de compresión y flexión, ya que algunas probetas con fibra presentaron valores mayores a los de la probeta de control. Como se observa en la figura 29. las probetas A (8cm, 4%), C (8cm,2%) y E (4cm, 2%) presentaron un aumento en la resistencia de 4.5%, 22.7% y 12.9% respectivamente, mientras que las demás presentaron una disminución de la resistencia en comparación con la muestra control G.

**Figura 29. Resistencia a tensión indirecta a los 28 días, en los distintos tipos de mezcla**

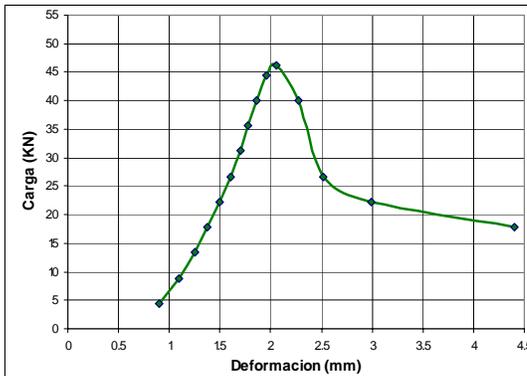


La inclusión de fibra en la mezcla ayuda a que las probetas puedan deformarse mas aún después de haber fallado y mantienen la probeta unida evitando una falla súbita, a mayor cantidad de fibra aumenta la capacidad de deformarse obteniéndose mejores resultados con las fibras de 4cm que con las de 8cm, pero en general para los dos tamaños de fibra la capacidad de deformarse fue mucho mayor que la de la muestra de control G, como se puede observar en la figura 30, las figuras 31 y 32 muestran los gráficos carga – deformación de una probeta fibrorreforzada y de la muestra control.

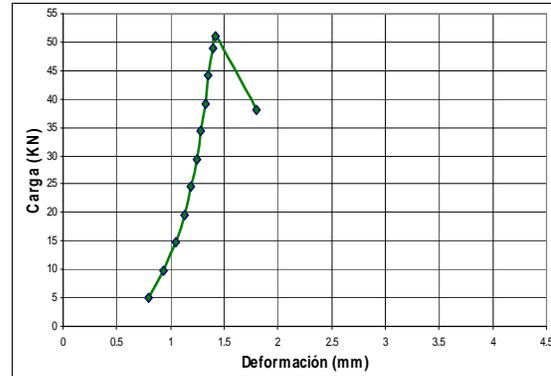
**Figura 30. Capacidad de deformación en probetas a tensión indirecta**



**Figura 31. Gráfica esfuerzo – def. del material fibrorreforzado, Ensayo de tensión indirecta.**

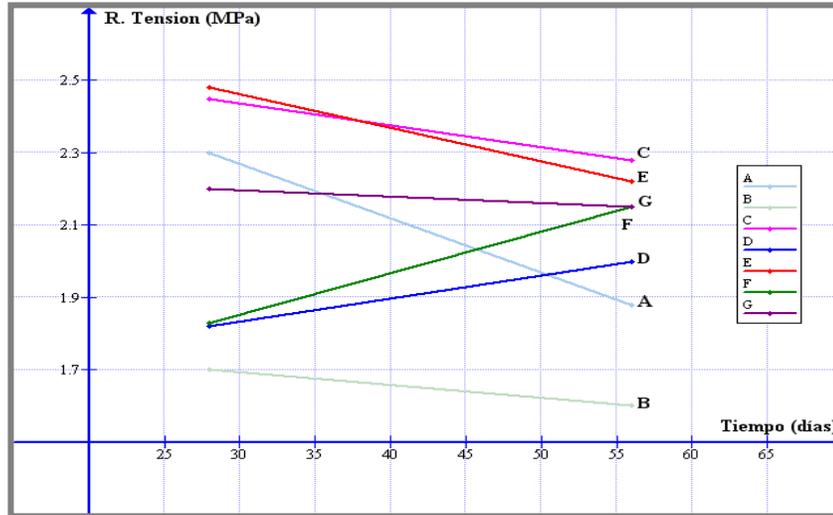


**Figura 32. Gráfica esfuerzo – def. de la muestra control, Ensayo de tensión indirecta.**



Al analizar el comportamiento de las mezclas como se muestra en la figura 33. la mayoría de las mezclas tuvieron un descenso en la resistencia. Las mezclas D (4cm, 2.5%) y F (4cm, 1.5%) tuvieron un ascenso en la resistencia, la mezcla de control G no tuvo mayor variación en la resistencia, mientras que la mezcla A (8cm, 4%), B (8cm, 3%), C (8cm, 2%), E (4cm, 2%) tuvieron un descenso en la resistencia.

**Figura 33. Comportamiento en el tiempo de los distintos Tipos de mezcla, Resistencia a tensión indirecta.**



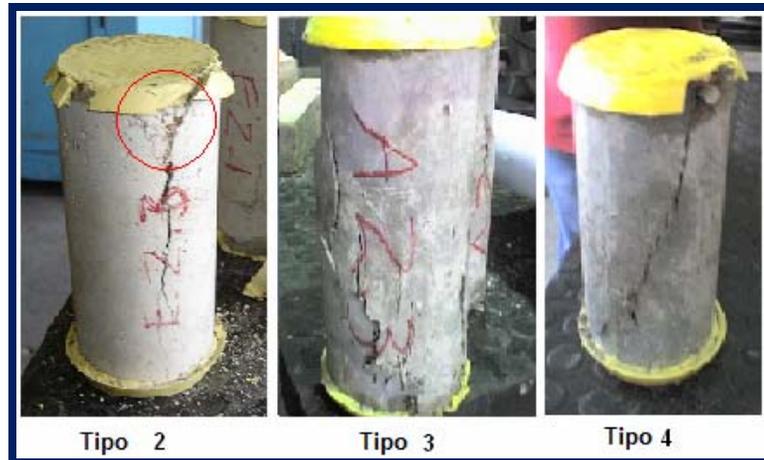
## 6.4 Tipos de fallas en los especímenes ensayados

### 6.4.1 Fallas a compresión

La norma ASTM C 39/C 39M – 04a (método de ensayo para resistencia a compresión de especímenes cilíndricos de concreto) clasifica las fallas a compresión en 6 tipos dependiendo del tipo de fractura que sufra el espécimen. En los ensayos realizados se pudo observar que ocurrieron 3 tipos diferentes de fallas las cuales se describen a continuación (Figura 34):

- TIPO 2: aparece un cono bien formado en un extremo, y grietas verticales corriendo a lo largo del espécimen.
- TIPO 3: aparecen grietas verticales a través de ambos extremos.
- TIPO 4: fractura diagonal sin grietas a través de los extremos.

**Figura 34. Fallas ocurridas en los especímenes ensayados a compresión**



En los elementos fibrorreforzados el espécimen no se desintegró debido al anclaje con las fibras, mientras que en los especímenes sin refuerzo fallaron súbitamente.

#### **6.4.2 Falla a flexión**

En los especímenes ensayados a flexión, la falla ocurrió siempre en el rango del tercio medio de la viga, en los especímenes fibrorreforzados después de ocurrida la falla el espécimen seguía unido y resistiendo carga debido al anclaje de la matriz con las fibras de coco, mientras que en los especímenes sin refuerzo la falla ocurría súbitamente y el elemento se partió en dos, sin tener la capacidad de resistir carga después de la falla (Figura 35, 36).

**Figura 35. Falla a flexión en espécimen fibrorreforzado**



**Figura 36. Falla a flexión se puede observar como las fibras trabajaron**



#### **6.4.3 Falla a tensión indirecta**

En la prueba de tensión indirecta, ocurrió una fractura vertical a lo largo de los puntos de carga. Al igual que en las otras pruebas en los elementos fibrorreforzados la probeta no se desintegro y permaneció unida aún después de ocurrida la falla, mientras que en los elementos sin refuerzo la falla fue súbita partiendo los cilindros a la mitad (figura 37, 38).

**Figura 37. Falla a tensión en Especimen fibrorreforzado**



**Figura 38. Falla a tensión en espécimen sin refuerzo**



## **6.5 Efecto de la fibra sobre el mortero**

El efecto positivo que tiene la incorporación de la fibra al mortero es que al momento de la falla el mortero sigue unido, con lo que se puede deducir que hay una buena adherencia de fibra con la matriz, el cual impide que las grietas progresen en el material haciéndolo menos frágil. Según observaciones y bibliografía consultada se comprobó que los refuerzos de fibra mejoran de varias maneras la tenacidad de la matriz, ya que las grietas que puedan aparecer en la matriz son transmitidas a las fibras absorbiendo la energía y no permiten que las grietas se sigan propagando. Una mala unión entre la fibra y la matriz puede ocasionar que la fibra empiece a separarse de la matriz aumentando la posibilidad de fracturas.

Como se indicó en el análisis de resultados, la resistencia a compresión y flexión disminuyeron en comparación con la muestra de control pero su capacidad de deformarse aumentó significativamente manteniendo unida la probeta aún después de ocurrida la falla, por su parte la resistencia a tensión aumento así como su capacidad de deformarse. Las probetas que presentaron mejores resultados para los tres ensayos fueron C y E que contenían 2% de fibra y una longitud de 8cm y 4cm respectivamente.



## CONCLUSIONES

1. La incorporación de las fibras a una matriz de mortero de cemento, disminuye la fragilidad del elemento haciendo que se pueda deformar más aún después de haber alcanzado su capacidad máxima y manteniendo al espécimen unido sin permitir que colapse. Por lo que hay una mayor capacidad de absorber energía
2. Los morteros fibrorreforzados tienen la capacidad de seguir resistiendo carga aún después de haber alcanzado su capacidad máxima, ya que las fibras continúan su acción mecánica, mientras que los que no tienen fibra, una vez alcanzan su capacidad máxima colapsan.
3. La resistencia a compresión de morteros fibrorreforzados fue inferior en todos los casos al compararla con la mezcla de control, los mejores resultados se obtuvieron para un volumen de 2% fibra para las longitudes de 4cm y 8cm donde alcanzaban su resistencia máxima, mientras que con volúmenes más altos o más bajos la resistencia disminuye.
4. La resistencia a flexión se disminuyó con la introducción de fibras de coco, al compararla con la mezcla de control, al igual que en el ensayo de compresión los mejores resultados se obtuvieron para un volumen de 2% fibra para las longitudes de 4cm y 8cm donde alcanzaban su resistencia máxima, al aumentar o disminuir el volumen de fibra la resistencia disminuye para los dos tamaños de fibra.

5. La resistencia a tensión en los morteros fibrorreforzados muestra un aumento en comparación con la muestra de control, para la longitud de 8cm con 4% y 2% de fibra y para la longitud de 4cm con 2% de fibra, mientras que para los demás la resistencia fue menor que la de la mezcla control.
6. La capacidad de deformarse para los elementos ensayados a compresión, es directamente proporcional a la longitud y el porcentaje de fibra en la mezcla, ya que para longitudes largas y porcentajes altos de fibra las deformaciones obtenidas fueron más grandes que las de la muestra control en un rango de 1.2 – 3.7 más grandes. por lo que la adición de fibras aumenta la capacidad de absorber energía.
7. La capacidad de deformarse para los elementos fibrorreforzados ensayados a flexión es más grande al compararla con la muestra de control, y es directamente proporcional a la longitud y al porcentaje de fibra, encontrándose variaciones en un rango de 10.1 – 34.6 más grandes que las de la muestra control.
8. Los mejores resultados en los ensayos de compresión, flexión y tensión indirecta, se obtuvieron con un porcentaje del 2% de fibra para las dos longitudes de 8cm y 4cm, por lo que la longitud de la fibra no influye en gran medida en la resistencia.
9. La resistencia de las fibras de coco disminuyó con el tiempo, debido al deterioro producido por la alta alcalinidad de la pasta de cemento.

## RECOMENDACIONES

1. Realizar pruebas utilizando fibras de menor longitud, debido a que con las fibras largas es más difícil mezclarlas con el mortero y tienden a hacerse nudos dentro de la mezcla.
2. Estudiar el comportamiento del material fibrorreforzado a edades mayores, para evaluar si las fibras no se deterioran con el tiempo.
3. Realizar ensayos con morteros de otras proporciones y considerar la adición de algún aditivo.
4. Hacer las mezclas con una mezcladora mecánica para obtener una mezcla más homogénea y trabajable.
5. Se sugiere tratar las fibras de coco previo a su uso, ya sea con cal o un polímero acrílico, para limpiarlas de impurezas provenientes del fruto, protegerlas del deterioro provocado por la alta alcalinidad de la pasta de cemento, mejorar la adherencia y aumentar el período de vida útil del material fibrorreforzado. Este procedimiento ya ha sido utilizado en otras pruebas con fibras naturales.



## BIBLIOGRAFÍA

1. Dra. Ruby de Gutiérrez. **Materiales compuestos fibrorreforzados.** Santiago de Cali, Colombia, 1998.
2. Delvasto Arjona, Silvio. **Materiales compuestos fibrorreforzados.** Santiago de Cali, Colombia, 1998.
3. Murillo G. Olga Marta. **Tecnología de alimentos.** Dirección de Mercadeo y Agroindustria, Área Desarrollo de Producto. Costa Rica, 2002.
4. Elías Martínez, Carlos Alberto. Concreto fibrorreforzado con polipropileno. Trabajo de graduación de ingeniería Civil, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 2001.
5. Askeland, Donald R. **La ciencia e ingeniería de los materiales.** 4<sup>a</sup> ed. Mexico: Thomson, 2004.
6. Gómez Con, Sergio Gabriel. Caracterización físico mecánica de morteros utilizando agregados del municipio de San Cristóbal, Alta Verapaz. Trabajo de graduación de ingeniería Civil, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 2006.
7. [www.cempro.com/index.php](http://www.cempro.com/index.php)
8. [www.infoagro.com/frutas/frutastropicales/coco.asp](http://www.infoagro.com/frutas/frutastropicales/coco.asp)
9. Medardo Lizano. **Guía técnica del cultivo de coco.** Ministerio de Agricultura y Ganadería. El Salvador, 2005.
10. Novoa Carrillo, Martha Angélica. Elaboración y evaluación de tableros aglomerados a base de fibra de coco y cemento. Universidad de Colima, México, 2005.
11. [www.micacanarias.com/aislantes/fibra-de-coco.htm](http://www.micacanarias.com/aislantes/fibra-de-coco.htm)
12. H.E. Davis, G.E. Troxell y C.w. Wiskocil. Ensayo e inspección de los materiales de ingeniería. 3<sup>a</sup> ed. Editora Continental S.A., México 1970.

13. American Standard for Testing and Materials (por sus siglas en inglés).  
Normas ASTM: C - 33-03 Especificación normalizada de agregados para concreto, C-31/C31M-06 práctica normalizada para preparación y curado de especímenes de ensayo de concreto, C 39/C 39M – 04a método de ensayo para resistencia a compresión de especímenes cilíndricos de concreto, C – 1231/C1231M-04 Practica estándar para uso de cabezales no adheridos en la determinación de la resistencia a compresión de cilindros de concreto endurecido, C 469 – 02e Método de ensayo para determinar el modulo de elasticidad estático y relación de Poisson del concreto en compresión, C 293 – 02 Método de ensayo para resistencia a la flexión del concreto (usando viga simple con carga en el punto medio), concreto, C-31/C31M-06 practica normalizada para preparación y C – 496/C 496M – 04 método de ensayo para resistencia a la tensión indirecta de especímenes cilíndricos de concreto. Anual Book of Standards. On line: [www.astm.org](http://www.astm.org)

## **APÉNDICES:**

- **FORMATOS DE TRABAJO**
- **RESULTADOS DE LOS ENSAYOS A COMPRESIÓN, FLEXIÓN Y TENSIÓN INDIRECTA, A LOS 56 DIAS**
- **GRÁFICAS ESFUERZO – DEFORMACIÓN, RESISTENCIA A COMPRESIÓN**
- **GRÁFICAS CARGA – DEFLEXIÓN, RESISTENCIA A FLEXIÓN**
- **GRÁFICAS CARGA – DEFORMACIÓN, RESIT. A TENSIÓN INDIRECTA**



**Tabla IX. Formato de trabajo para la hechura de mezclas**

FECHA:	27 / 6 / 07
HORA DE INICIO:	9:00 a.m.
HORA DE FINALIZACIÓN:	10:20 a.m.
LABORATORISTAS:	Ing. Javier Quiñónez José Gómez Samuel Gómez Omar Alvarez

IDENTIFICACIÓN DE LA MEZCLA : <b>C</b>	
PROBETAS A ELABORAR	
No. DE CILINDROS:	12
No. DE VIGAS:	6

RELACIÓN CEMENTO – ARENA	1:3
RELACIÓN A/C :	0.675
LONGITUD DE FIBRA :	8 cm
% DE FIBRA :	2 %

CANTIDAD DE MATERIALES (Kg)	
CEMENTO:	7.5
ARENA:	24
FIBRA:	0.320

TRABAJABILIDAD:  Buena

OBSERVACIONES: \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_

**Tabla X. Formato de trabajo para el ensayo de probetas a compresión (ASTM C 39/C39C-04a método de ensayo para resistencia a compresión de especimenes cilíndricos de concreto)**

FECHA : 25/07/2007

IDENTIFICACIÓN	<b>B.2.6</b>	CARGA MÁXIMA (kg)	8617
DIAMETRO (cm)	7.77	ESFUERZO DE COMP. (Kg/cm <sup>2</sup> )	181.57
ÁREA DEL CILINDRO (cm <sup>2</sup> )	47.46	TIPO DE FALLA	TIPO 3
ALTURA (cm)	16.62	EDAD DEL ESPECIMEN	56
PESO (kg)	1.601	DEFECTOS EN EL ESPECIMEN	NINGUNO
PESO UNITARIO (kg/m <sup>3</sup> )	2029.81		

No.	Carga (Lb)	Deformación (1x10 <sup>-4</sup> plg)
1	1000	0.5
2	2000	0.9
3	3000	1.5
4	4000	2.0
5	5000	2.5
6	6000	3.1
7	7000	3.7
8	8000	4.3
9	9000	5.1
10	10000	5.8
11	11000	6.7
12	12000	7.6
13	13000	8.7
14	14000	9.9
15	15000	11.2
16	16000	12.7
17	17000	14.1
18	18000	17
<b>19</b>	<b>19000</b>	<b>21.3</b>
20	15000	30
21	12000	36
22	11000	39
23	10000	42.3
24	9000	54
25	8000	65
26	7000	79
27	6000	117

**OBSERVACIONES:**

\* No colapsó la probeta debido al

Fibra con el mortero

\* Había concentración de fibra

Longitud de fibra :	8 cm
% de fibra :	2 %

**Tabla XI. Formato de trabajo para el ensayo de probetas a flexión (ASTM C 293 – 02 Método de ensayo para resistencia a la flexión del concreto (usando viga simple con carga en el punto medio))**

FECHA : 25/07/2007

IDENTIFICACIÓN	<b>A.1.1</b>	CARGA MÁXIMA (Kg)	144
ANCHO PROMEDIO (cm)	5.21	MODULO DE RUPTURA (kg/cm <sup>2</sup> )	32.86
ESPESOR PROM. (cm)	5.27	TIPO DE FALLA	Tensión
LONG. ENTRE APOYOS (cm)	22	EDAD DEL ESPECIMEN (días)	28
PESO (Kg)	1.655	DEFECTOS EN EL ESPECIMEN	Ninguno
PESO UNITARIO (Kg/m <sup>3</sup> )	1949.43		

No.	Carga ( Kg )	Deflexión (1x10 <sup>-2</sup> mm)
1	10	7
2	20	17
3	30	27
4	40	37
5	50	44
6	60	50
7	70	53
8	80	57
9	90	61
10	100	65
11	110	69
12	120	72
13	130	75
14	140	78
<b>15</b>	<b>144</b>	<b>84</b>
16	35	180
17	40	410
18	25	710
19	20	1060
20	15	1230
21	10	1440
22		-
23		
24		
25		
26		

**OBSERVACIONES:**

\*Abertura de la falla 2.3cm

\*No hubo colapso del elemento

\*Las fibras trabajaron

Longitud de fibra :	4 cm
% de fibra :	4 %

**Tabla XII. Formato de trabajo para el ensayo de probetas a tension indirecta (ASTM C 496/C496-04 método de ensayo para resistencia a la tensión indirecta de especimenes cilíndricos de concreto)**

FECHA : 25/07/2007

IDENTIFICACIÓN	<b>E.3.5</b>	AGREGADOS FRACTURADOS	Ninguno
DIAMETRO DEL CILINDRO (cm)	7.81	DEFECTOS EN ESPECIMEN	Ninguno
LONGITUD DEL CILINDRO (cm)	16.85	EDAD DEL ESPECIMEN	28
PESO DEL CILINDRO (Kg)	1.592	TIPO DE ESPECIMEN	Cilindro de mortero
CARGA MÁXIMA (Kg)	5193		
ESFUERZO DE TENSION (Kg/cm <sup>2</sup> )	25.132	TIPO DE FRACTURA : Se fracturo en línea	
PESO UNITARIO (kg/m <sup>3</sup> )	1973.89	recta a lo largo de los puntos de carga	

No.	Carga ( Lb )	Deformación (1*10 <sup>-2</sup> mm)
1	1000	100
2	2000	136
3	3000	149
4	4000	162
5	5000	172
6	6000	181
7	7000	190
8	8000	199
9	9000	207
10	10000	215
11	11000	219
<b>12</b>	<b>11450</b>	<b>223</b>
13	8000	252
14	6000	265
15	5000	282
16	4000	298
17		
18		
19		
20		

**OBSERVACIONES :**

- \* Se utilizó la máquina RIEHLE
- \* No colapsó la probeta
- \* Las fibras trabajaron
- \* Se utilizo deformometro marca MERCER

Longitud de fibra : 8 cm
% de fibra : 2 %

**Tabla XIII. Resultados de los ensayos a compresión a los 56 días**

Cant. Fibra	Identificación	Resist. Comp.	Modulo Elast.	Densidad	Carga máxima	Peso	Módulo Resilen	Def. máxima
		(MPa)	(MPa)	(Kg/m <sup>3</sup> )	(N)	(Kg)	(MPa)	(mm)
4%	A,2,4	15.6	106869.4	2040	162790	1.630	12.47	0.100
	A,2,5	15.3	128243.3	2020	160829	1.621	15.34	0.095
	A,2,6	17.0	89529.7	2080	176520	1.654	16.88	0.095
	Media	15.97	108214.13	2046.67	166713	1.635	14.90	0.097
	Desv. Estándar	0.74	15833.34	24.94	6980.66	0.01	1.83	0.00
	Coef. de variación (%)	4.64	14.63	1.219	4.19	0.85	12.27	2.44
3%	B,2,4	12.9	61363.7	2030	61684	1.609	13.08	0.145
	B,2,5	11.2	44471.5	2010	53937	1.625	10.84	0.120
	B,2,6	12.5	98595.6	2030	60017	1.624	9.64	0.120
	Media	12.20	68143.6	2023.33	58546	1.619	11.19	0.128
	Desv. Estándar	0.73	22610.17	9.43	3329.35	0.01	1.43	0.012
	Coef. de variación (%)	5.95	33.18	0.47	5.69	0.45	12.74	9.183
2%	C,2,4	21.7	176506.9	2060	221630	1.606	17.82	0.155
	C,2,5	18.6	153754	2000	196133	1.589	15.66	0.110
	C,2,6	19.0	77566.5	2010	196133	1.584	19.76	0.155
	Media	19.77	135942.47	2023.33	204632	1.593	17.75	0.140
	Desv. Estándar	1.38	42310.27	26.25	12019.40	0.01	1.67	0.021
	Coef. de variación (%)	6.97	31.12	1.30	5.87	0.59	9.44	15.152
2.5%	D,2,4	18.0	141688.1	1970	86495	1.58	16.24	0.070
	D,2,5	14.9	128932.8	1950	71588	1.577	12.77	0.055
	D,2,6	18.9	152719.8	1970	90809	1.605	16.36	0.085
	Media	17.27	141113.57	1963.33	82964	1.587	15.12	0.070
	Desv. Estándar	1.71	9719.50	9.43	8234.59	0.01	1.66	0.012
	Coef. de variación (%)	9.92	6.89	0.48	9.93	0.79	11.01	17.496
2%	E,2,5	20.0	164441	2020	210843	1.620	18.48	0.165
	E,2,6	17.8	143411.8	2030	186326	1.601	17.40	0.150
	Media	18.90	153926.40	2025.00	198584.5	1.61	15.63	0.158
	Desv. Estándar	1.10	10514.60	5.00	12258.50	0.01	3.30	0.008
	Coef. de variación (%)	5.82	6.83	0.25	6.17	0.59	21.10	4.762
	1.5%	F,2,4	17.7	135827.6	1960	84337	1.573	13.89
F,2,5		18.0	165475.2	1970	85906	1.575	16.28	0.085
F,2,6		17.7	152719.8	1960	85122	1.580	14.11	0.035
Media		17.80	151340.9	1963.33	85121.67	1.576	14.76	0.052
Desv. Estándar		0.14	12142.79	4.71	640.54	0.00	1.08	0.024
Coef. de variación (%)		0.79	8.02	0.24	0.75	0.19	7.31	45.620
Sin refuerzo	G,2,4	19.7	133069.6	2030	93654	1.609	16.45	0.020
	G,2,5	19.9	161683.1	2000	95517	1.604	16.84	0.020
	G,2,6	23.9	152719.8	2030	112776	1.588	18.78	0.025
	Media	21.17	149157.5	2020	100649	1.600	17.36	0.022
	Desv. Estándar	1.93	11949.91	14.14	8608.75	0.01	1.02	0.002
	Coef. de variación (%)	9.14	8.01	0.70	8.55	0.56	5.87	10.879

**Tabla XIV. Resultados de los ensayos a flexión a los 56 días**

Cant. Fibra	Identificación	Resist. Flexión	Modulo Elast.	Densidad	Carga máxima	Peso	Def. máxima
		(MPa)	(MPa)	(Kg/m <sup>3</sup> )	(N)	(Kg)	(mm)
4%	A.1.5	3.90	22.2	2060	1569	1.671	12.5
	A.1.6	4.55	15.8	2030	1912	1.656	11
	Media	4.23	19.00	2045.00	1740.50	1.66	11.75
	Desv. Estándar	0.33	3.20	15.00	171.50	0.01	0.75
	Coef. de variación (%)	7.69	16.84	0.73	9.85	0.45	6.38
3%	B.1.4	3.80	17.00	2020	1471	1.639	6.2
	B.1.5	3.00	22.75	2030	1275	1.664	5.4
	B.1.6	3.40	21.50	2030	1373	1.629	7.12
	Media	3.40	20.42	2026.67	1373	1.644	6.24
	Desv. Estándar	0.33	2.47	4.71	80.02	0.01	0.70
	Coef. de variación(%)	9.61	12.09	0.23	5.83	0.90	11.26
2%	C.1.4	4.55	31.25	1960	1961	1.622	14.4
	C.1.5	4.30	17.70	1965	1765	1.590	13.1
	C.1.6	4.00	26.85	1955	1667	1.594	13.3
	Media	4.28	25.27	1960	1797.67	1.602	13.60
	Desv. Estándar	0.22	5.64	4.08	122.23	0.01	0.57
	Coef. de variación (%)	5.25	22.34	0.21	6.80	0.89	4.20
2.5%	D.1.4	4.40	24.20	1980	1922	1.663	10.6
	D.1.5	4.05	24.90	1960	1814	1.676	9.0
	D.1.6	4.15	20.05	1910	1804	1.603	9.0
	Media	4.20	23.05	1950	1846.67	1.65	9.53
	Desv. Estándar	0.15	2.14	29.44	53.42	0.03	0.75
	Coef. de variación (%)	3.50	9.29	1.51	2.89	1.93	7.91
2%	E.1.5	4.80	28.75	1990	2040	1.636	12.3
	E.1.6	4.40	20.85	1980	1961	1.688	6.9
	Media	4.60	24.80	1985.00	2000.50	1.66	9.60
	Desv. Estándar	0.20	3.95	5.00	39.50	0.03	2.70
	Coef. de variación (%)	4.35	15.93	0.25	1.97	1.56	28.13
1.5%	F.1.4	3.75	23.60	1970	1618	1.626	14.4
	F.1.6	3.75	20.00	1980	1618	1.656	10.1
	Media	3.75	21.80	1975.00	1618.00	1.64	12.25
	Desv. Estándar	0.00	1.80	5.00	0.00	0.02	2.15
	Coef. de variación (%)	0.00	8.26	0.25	0.00	0.91	17.55
Sin refuerzo	G.1.4	5.25	24.05	2020	2167	1.634	0.44
	G.1.5	5.05	32.95	2020	2020	1.622	0.25
	G.1.6	5.15	31.55	2030	2128	1.641	0.27
	Media	5.15	29.52	2023.33	2105	1.632	0.32
	Desv. Estándar	0.08	3.91	4.71	62.18	0.01	0.09
	Coef. de variación (%)	1.59	13.24	0.23	2.95	0.48	26.64

**Tabla XV. Resultados de los ensayos a tensión indirecta a los 56 días**

Cant. Fibra	Identificación	Resist. Tensión	Densidad	Carga máxima	Peso	Def. máxima
		(MPa)	(Kg/m <sup>3</sup> )	(N)	(Kg)	(mm)
4%	A.3.4	1.85	2010	2010	37805	4.4
	A.3.5	1.90	2050	2050	39619	4.5
	A.3.6	1.90	2020	2020	39619	5.0
	Media	1.88	2026.67	2026.67	39014.33	4.63
	Desv. Estándar	0.02	17.00	17.00	855.13	0.26
	Coef. de variación (%)	1.25	0.84	0.84	2.19	5.66
4cm	B.3.4	1.6	2030	2030	32754	2.86
	B.3.5	1.6	2030	2030	32754	2.76
	B.3.6	1.6	2050	2050	32754	2.65
	Media	1.60	2036.67	2036.67	32754	2.76
	Desv. Estándar	0.00	9.43	9.43	0.00	0.09
	Coef. de variación (%)	0.00	0.46	0.46	0.00	3.11
2%	C.3.4	2.15	1980	1980	44032	4.18
	C.3.5	2.25	2000	2000	46258	4.40
	C.3.6	2.45	1980		50259	5.2
	Media	2.28	1986.67	1990	46849.67	4.59
	Desv. Estándar	0.12	9.43	10.00	2576.36	0.44
	Coef. de variación (%)	5.46	0.47	0.50	5.50	9.54
4cm	D.3.4	2.05	1950	1950	42169	7.7
	D.3.5	1.95	1950	1950	40207	6.1
	Media	2.00	1950.00	1950.00	41188.00	6.90
	Desv. Estándar	0.05	0.00	0.00	981.00	0.80
	Coef. de variación (%)	2.50	0.00	0.00	2.38	11.59
	2.5%	E.3.4	2.10	2000	2010	42698
E.3.5		2.45	1980	1970	50926	2.92
E.3.6		2.10	1990	1990	42914	4.1
Media		2.22	1990	1990	45512.67	3.73
Desv. Estándar		0.16	8.16	16.33	3828.82	0.58
Coef. de variación (%)		7.44	0.41	0.82	8.41	15.43
8cm	F.3.4	2.15	1950	1950	44620	2.4
	F.3.5	2.15	1960	1960	44130	3.72
	F.3.6	2.15	1980	1980	44130	3.26
	Media	2.15	1963.33	1963.33	44293.33	3.13
	Desv. Estándar	0.00	12.47	12.47	230.99	0.55
	Coef. de variación (%)	0.00	0.64	0.64	0.52	17.50
Sin refuerzo	G.3.4	2.25	2050	2050	45307	1.24
	G.3.6	2.05	2020	2020	41972	0.66
	Media	2.15	2035.00	2035.00	43639.50	0.95
	Desv. Estándar	0.10	15.00	15.00	1667.50	0.29
	Coef. de variación (%)	4.65	0.74	0.74	3.82	30.53

## GRÁFICOS ESFUERZO – DEFORMACIÓN, RESISTENCIA A COMPRESIÓN

Figura 39. Gráfico Esfuerzo – Deformación, Mezcla A

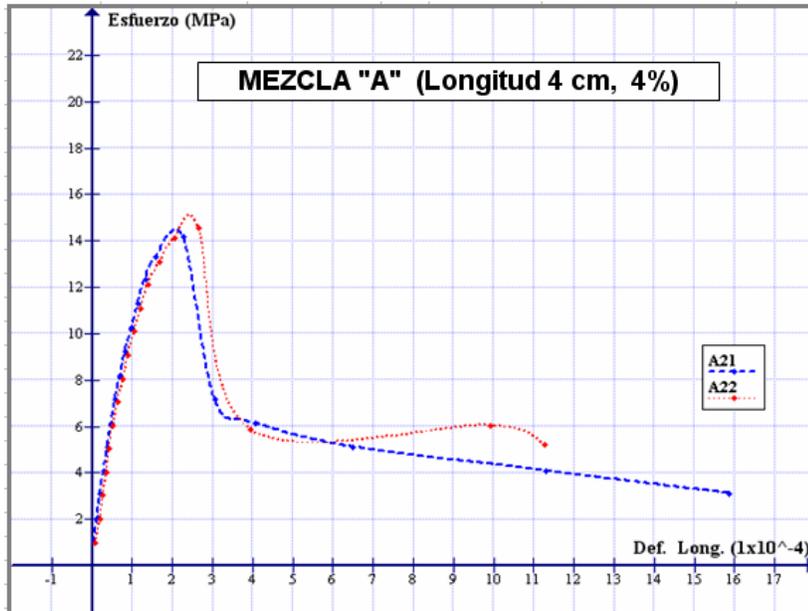


Figura 40. Gráfico Esfuerzo – Deformación, Mezcla B

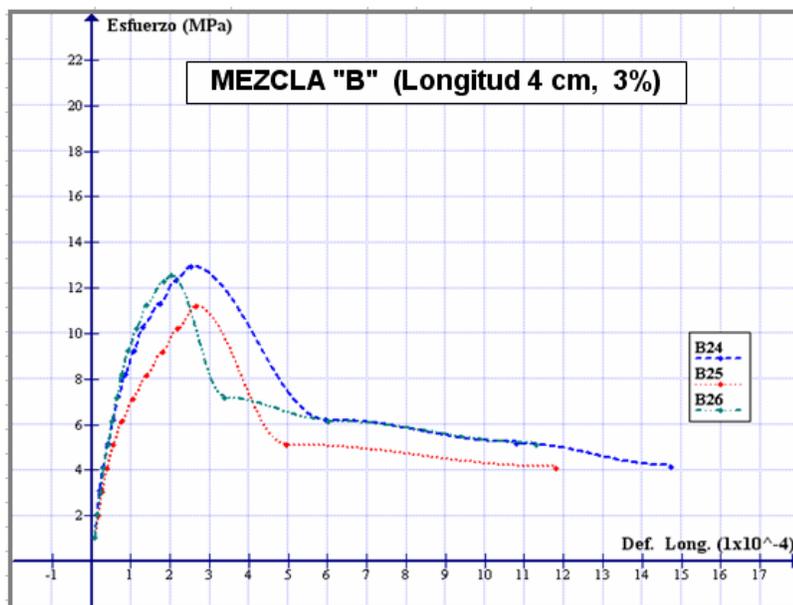


Figura 41. Gráfico Esfuerzo – Deformación, Mezcla C

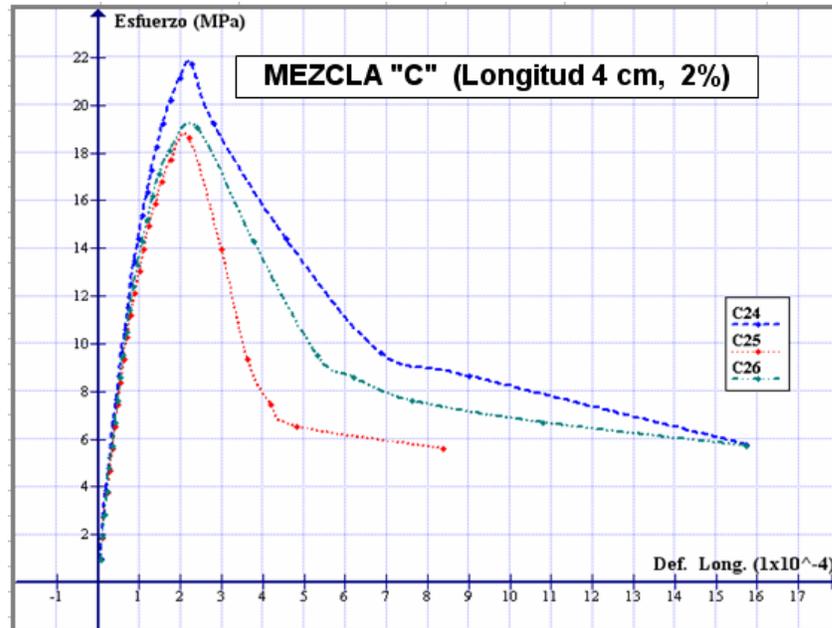


Figura 42. Gráfico Esfuerzo – Deformación, Mezcla D

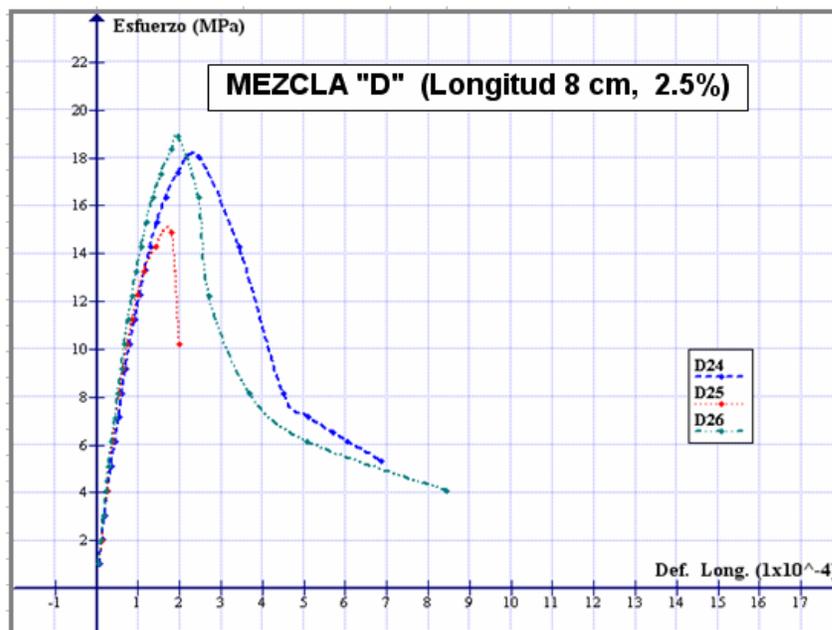


Figura 43. Gráfico Esfuerzo – Deformación, Mezcla E

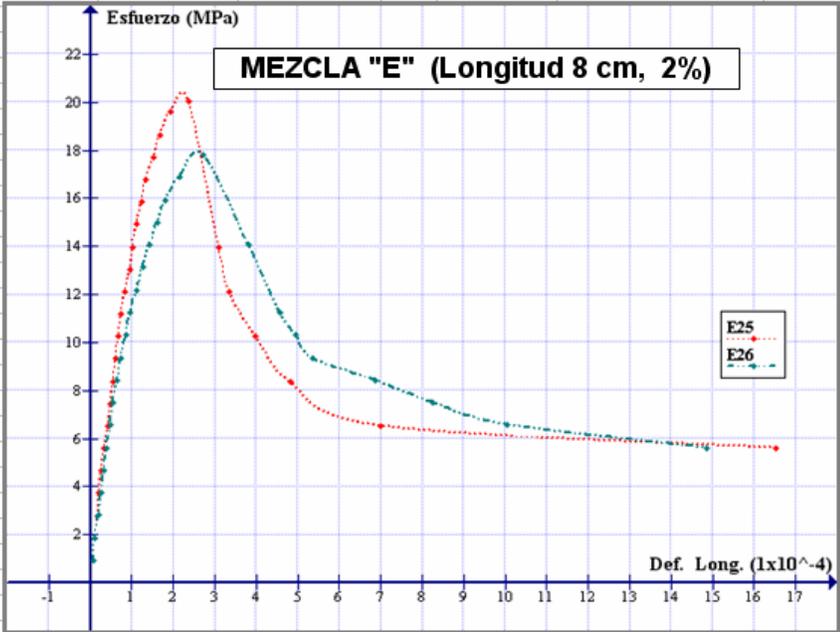


Figura 44. Gráfico Esfuerzo – Deformación, Mezcla F

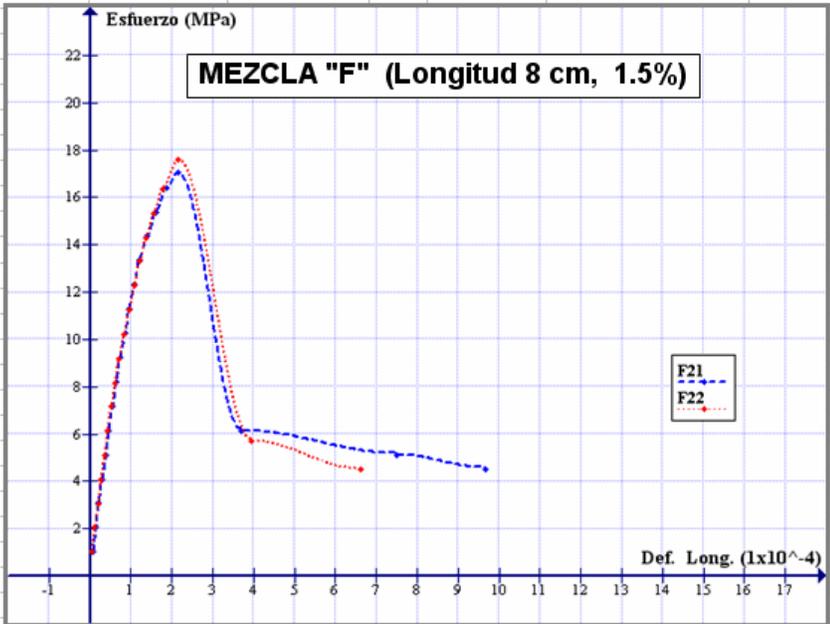
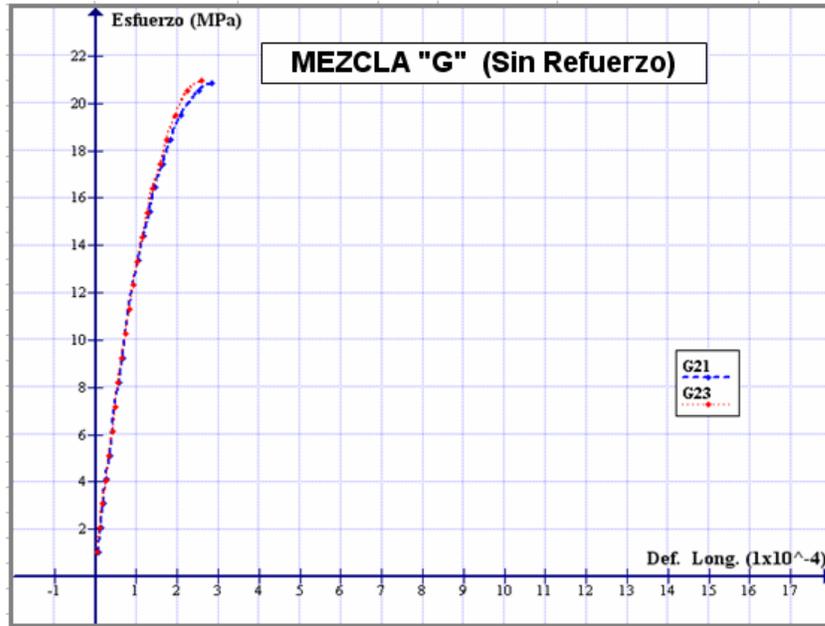


Figura 45. Gráfico Esfuerzo – Deformación, Mezcla G



# GRÁFICOS CARGA – DEFLEXIÓN, RESISTENCIA A FLEXIÓN

Figura 46. Gráfico Carga – Deflexión, Mezcla A

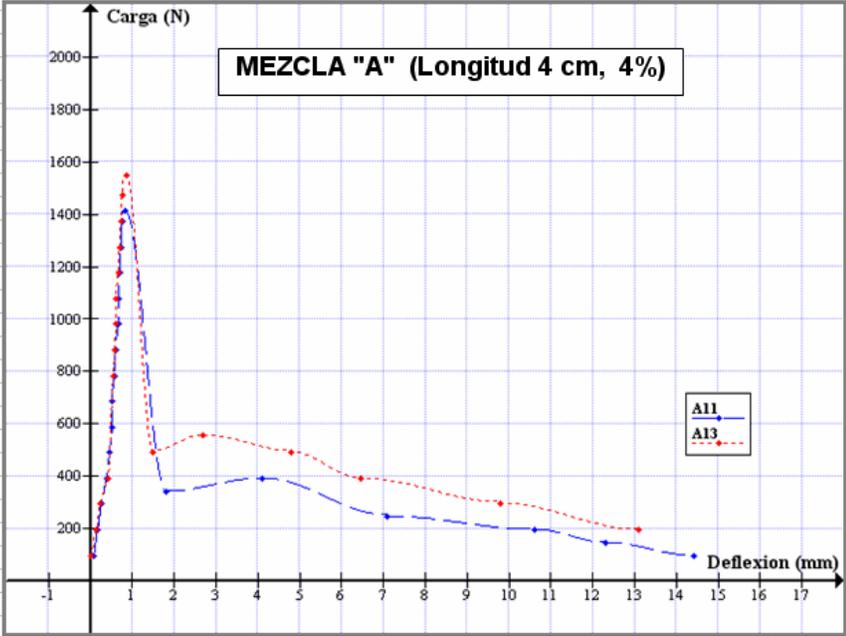


Figura 47. Gráfico Carga – Deflexión, Mezcla B

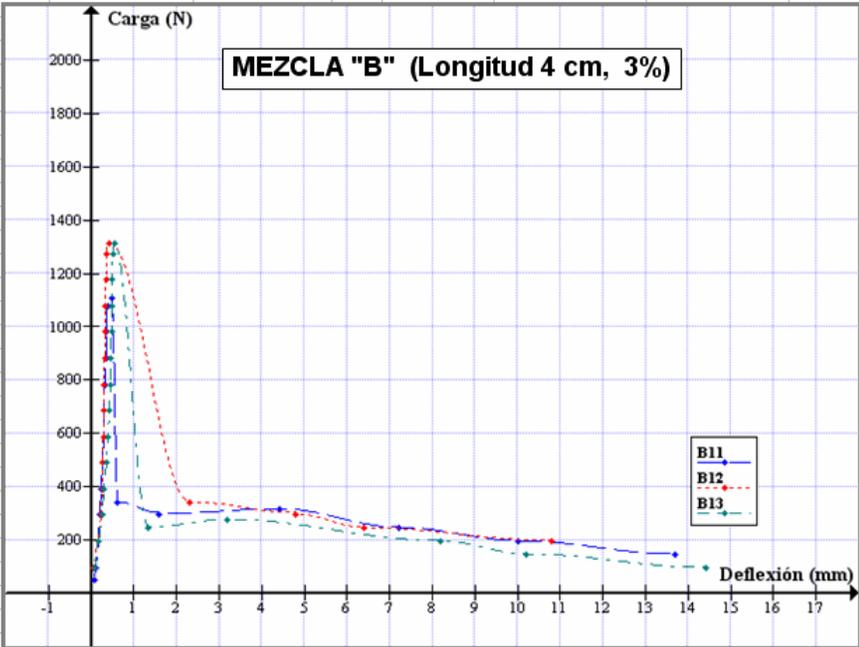


Figura 48. Gráfico Carga – Deflexión, Mezcla C

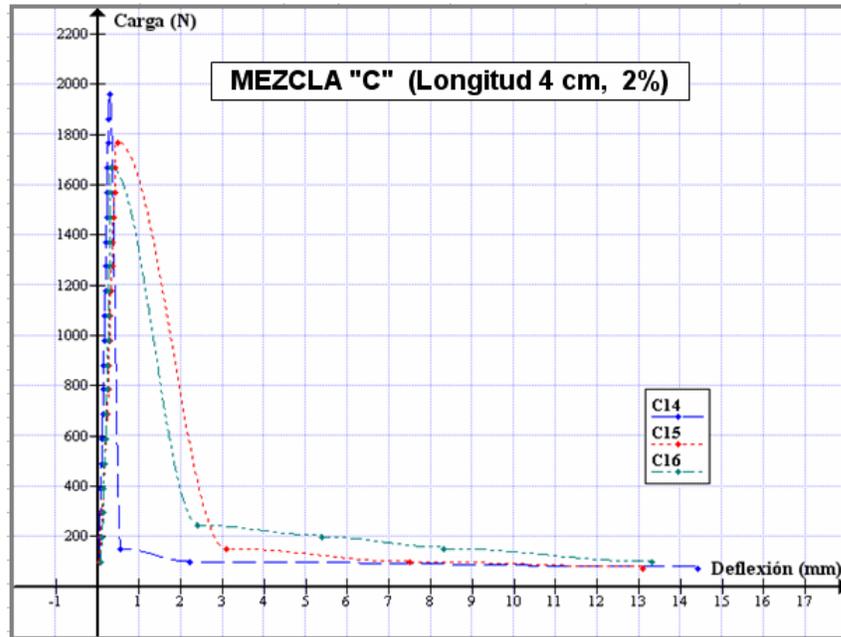


Figura 49. Gráfico Carga – Deflexión, Mezcla D

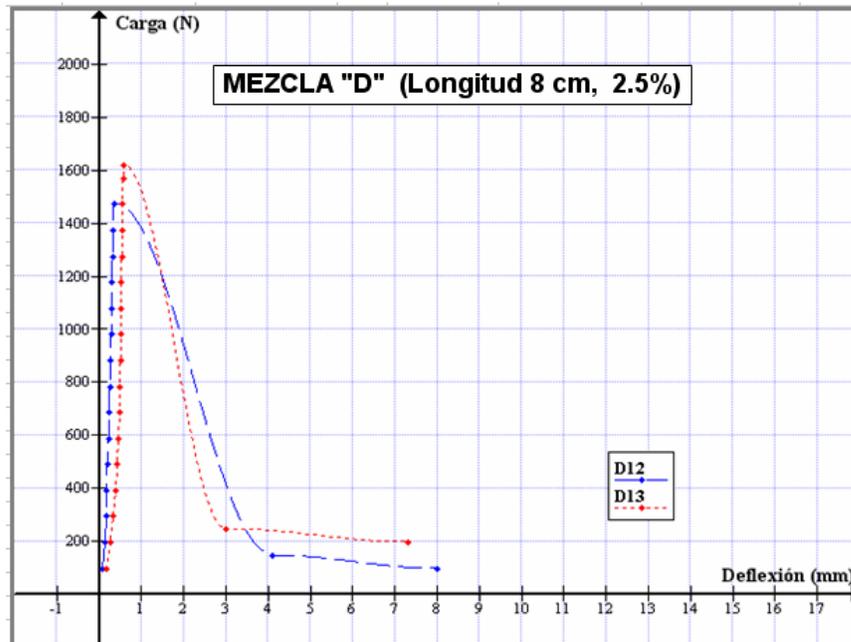


Figura 50. Gráfico Carga – Deflexión, Mezcla E

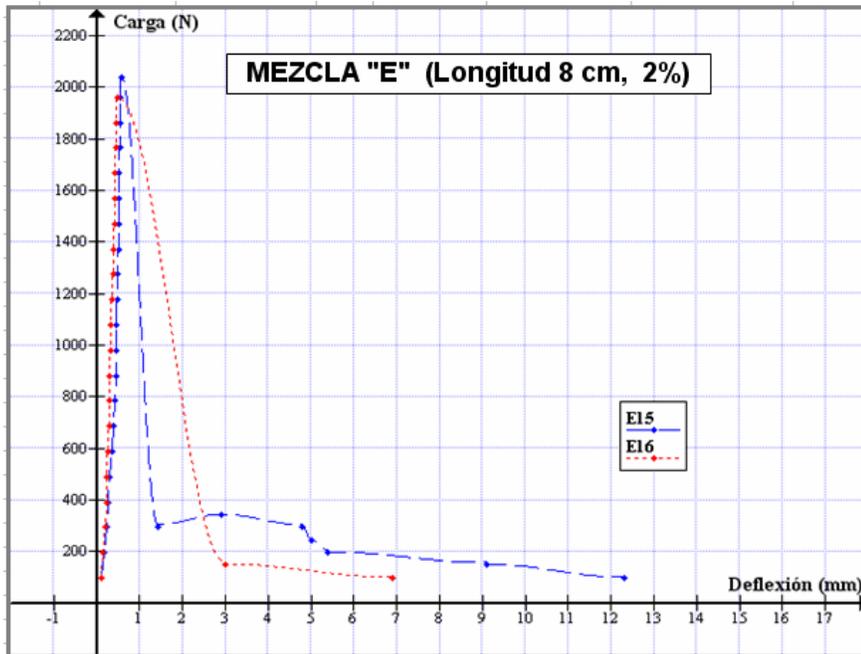


Figura 51. Gráfico Carga – Deflexión, Mezcla F

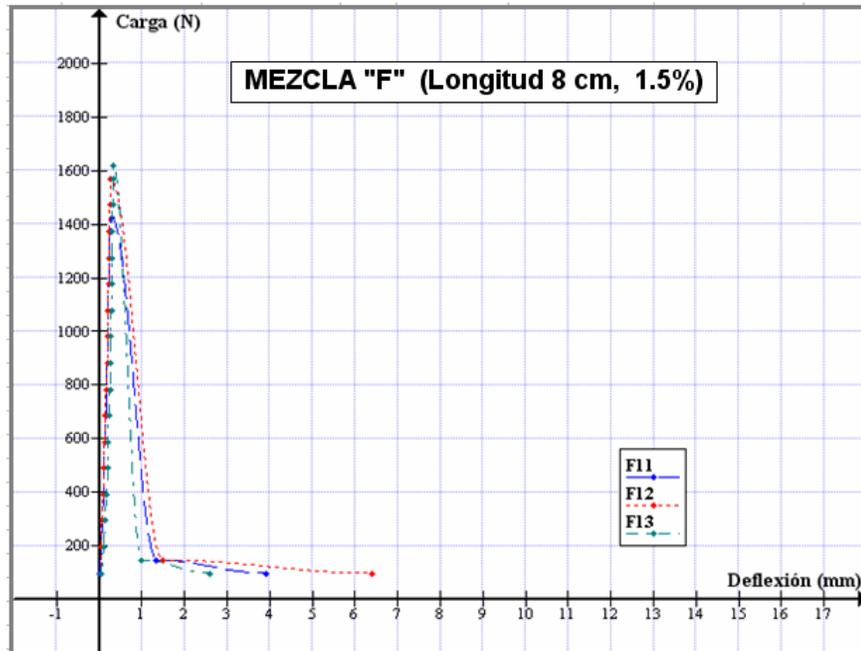
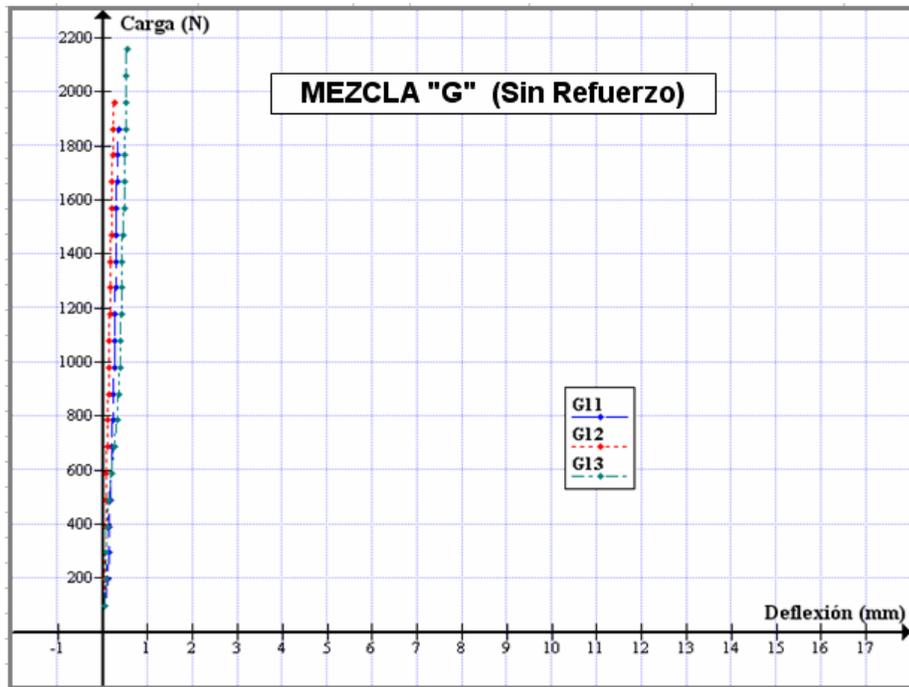


Figura 52. Gráfico Carga – Deflexión, Mezcla G



## GRÁFICOS CARGA – DEFORMACIÓN, RESISTENCIA A TENSIÓN INDIRECTA

Figura 53. Gráfico Carga – Deformación, Mezcla A

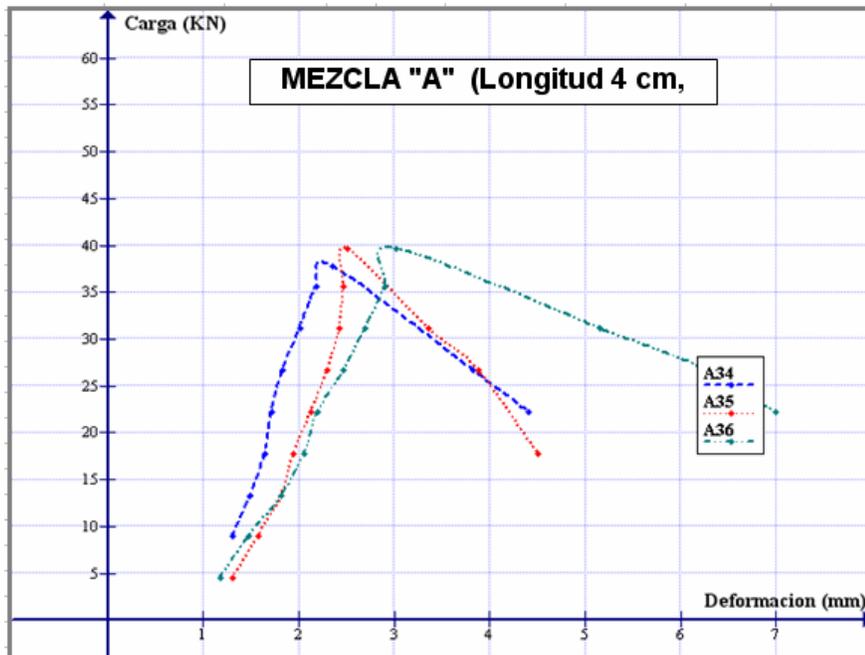


Figura 54. Gráfico Carga – Deformación, Mezcla B

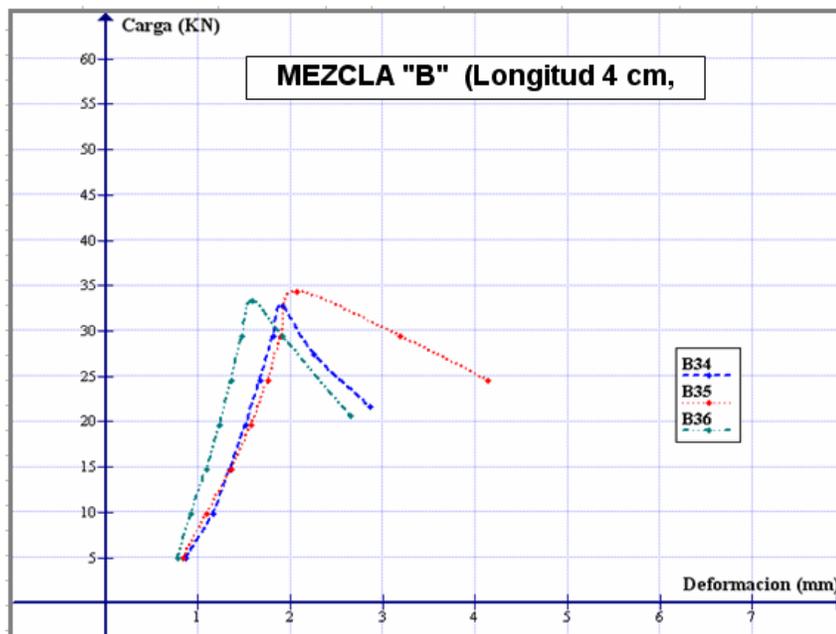


Figura 55. Gráfico Carga – Deformación, Mezcla C

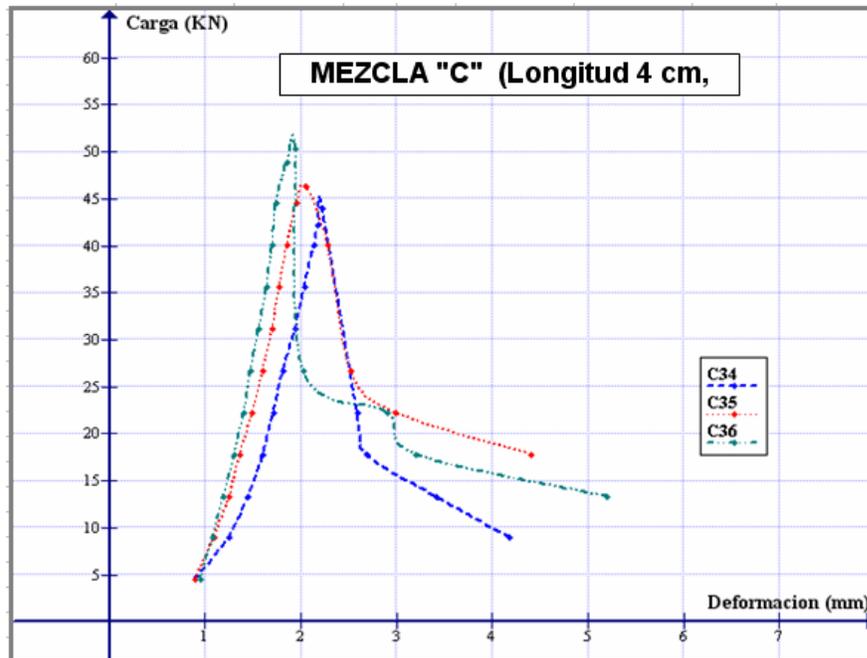


Figura 56. Gráfico Carga – Deformación, Mezcla D

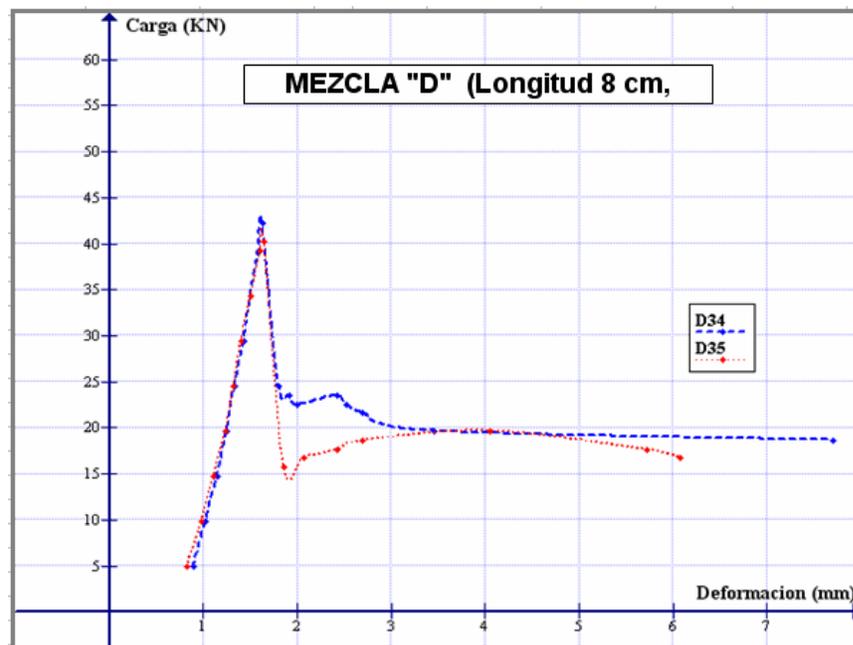


Figura 57. Gráfico Carga – Deformación, Mezcla E

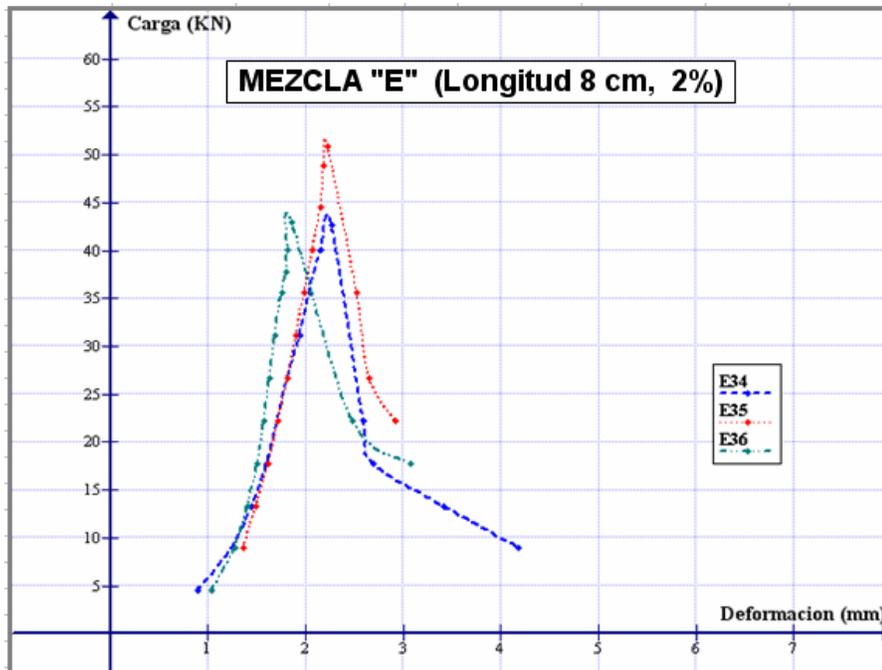


Figura 58. Gráfico Carga – Deformación, Mezcla F

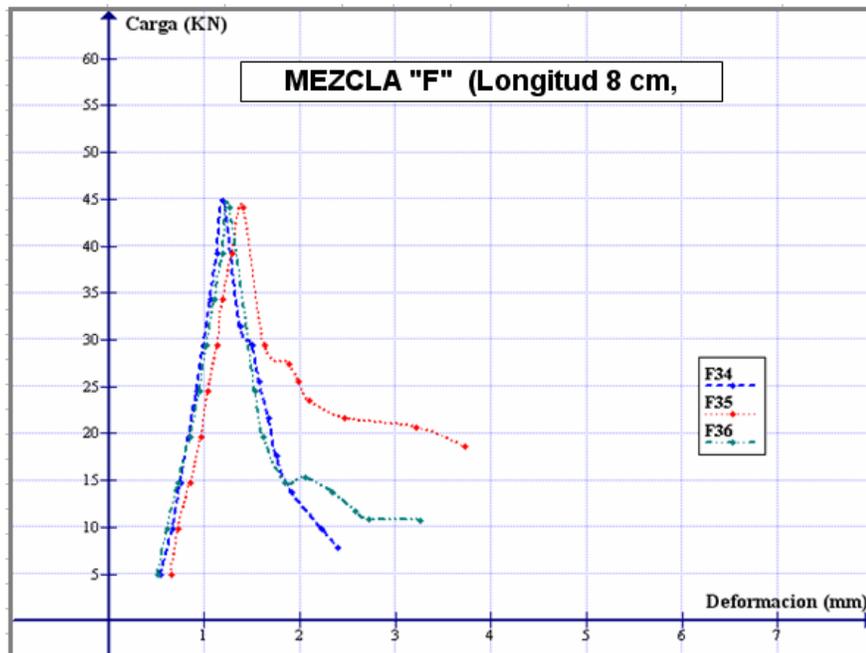


Figura 59. Gráfico Carga – Deformación, Mezcla G

