



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

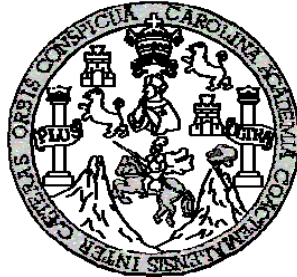
**DISEÑO, EXPERIMENTACIÓN Y EVALUACIÓN DEL  
SISTEMA CONSTRUCTIVO SAM (SISTEMA DE BLOQUES  
FIBRORREFORZADOS CON FIBRA DEL DESECHO DEL  
FRUTO DEL COCO, PARA LA CONSTRUCCIÓN DE  
VIVIENDA)**

**Samuel Alexander Gómez Palacios**  
Asesorado por el Ing. Francisco Javier Quiñónez de la Cruz

Guatemala, mayo de 2009



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**DISEÑO, EXPERIMENTACIÓN Y EVALUACIÓN DEL SISTEMA  
CONSTRUCTIVO SAM (SISTEMA DE BLOQUES FIBRORREFORZADOS  
CON FIBRA DEL DESECHO DEL FRUTO DEL COCO, PARA LA  
CONSTRUCCIÓN DE VIVIENDA)**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A JUNTA DIRECTIVA DE LA

FACULTAD DE INGENIERÍA

POR

**SAMUEL ALEXANDER GÓMEZ PALACIOS**

ASESORADA POR EL ING. JAVIER QUIÑÓNEZ DE LA CRUZ

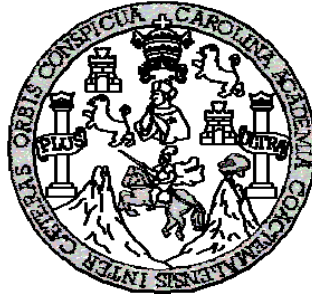
AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

**INGENIERO CIVIL**

GUATEMALA, MAYO DE 2009



**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. Alva Maritza Guerrero de López
VOCAL III	Ing. Miguel Ángel Dávila Calderón
VOCAL IV	Br. José Milton De León Bran
VOCAL V	Br. Isaac Sultán Mejía
SECRETARIA	Inga. Marcia Ivónne Véliz Vargas

**TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO**

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
EXAMINADOR	Ing. Claudio Castañón Contreras
EXAMINADOR	Ing. Nicolás Guzmán Sáenz
EXAMINADOR	Ing. Julio Corado Franco
SECRETARIA	Inga. Marcia Ivónne 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:

### **DISEÑO, EXPERIMENTACIÓN Y EVALUACIÓN DEL SISTEMA CONSTRUCTIVO SAM (SISTEMA DE BLOQUES FIBRORREFORZADOS CON FIBRA DEL DESECHO DEL FRUTO DEL COCO, PARA LA CONSTRUCCIÓN DE VIVIENDA),**

tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Civil, con fecha 24 de julio de 2008.

  
Samuel Alexander Gómez Palacios





UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS  
DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERIA

Guatemala, 22 de abril de 2 009

Ingeniero  
Francisco Javier Quiñónez de la Cruz  
Coordinador Área de Materiales y Construcciones Civiles  
Escuela de Ingeniería Civil  
Facultad de Ingeniería

Señor Coordinador:

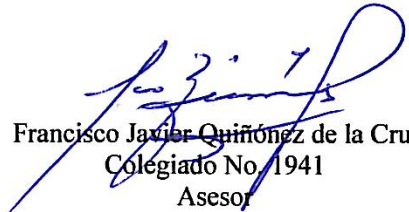
Tengo el agrado de dirigirme a usted para informarle que he revisado el trabajo de graduación **“Diseño, experimentación y evaluación del Sistema Constructivo SAM (Sistema de bloques fibrorreforzados con fibra del desecho del fruto del coco para la construcción de vivienda)”**, realizado por el estudiante universitario **Samuel Alexander Gómez Palacios**, quien contó con la asesoría del suscrito.

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

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

Atentamente,

“ID Y ENSEÑAD A TODOS”

  
Francisco Javier Quiñónez de la Cruz  
Colegiado No. 1941  
Asesor

Cc archivo



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS  
DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERIA

Guatemala, 22 de abril de 2 009

Ingeniero  
Sydney Alexander Samuels Milson  
Director de la Escuela de Ingeniería Civil  
Facultad de Ingeniería

Señor Director:

Tengo el agrado de dirigirme a usted para informarle que he revisado el trabajo de graduación **“Diseño, experimentación y evaluación del Sistema Constructivo SAM (Sistema de bloques fibrorreforzados con fibra del desecho del fruto del coco para la construcción de vivienda)”**, realizado por el estudiante universitario **Samuel Alexander Gómez Palacios**, quien contó con la asesoría del suscrito.

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

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

Atentamente,

“ID Y ENSEÑAD A TODOS”

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



FACULTAD DE INGENIERIA  
AREA DE MATERIALES Y  
CONSTRUCCIONES CIVILES  
USAC

Cc archivo

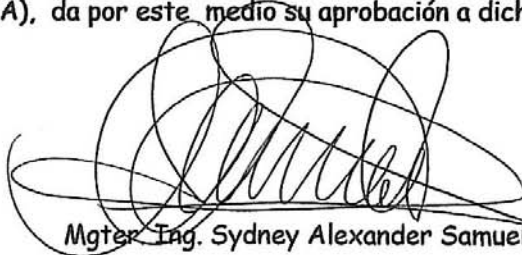


UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS  
DE GUATEMALA



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 Samuel Alexander Gómez Palacios, titulado DISEÑO, EXPERIMENTACIÓN Y EVALUACIÓN DEL SISTEMA CONSTRUCTIVO SAM (SISTEMA DE BLOQUES FIBRORREFORZADOS CON FIBRA DEL DESECHO DEL FRUTO DEL COCO, PARA LA CONSTRUCCIÓN DE VIVIENDA), da por este medio su aprobación a dicho trabajo.

  
Mgter. Ing. Sydney Alexander Samuels Milson



Guatemala, mayo 2009

/bbdeb.



Universidad de San Carlos  
de Guatemala

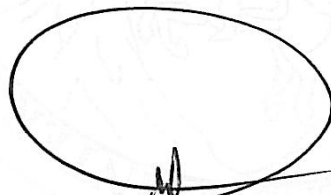


Facultad de Ingeniería  
Decanato

Ref. DTG.132.2009

El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Civil, al trabajo de graduación titulado: **DISEÑO, EXPERIMENTACIÓN Y EVALUACIÓN DEL SISTEMA CONSTRUCTIVO SAM (SISTEMA DE BLOQUES FIBRORREFORZADOS CON FIBRA DEL DESECHO DEL FRUTO DEL COCO, PARA LA CONSTRUCCIÓN DE VIVIENDA,** presentado por el estudiante universitario **Samuel Alexander Gómez Palacios,** autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE.



Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos  
DECANO

Guatemala, mayo de 2009



/gdech





## **DEDICATORIA A:**

- Dios** Por darme la oportunidad de vivir y lograr esta meta.
- Mis padres** *Ángel Gómez Gómez*, por confiar en mí y brindarme todo su apoyo para poder alcanzar este logro.  
*Carmelina Esperanza Palacios de Gómez*, por el amor y el apoyo incondicional que me ha brindado toda mi vida, para alcanzar esta y todas mis metas.
- Mi esposa** *Dora Mariceli Matías de Gómez*. Por el amor, comprensión, paciencia y todo el apoyo brindado, para poder alcanzar este logro.
- Mis hijos** Áyenlo Samuel, Maycol Douglas, por su cariño y paciencia.
- Mis hermanos** Helber Vinicio, Ángel Uriel, María de Ángeles, por su confianza, apoyo y cariño.
- Mi asesor** Ingeniero Javier Quiñónez, porque sin él no hubiera podido lograr mi meta.



## **AGRADECIMIENTOS A:**

<b>Dios Todopoderoso</b>	Por su bendición en todas las cosas que realizo.
<b>Facultad de Ingeniería</b>	Por permitirme culminar mis estudios y realizarme como profesional.
<b>Ing. Mario Corzo</b>	Por el apoyo incondicional, cariño, paciencia, amistad y por compartir conmigo sin egoísmo sus conocimientos en la realización de este trabajo y durante mi carrera.
<b>Ing. Luis Sandoval</b>	Por su amistad, confianza y por ayudarme en el desempeño de mi carrera.
<b>Fabio Sanchez</b>	Por su amistad, consejos y por ayudarme a desarrollar la experimentación de este trabajo de graduación.
<b>A los practicantes</b>	A todos los estudiantes que desarrollaron su práctica supervisada en el área de prefabricados, en el primer y segundo semestre 2008.
<b>Al personal de Carpintería</b>	Don lima, Iván, por su paciencia y ayuda en el desarrollo de la experimentación de este trabajo de graduación.
<b>Mis amigos, en especial</b>	Melvin Gonzales (D.E.P), Marlon Fuentes, Felipe Poz, Rafael Pérez, Selvin Alvarado, Leonel Morales, Jorge Sandoval, Walter Zabala, Luis Villatoro, por el compañerismo y ayuda brindada en el desarrollo de este trabajo de graduación.





1.5.1	Materiales compuestos	8
1.5.2	Características de los materiales compuestos	8
1.5.3	Clasificación de los materiales compuestos	9
1.6	Materiales compuestos reforzados con fibras	9
1.6.1	Componentes del material compuesto fibrorreforzado	9
1.6.1.1	La matriz	10
1.6.1.2	La fibra	10
1.6.1.3	La interface	11
1.6.2	Características de los materiales compuestos reforzados con fibras	11
1.6.2.1	Longitud y diámetro de las fibras	12
1.6.2.2	Cantidad de fibra	12
1.6.2.3	Orientación de las fibras	12
1.6.2.4	Unión y falla	13
1.7	Antecedentes de sistemas de bloques	13
1.7.1	Mampostería no reforzada	14
1.7.2	Mampostería confinada	15
1.7.3	Mampostería reforzada	15
1.8	Antecedentes de las fibras de coco como refuerzo	16
1.9	Características de la fibra de coco	18
1.9.1	Fibra de coco	18
1.9.2	Características	18
1.9.2.1	Ventajas	19
1.9.3	Características físicas y propiedades mecánicas	19
1.9.4	Características químicas	20
1.10	Materias primas	23
1.10.1	Morteros	23
1.10.2	Propiedades de los morteros	23
1.10.2.1	Propiedades en estado plástico	24

1.10.2.2	Propiedades en estado endurecido	24
1.10.3	Componentes del mortero	25
1.10.3.1	El cemento	25
1.10.3.2	Agregados	26
1.10.3.3	Fibra de coco	27
1.10.3.3.1	Sus usos	27
<b>2.</b>	<b>DESARROLLO EXPERIMENTAL</b>	29
2.1	Sistema de bloques utilizado	29
2.1.1	Diseño del sistema	29
2.1.2	Posible comportamiento	34
2.1.3	Especificaciones de armado en sistema	34
2.2	Materiales	35
2.2.1	Cemento	35
2.2.2	Arena	36
2.2.3	Fibra de coco	37
2.2.4	Hierro	38
2.3	Descripción de la mezcla para la elaboración de los bloques	39
2.3.1	Proporción del mortero utilizado	39
2.3.2	Longitud y porcentaje de la fibra utilizado	40
2.3.3	Trabajabilidad de la mezcla	43
2.4	Elaboración de los bloques fibrorreforzados	44
2.4.1	Dimensionamiento según norma técnica colombiana (NTC2446) para bloques y paneles prefabricados	44
2.4.2	Metodología para la elaboración de bloques	44
2.4.2.1	Compra de materiales para la producción de bloques	45
2.4.2.2	Elaboración de moldes para producción de bloques	47

2.4.2.3	Preparación de maquina vibratoria	49
2.4.2.4	Preparación de materiales y equipo para producción de bloques	49
2.4.2.5	Hechura de bloques	50
2.4.2.6	Desencofrado de bloques	52
2.4.3	Curado de los bloques	52
2.5	Armado de sistemas para ensayos	53
2.5.1	Armadura del cimiento	53
2.5.2	Armado de pines y función del cimiento	54
2.5.3	Colocación de bloques	55
2.5.4	Armado y fundición de solera de corona	56
2.6	Ensayos de laboratorio y análisis de resultados	58
2.6.1	Ensayo a compresión	59
2.6.2	Ensayo a carga horizontal	66
2.6.3	Ensayo a flexión	71
2.6.4	Ensayo a impacto	78
2.6.5	Análisis de resultados	83
2.6.5.1	Del ensayo a compresión	83
2.6.5.2	Del ensayo a carga horizontal	86
2.6.5.3	Del ensayo a flexión	88
2.6.5.4	Del ensayo a impacto	90
	<b>CONCLUSIONES</b>	<b>93</b>
	<b>RECOMENDACIONES</b>	<b>97</b>
	<b>BIBLIOGRAFÍA</b>	<b>99</b>
	<b>ANEXOS</b>	<b>103</b>



# ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

## FIGURAS

1	Partes de una unidad de mampostería de concreto	1
2	Área bruta del bloque de concreto	2
3	Área neta del bloque de concreto	3
4	Mampostería no reforzada	14
5	Mampostería confinada	15
6	Mampostería reforzada	16
7	Planta de bloque	30
8	Elevación de bloque	30
9	Perfil de bloque	31
10	Detalle de macho y hembra	31
11	Isométrico de panel	32
12	Corte típico de panel	32
13	Detalle de cimientto	32
14	Armado en cimientto	32
15	Detalle de solera de corona	32
16	Armado en solera de corona	32
17	Detalle de cimientto con block U	33
18	Detalle en L	33
19	Detalle en T	33
20	Detalle en cruz	33
21	Obtención de la estopa de coco en la Terminal	37
22	Secado de estopa	37
23	Molina de martillos	38
24	Fibra de coco	38

25	Mezclado de materiales	41
26	Fibra sumergida en agua	41
27	Fibra distribuida en mezcla	42
28	Mezclado de los materiales	42
29	Máquina vibratoria, perspectiva 1	43
30	Máquina vibratoria, perspectiva 2	43
31	Macho clavado de forma trapezoidal	47
32	Corte de hembra de forma trapezoidal	47
33	Barrenado de agujeros	48
34	Piezas perforadas	48
35	Corte de muesca de junta	48
36	Armado de moldes	48
37	Pintado de moldes	49
38	Moldes terminados	49
39	Fijación de moldes	50
40	Aplicación de desencofrante	50
41	Mezclado de materiales en seco	51
42	Mezclado de materiales con agua	51
43	Adición de fibra a mezcla	51
44	Homogenización de la mezcla	51
45	Llenado de moldes	52
46	Razado de moldes	52
47	Curado de bloques fibrorreforzados	53
48	Almacenamiento de bloques fibrorreforzados	53
49	Cortado de varillas	54
50	Armadura de cimiento	54
51	Doblado de refuerzo vertical	54
52	Fundición de cimiento	54
53	Levantamiento de bloques a mano	55

54	Levantamiento de bloques con polipasto	55
55	Mortero de pega en bloques	56
56	Llenado y apisonado de agujeros	56
57	Armado de solera de corona	56
58	Fundición de solera de corona	56
59	Paneles para carga a compresión	57
60	Paneles para carga a flexión	57
61	Paneles para carga a impacto	57
62	Paneles para carga horizontal	57
63	Colocación y centrado de panel en marco de carga	60
64	Aplicación de carga a panel	60
65	Lecturas de deformaciones en panel 1	61
66	Lecturas de deformaciones en panel 2	61
67	Registro de datos y anotaciones de ensayo a compresión de panel 1	61
68	Gráfica carga-deformación del material fibrorreforzado, ensayo a compresión de panel 1	62
69	Registro de datos y anotaciones de ensayo a compresión de panel 2	62
70	Gráfica carga-deformación del material fibrorreforzado, ensayo a compresión de panel 2	63
71	Aplicación de carga a bloque	64
72	Colocación de deformómetros	64
73	Lectura de deformación 1 en bloque	64
74	Lectura de deformación 2 y 3 en bloque	64
75	Registro de datos y anotaciones de ensayo a compresión del bloque fibrorreforzado	65
76	Gráfica carga-deformación del bloque fibrorreforzado, deformómetro 2	66

77	Gráfica carga-deformación del bloque fibrorreforzado, deformómetro 3	66
78	Muro de paneles de bloques fibrorreforzados para ensayo a carga horizontal	68
79	Armado en sitio de aparato para ensayo a carga horizontal	68
80	Aplicación de carga a muro	69
81	Ensayo a carga horizontal	69
82	Registro de datos y anotaciones de ensayo del muro de paneles a carga horizontal	69
83	Gráfica carga-desplazamiento horizontal de muro, deformómetro 1	70
84	Gráfica carga-desplazamiento horizontal de muro, deformómetro 2	70
85	Gráfica carga-desplazamiento horizontal de muro, deformómetro 3	70
86	Configuración de ensayo a flexión	71
87	Configuración de ensayo a impacto	71
88	Aparato de ensayo de flexión e impacto para paneles	72
89	Soporte y barras de acero soldados	73
90	Lijado de soportes	73
91	Armado y soldado de aparato de ensayo	73
92	Pintado de aparato de ensayo	73
93	Panel colocado en aparato de ensayo a flexión	73
94	Panel colocado en aparato de ensayo a impacto	73
95	Panel de bloques fibrorreforzados para ensayo a flexión	75
96	Identificación de ensayo a flexión, sistema constructivo SAM	75
97	Aplicación de carga distribuida a panel	76
98	Panel deflectado	76

99	Registro de datos y anotaciones de ensayo de panel 1 a carga distribuida	76
100	Gráfica carga-deflexión de panel 1, ensayo de flexión	77
101	Registro de datos y anotaciones de ensayo de panel 2 a carga distribuida	77
102	Gráfica carga-deflexión de panel 2, ensayo de flexión	78
103	Deformómetro de impacto	80
104	Ubicación de equipo de ensayo a impacto	80
105	Toma de datos de ensayo a impacto	80
106	Prueba de impacto a panel de bloques fibrorreforzados	80
107	Soltura de bolsa de impacto	81
108	Panel de bloques fibrorreforzados deflectado	81
109	Registro de datos y anotaciones de ensayo de panel 1, a fuerza de impacto	81
110	Gráfica fuerza de impacto-deflexión de panel 1	82
111	Registro de datos y anotaciones de ensayo de panel 2, a fuerza de impacto	82
112	Gráfica fuerza de impacto-deflexión de panel 2	83
113	Panel deflectado1, ensayo a compresión	84
114	Panel deflectado 2, ensayo a compresión	84
115	Grietas verticales en panel 1, ensayo a compresión	85
116	Grietas verticales en panel 2, ensayo a compresión	85
117	Desmantelamiento de panel, ensayo a compresión	85
118	Refuerzo vertical en panel, ensayo a compresión	85
119	Acomodamiento de juntas en muro a carga horizontal	87
120	Falla a corte en bloque de muro a carga horizontal	87
121	Falla de corte en solera, muro de carga horizontal	87
122	Desprendimiento de bloques en cimiento de muro a carga horizontal	87

123	Desmantelamiento de muro, carga horizontal	88
124	Desmantelamiento de muro a carga horizontal 2	88
125	Primer falla, panel a carga de flexión	89
126	Falla en junta central, panel a carga de flexión	89
127	Fallas de carga última, panel a carga de flexión	90
128	Panel estable después de ensayo, panel a carga de flexión	90
129	Altura de caída de bolsa, panel a carga de impacto	91
130	Golpe de impacto, panel a carga de impacto	91
131	Fallas en junta central, panel a carga de impacto	91
132	Panel estable después de ensayo, panel a carga de impacto	91
133	Bomba hidráulica ENERPAC P-462 con accesorios y mangueras hidráulicas	105
134	Polea ASTM y herramienta	105
135	Equipo y herramienta de ensayo	106
136	Jefes de sección y auxiliares de laboratorio, CII, USAC	106

## TABLAS

I	Principales características físico-mecánicas de la fibra de coco	19
II	Principales características químicas de la fibra de coco	22
III	Medidas de fabricación de acero de refuerzo	39
IV	Cantidad de materiales para cada mezcla	40
V	Resultados de ensayo a compresión de paneles fibrorreforzados	84
VI	Resultados de esfuerzo de bloque y panel	86
VII	Resultados de ensaya a flexión de paneles fibrorreforzados	88
VIII	Equipo de ensayos	103
IX	Herramienta	104
X	Formato de registro de datos	107





## LISTA DE SÍMBOLOS

db	Diámetro de varilla
As.	Área de acero de refuerzo
Ag.	Área gruesa
mm	Milímetros
cm.	Centímetro
cm <sup>2</sup> .	Centímetro cuadrado
m	Metro
m <sup>2</sup>	Metro cuadrado
m <sup>3</sup>	Metro cúbico
pie <sup>3</sup>	Pie cubico
Pulg.	Pulgada
H	Altura
L	Longitud
Kgf	Kilogramo fuerza
Lb	Libra
N	Newton
A.F	Agregado fino
A/C	Relación agua-cemento
%	Porcentaje
Cant.	Cantidad
ml	Mililitros
lt	Litros
E	Módulo de elasticidad
S	Esfuerzo a compresión
Fig.	Figura
F	Carga
A	Área de sección
AG	Aceros de Guatemala
UGC	Uso general en la construcción



## GLOSARIO

<b>Bloque</b>	Es un componente para uso estructural de forma prismática, que se obtiene por moldeo del concreto o de otros materiales, puede ser macizo o hueco.
<b>Panel</b>	Elemento prefabricado que se utiliza para construir divisiones verticales en el interior o exterior de las viviendas y otras edificaciones.
<b>Muro</b>	Muro es una obra de albañilería que puede estar formado por diversos materiales, como lo son bloques de concreto, ladrillos, adobe, entre otros, y que son unidos mediante morteros de cal, cemento o yeso.
<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 y por una fase reforzante constituida por las fibras.
<b>Interfase</b>	Es la forma de interacción entre la matriz y la fibra.
<b>Aglomerante Matriz</b>	Material que sirve para unir dos o más elementos, en este caso es el cemento, el cual une los agregados. 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>Glucosa</b>	Azúcar monosacárido que se encuentra en la miel y en el jugo de numerosas frutas.
<b>Lignina</b>	Grupo de compuestos químicos que se encuentran en las plantas, las plantas que contienen gran cantidad de lignina se les denomina leñosas.
<b>Mortero</b>	Es la mezcla de un aglomerante con agregados finos y agua.
<b>Resistencia</b>	Fuerza que se opone al rompimiento de tracción y que también se puede definir como fuerza por unidad de sección que resiste un cuerpo antes de romperse.
<b>Elasticidad</b>	Propiedad de un material que le hace recuperar su tamaño y forma original después de ser comprimido o estirado por una fuerza externa.
<b>Ductilidad</b>	Capacidad de los materiales para resistir grandes deformaciones mecánicas sin llegar a romperse.
<b>Esfuerzo</b>	Es la fuerza aplicada por unidad de área, que soporta el material.

## RESUMEN

El presente trabajo de graduación contiene la información del Sistema Constructivo SAM, formulado a base de paneles de bloques y adaptado al sistema de mampostería reforzado. Las unidades de mampostería o sea los bloques están hechos con una matriz de mortero cementicio reforzados con fibra natural extraída del desecho del fruto del coco.

Este trabajo es el resultado de la investigación bibliográfica, experimentación y evaluación del sistema constructivo para viviendas tradicionales "SAM", realizado en la sección de Eco-Materiales del Centro de Investigaciones de Ingeniería. El mismo consta de dos capítulos, el primero describe la investigación bibliográfica de los bloques con las matrices fibrorreforzadas, los sistemas de mampostería utilizados en nuestro país y las materias primas utilizadas para la producción de los bloques. El segundo capítulo se describe el diseño del sistema constructivo, la experimentación con la matriz y los bloques, la producción de bloques, la construcción y ensayos para evaluación de los paneles de bloques a cargas de compresión, carga horizontal, carga a flexión y carga de impacto. En este capítulo también se describe la construcción de una máquina para ensayos de paneles a cargas de flexión e impacto, construida en el área de prefabricados del Centro de Investigaciones de Ingeniería.

Este nuevo sistema constructivo se llevó a cabo tomando las especificaciones de la norma NTC2446 para paneles prefabricados del Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificaciones y de las normas ASTM E72-05 (Conducting Strength Test of Panels for Building Construction), ASTM E695-03 (Measuring Relative Resistance of Wall, Floor, and Roof Construction to

Impact Loading) de la American Standard for Testing and Materials (por sus siglas en inglés).

## **OBJETIVOS**

### **GENERAL:**

- Diseñar, experimentar, elaborar y caracterizar el sistema constructivo para vivienda SAM, formado por bloques de mortero de cemento fibrorreforzado con fibra extraída del desecho del fruto del coco.

### **ESPECÍFICOS:**

1. Realización de experimentos preliminares para la familiarización con el sistema y los materiales a utilizar
2. Diseño de un sistema que reúna las condiciones de estabilidad y seguridad involucrando bloques que contengan una fibra natural para el mejoramiento de las propiedades mecánicas.
3. A través de ensayos de laboratorio, conocer las mejoras que puedan proporcionar la fibra al bloque en el sistema constructivo para vivienda tradicional.
4. Obtener un sistema a base de experimentación y basados a normas y/o códigos estandarizados internacionalmente.
5. Construir paneles de bloques en el laboratorio para su caracterización





## INTRODUCCIÓN

La gran mayoría de la población en Guatemala es de escasos recursos económicos, no cuentan con una vivienda digna, por eso es la búsqueda constante de materiales alternos y métodos constructivos que sean económicos y que estén al alcance de las comunidades para beneficio propio. La utilización de los materiales más comunes para la construcción, es lo que hace elevado el costo de una vivienda.

En nuestro país no se han desarrollado investigaciones sistemáticas, ni estudios de factibilidad que permitan considerar las posibilidades de importación de fibras para aplicaciones en construcciones de viviendas.

Numerosas investigaciones acerca de la fibra extraída del desecho del fruto del coco, a través de experimentaciones y ensayos de laboratorio han concluido que las propiedades físicas y mecánicas mejoran la calidad de un elemento para la construcción.

Este trabajo de graduación requirió de la utilización de dicha fibra, que al adicionarla al azar en un mortero de peso ligero se pudo elaborar un material fibrorreforzado, que a través de experimentaciones se obtuvieron bloques, los cuales se incorporaron a un sistema de mampostería reforzada con el propósito de brindar seguridad estructural y de contar con un método constructivo diferente cuya característica principal fue: materiales de bajo costo y mano de obra no calificada y a la vez evaluarlos y caracterizarlos como paneles de bloques fibrorreforzados a través de ensayos de laboratorio atendiendo los requerimientos de las normas estandarizadas internacionalmente.



# 1. BLOQUES

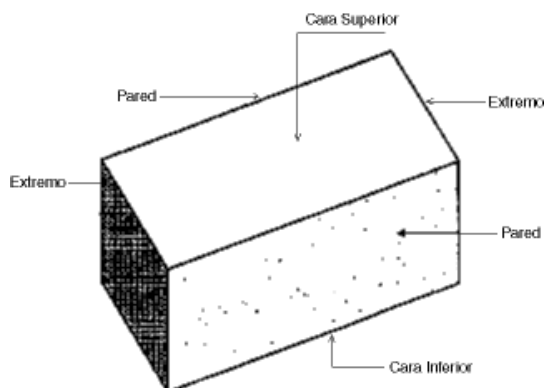
## 1.1 Definición

Es un componente para uso estructural de forma prismática, que se obtiene por moldeo del concreto o de otros materiales, puede ser macizo o hueco. [1] El bloque o unidad de mampostería de perforación vertical, es un elemento prefabricado, de concreto, con forma de prisma recto y con una o más perforaciones verticales que superan el 25% de su área bruta. Se utiliza para elaborar mamposterías -por lo general muros-, y es responsable, en muy buena medida, de las características mecánicas y estéticas de dichas mamposterías.

## 1.2 Partes de un bloque

A cada parte del bloque se le ha dado un nombre para propósitos de normalización y escritura de textos académicos, (Figuras 1). Sin embargo, dichos nombres pueden diferir según el léxico que se utilice en cada lugar para la construcción.

**Figura 1.** Partes de una unidad de mampostería de concreto



### 1.3 Utilización

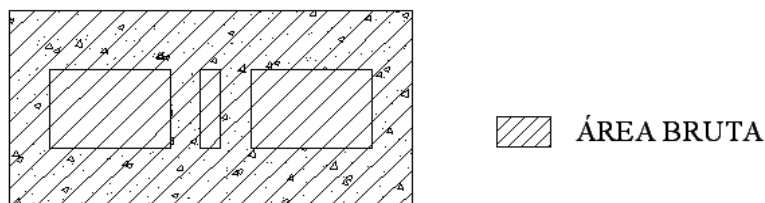
El bloque es la unidad por excelencia para la construcción de mamposterías estructurales, debido a la posibilidad de reforzar el muro en ambos sentidos de su plano, colocando barras en las celdas que conforman las perforaciones, alambres en sus juntas o barras en vigas horizontales generadas con bloques de tabiques recortados. [2]

### 1.4 Bloques de concreto

El bloque de concreto es una unidad de mampostería, por lo general con uno o varios huecos, aunque también disponible en forma sólida, que se fabrica con los siguientes ingredientes: agua, Cemento Pórtland, cementos mezclados y diversos tipos de agregados, como lo son, arena, grava, piedra triturada, cenizas volcánicas, pómez, diferentes tipos de cuentas de plástico y escorias.

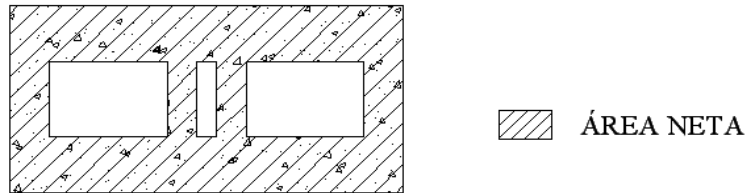
*Área Bruta:* es la superficie normal al eje del o de los huecos, sin descontar la superficie del o de los huecos, normal a su eje; es decir, es el producto del largo por el ancho del bloque.

**Figura 2.** Área bruta del bloque de concreto



*Área neta:* es la superficie normal al eje del o de los huecos, descontando la superficie del o de los huecos normal a su eje.

**Figura 3.** Área neta del bloque de concreto



#### 1.4.1 Clasificación y designación

##### 1.4.1.1 Clasificación en tipos, según la masa del hormigón del bloque

En cuanto a la masa del hormigón de los bloques, se clasificarán en tres tipos, de la siguiente manera:

- *Tipo pesado:* son los bloques que completamente secos a la estufa, poseen una masa mínima de  $2000 \text{ kg/m}^3$  ( $125 \text{ lb/pe}^3$ ).
- *Tipo medio:* son los bloques que completamente secos poseen una masa igual o mayor de  $1680 \text{ kg/m}^3$  ( $105 \text{ lb/pe}^3$ ) pero menor de  $2000 \text{ kg/m}^3$  ( $125 \text{ lb/pe}^3$ ).
- *Tipo liviano:* son los bloques que completamente secos poseen una masa menor de  $1680 \text{ kg/m}^3$  ( $105 \text{ lb/pe}^3$ ).

#### 1.4.1.2 Clasificación en clases, según la capacidad de los bloques de soportar carga

Los bloques de hormigón, según su capacidad de soportar carga se clasifican en dos clases:

- **Clase A:** bloques huecos para soportar carga; utilizados en muros sujetos a cargas de compresión que deben transmitirse hacia el cimiento.
- **Clase B:** bloques huecos para no soportar carga; destinados para ser utilizados como muro divisorio.

#### 1.4.1.3 Clasificación en grados

Los bloques se clasifican en dos grados:

- **Grado 1:** bloques huecos destinados para usos generales tales como paredes exteriores por debajo o sobre el nivel del suelo, expuestos o no a la penetración de la humedad y en general a las condiciones del tiempo. Pueden también emplearse para paredes interiores y para muros de retención.
- **Grado 2:** bloques huecos destinados para usos limitados tales como paredes exteriores revestidas de una cubierta protectora contra las inclemencias del tiempo. Su uso está limitado a paredes construidas sobre el nivel del suelo.

#### **1.4.1.4 Designación**

Los bloques huecos de hormigón se designarán por su nombre, seguido del tipo, clase y grado. Ejemplo:

Bloque hueco de hormigón tipo pesado, clase A, grado 1: este bloque tiene una masa seca de hormigón mayor de 2000 kg/m<sup>3</sup>, es destinado a soportar carga y a usos generales.

#### **1.4.1.5 Especificaciones de uso de bloques de concreto**

- El tipo de bloque de concreto y el del mortero deben satisfacer los requisitos determinados por la altura, las condiciones estructurales, las cargas y el uso final del diseño, según normas.
- Los bloques de concreto deben colocarse siempre sobre lecho completo de mortero.
- Debe verificarse que se instalen todas las formas especiales para esquinas, marcos de aberturas, dinteles, etc.
- Se deben instalar, tanto uniones de dilatación como uniones de construcción. Las uniones de control disminuyen los esfuerzos en el interior de los muros de bloques de concreto, y por tanto permiten que haya movimiento sin agrietamiento de la mampostería.
- Las hiladas en el sentido vertical deben planearse correctamente para los cierres superiores de ventanas, puertas y dinteles; el tendido de

hiladas debe verificarse también por alturas de los cielos, alturas de piso a piso y apoyo estructural.

- El bloque de concreto debe recibirse en obra seco y curado.
- Cuando se vaya a usar bloque de concreto para muros exteriores, debe determinarse el tipo de tratamiento que se necesite para hacerlo impermeable.

#### **1.4.1.6 Factores que afectan la resistencia de los bloques de concreto**

- Relación agua-cemento
- Peso de las unidades
- Tipo de agregado
- Proceso de fraguado

#### **1.4.1.7 Bloques de concreto ligero**

Este tipo de bloque reduce el costo de la construcción, además añade valores de resistencia considerablemente mayores al muro, así como un amortiguamiento acústico mayor. Estos bloques se pueden usar para construcción a prueba de incendios y muros divisorios: sus valores aislantes pueden aumentarse aún más al insertar almohadillas aislantes previamente preparadas en los huecos. (3)



## **1.5 Bloques fibrorreforzados**

Los hormigones y morteros sufren durante los procesos iniciales de hidratación y secado, tensiones muy superiores a sus límites de resistencia, originándose como consecuencia, retracciones, agrietamiento y figuraciones en sus superficies las que afectan el comportamiento de los elementos estructurales. Para la atenuación de estos problemas se han empleado desde la antigüedad distintos tipos de fibras, naturales o artificiales, con el fin de reforzar los morteros y hormigones. (4)

Los materiales cementicios, morteros y concretos presentan ventajas en cuanto a 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 más propiedades tales como la resistencia a la tracción, flexión, impacto o fatiga y una mejor relación resistencia - peso. Las contribuciones más 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. (5, 6)

### **1.5.1 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. (5)

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. (7)

### **1.5.2 Características de los materiales compuestos**

Los materiales compuestos se constituyen de una o más fases discontinuas sumergidas en una fase continua. La fase continua es por lo general, más dura y fuerte que la fase discontinua 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.

### **1.5.3 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. (5, 6)

## **1.6 Materiales compuestos reforzados con fibras**

### **1.6.1 Componentes del material compuestos fibrorreforzado**

Los componentes del material compuesto fibrorreforzado son:

- La matriz
- La fibra
- La interfase

#### **1.6.1.1 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.

#### **1.6.1.2 La fibra**

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 la fibras de coco, son extraídas de la semilla del mismo, aunque hay indicios que pueden utilizarse también las fibras del tallo y las hojas.

### **1.6.1.3 La interface**

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

### **1.6.2 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.

#### **1.6.2.1 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  $250\ \mu\text{m}$  ( $250 \times 10^{-4}\ \text{cm}$ ).

#### **1.6.2.2 Cantidad de fibra**

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

#### **1.6.2.3 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°, 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.

#### **1.6.2.4 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. (8)

### **1.7 Antecedentes de sistemas de bloques**

Las viviendas pueden clasificarse en tres tipos de mampostería dependiendo del sistema constructivo de los muros de soportes principales.

La mampostería es la unión de bloques o unidades con mortero para conformar sistemas monolíticos tipo muro, que pueden resistir acciones producidas por las cargas de gravedad o las acciones de sismo o viento. (3) También se entiende como la elaboración de estructuras mediante la disposición ordenada de unidades de mampostería, cuyas dimensiones son pequeñas comparadas con las del elemento que se va a construir (muro,

bóveda, etc.), y cuyo peso y tamaño depende del sistema de manejo que se vaya a emplear (manual, equipo mecánico, equipo motorizado, etc.).

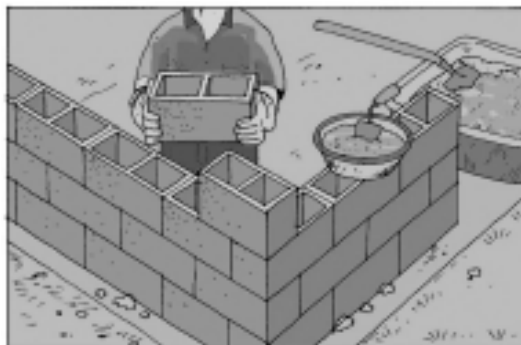
Según el tipo de junta, la mampostería puede ser: al tope cuando no tiene ningún elemento de unión en las juntas entre las unidades; y pegada, cuando existe una capa de mortero en las superficies o puntos de contacto entre las unidades, o sea en las juntas.

Desde el punto de vista estructural, la mampostería puede ser: estructural, cuando los muros que conforma deben soportar tanto su propio peso como las cargas horizontales y verticales actuantes sobre sus planos; y no estructural, cuando los muros deben soportar tan solo su propio peso y servir como división (partición) entre dos espacios. La mampostería estructural también sirve como divisoria. (2)

### 1.7.1 Mampostería no reforzada

La mampostería no reforzada es la construcción que utiliza unidades de mampostería en la cual no se considera ningún tipo de refuerzo interno o externo de confinamiento.

**Figura 4.** Mampostería no reforzada

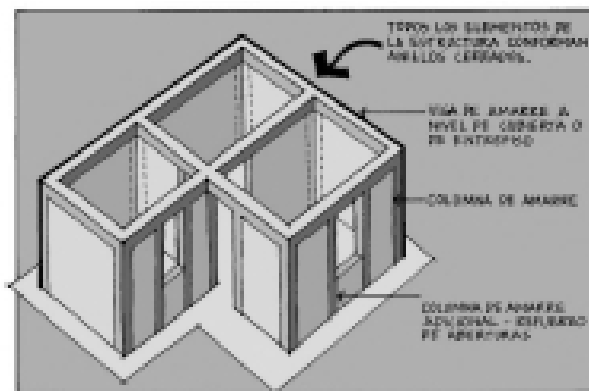




### 1.7.2 Mampostería confinada

El método de construcción de muros de mampostería confinados se basa en la colocación de unidades de mampostería conformando un muro que luego se confina con vigas y columnas de concreto reforzado vaciado en sitio.

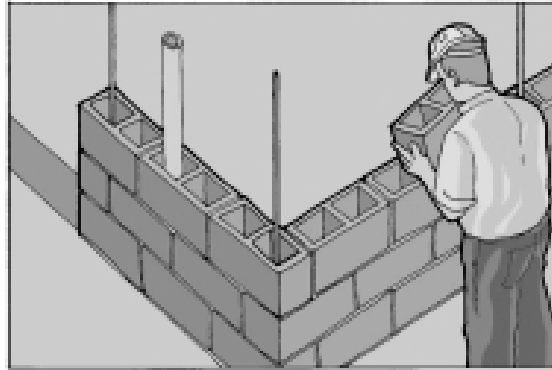
**Figura 5.** Mampostería confinada



### 1.7.3 Mampostería reforzada

El sistema de mampostería reforzada se fundamenta en la construcción de muros con piezas de mampostería de perforación vertical (de arcilla o de concreto) unidas por medio de mortero, reforzados internamente con barras y/o alambres de acero. Este sistema permite la inyección de todas sus celdas verticales que llevan refuerzo. El refuerzo se distribuye dependiendo de la demanda impuesta al muro en cuanto a las cargas externas. (9)

**Figura 6.** Mampostería reforzada



### **1.8 Antecedentes de las fibras de coco como refuerzo**

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 construidos 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 las 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. (5,6)

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. (10)

## **1.9 Características de la fibra de coco.**

### **1.9.1 Fibra de coco**

Es una fibra multicelular que tiene como principales componentes la celulosa y el leño lo que la convierte en una fibra con buena rigidez y dureza, es resistente al ataque de bacterias y al agua, esta se obtiene de la estopa del coco.

### **1.9.2 Características**

La cáscara del fruto del coco también llamada estopa o bonote da una fibra muy importante que puede ser utilizada tanto en la industria como en la construcción. Es una fibra multicelular con un alto grado de rigidez y dureza debido a sus dos componentes, la celulosa y el leño; entre sus principales características se pueden mencionar las siguientes: la baja conductividad al calor, la resistencia al impacto, a las bacterias y al agua, también la durabilidad y resiliencia hacen de la fibra de coco el material indicado para trabajos de aislamiento térmico y acústico. Cada coco puede generar 125 gramos de fibras

y con la extracción de esas fibras de la cáscara, se producen además unos 250 gramos de polvo de coco.

### 1.9.2.1 Ventajas

- No electroestática
- Inodora  
Resistente a la humedad
- No atacable por roedores o termitas
- Libre de patógenos y semillas viables.
- Imputrescible, no produce hongos
- Reducción de los ruidos de percusión
- Reducción de ruidos aéreos.

### 1.9.3 Características físicas y propiedades mecánicas

Las principales características físico-mecánicas de la fibra de coco son las siguientes:

**Tabla I.** Principales características físico-mecánicas de la fibra de coco (9)

PARÁMETRO	UNIDAD	VALOR
Masa específica real	Kg/m <sup>3</sup>	1,177
Absorción máxima	%	93.8
Ruptura por elongamiento	%	23.9 a 51.4
Resistencia a la tracción	Mpa	95 a 118
Modulo de elasticidad	Gpa	2.8

Entre otras características físicas se tienen:

- Longitud del bonote en centímetros 15 - 20
- Densidad (g/cc) 1.40
- Diámetro de la fibra en milímetro 0.1 - 1.5

#### **1.9.4 Características químicas**

La fibra a nivel celular se compone principalmente de hemicelulosa, celulosa, lignina y pectina, los cuales se detallan a continuación:

La hemicelulosa es un heteropolisacárido (0° compuesto por más de un tipo de monómero), formado, en este caso un tanto especial, por un conjunto heterogéneo de polisacáridos, a su vez formados por un solo tipo de monosacáridos unidos por enlaces, que forman una cadena lineal ramificada. Entre estos monosacáridos destacan la glucosa, la galactosa o la fructosa. Forma parte de las paredes de las diferentes células de los tejidos del vegetal, recubriendo la superficie de las fibras de celulosa y permitiendo el enlace de pectina. La hemicelulosa se caracteriza por ser una molécula con ramificaciones, como lo es el ácido urónico, capaz de unirse a las otras moléculas mediante enlaces que constituyen la pared rígida que protege a la célula de la presión ejercida sobre esta por el resto de las células que la rodean.

La celulosa es un homopolisacárido (es decir, compuesto de un único tipo de monómero) rígido, insoluble, que contiene desde varios cientos hasta varios miles de unidades de glucosa. La celulosa corresponde a la biomolécula más abundante de la biomasa terrestre. La celulosa se forma por la unión de moléculas de glucosa mediante enlaces glucosídico. Es una hexosa que por

hidrólisis da glucosa. La celulosa es una larga cadena polimérica de peso molecular variable. La celulosa tiene una estructura lineal o fibrosa, en la que se establecen múltiples puentes de hidrógeno entre los grupos hidroxilo de distintas cadenas yuxtapuestas de glucosa, haciéndolas impenetrables al agua, lo que hace que sea insoluble en agua, y originando fibras compactas que constituyen la pared celular de las células vegetales. La celulosa es la sustancia que más frecuentemente se encuentra en la pared de las células vegetales, y fue descubierta en 1838. La celulosa es la biomolécula más abundante de los seres vivos. La celulosa constituye la materia prima del papel y de los tejidos de fibras naturales.

La lignina es un grupo de compuestos químicos usados en las paredes celulares de las plantas para crear madera. La palabra lignina proviene del término latino *lignum*, que significa madera; así, a las plantas que contienen gran cantidad de lignina se las denomina leñosas. La lignina está formada por la extracción irreversible del agua de los azúcares, creando compuestos aromáticos. Se caracteriza por ser un complejo aromático (no carbohidrato) del que existen muchos polímeros estructurales (ligninas). Resulta conveniente utilizar el término lignina en un sentido colectivo para señalar la fracción lignina de la fibra. Después de los polisacáridos, la lignina es el polímero orgánico más abundante en el mundo vegetal. Es importante destacar que es la única fibra no polisacárido que se conoce. Este componente de la madera realiza múltiples funciones que son esenciales para la vida de las plantas. Por ejemplo, posee un importante papel en el transporte interno de agua, nutrientes y metabolitos. Proporciona rigidez a la pared celular y actúa como puente de unión entre las células de la madera, creando un material que es notablemente resistente a los impactos, compresiones y flexiones. Realmente, los tejidos lignificados resisten el ataque de los microorganismos, impidiendo la penetración de las enzimas destructivas en la pared celular. La molécula de lignina es una molécula, con

un elevado peso molecular, que resulta de la unión de varios ácidos y alcoholes. El acoplamiento aleatorizado de estos radicales da origen a una estructura tridimensional, polímero amorfo, característico de la lignina. La lignina es el polímero natural más complejo en relación a su estructura y heterogenicidad. Por esta razón no es posible describir una estructura definida de la lignina; sin embargo, se han propuesto numerosos modelos que representan su estructura.

Las pectinas son una mezcla de polímeros ácidos y neutros muy ramificados. Constituyen el 30% del peso seco de la pared celular primaria de células vegetales. En presencia de agua forman geles. Determinan la porosidad de la pared, y por tanto el grado de disponibilidad de los sustratos de los enzimas implicados en las modificaciones de la misma. Las pectinas también proporcionan superficies cargadas que regulan el ph y el balance iónico.

Entre las principales características químicas que presenta la fibra de coco se pueden mencionar las contenidas en la siguiente tabla:

**Tabla II.** Principales características químicas de la fibra de coco.

PARÁMETRO	UNIDAD	VALOR
PH		5
Nitrógeno total	%	0.51
Fósforo total, P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	%	0.20
Potasio total, K <sub>2</sub> O	%	0.60
Calcio total, CaO	%	1.40
Magnesio total, MgO	%	0.20
Sodio total, NaO	%	0.187
Hierro total, Fe	%	0.206



También la fibra de coco es un material muy rico en carbono C/N =100, lo que le otorga una gran resistencia a la degradación, así como una gran estabilidad. (11)

## **1.10 Materias primas**

### **1.10.1 Morteros**

Se conoce como mortero a la sustancia sólida de color grisáceo que se obtiene de la mezcla de un material aglutinante, como lo es el cemento Portan (entre otros), un material de relleno, representado por agregados finos o arenas, y agua, que luego de endurecerse al contacto con el aire, por absorción de dióxido de carbono, desarrolla propiedades químicas, físicas y mecánicas muy similares a las del concreto. Por otro lado, cabe resaltar que para algunas aplicaciones específicas, o simplemente por economía, es necesario adicionar cierto tipo de aditivos que contribuyen a la modificación de las propiedades del mismo y lo hagan propicio para las condiciones de trabajo requeridas.

Dadas sus propiedades, que dependen principalmente de la calidad de los materiales empleados en su elaboración, y por supuesto la dosificación utilizada, entiéndase por dosificación a la proporción volumétrica de los mismos, los morteros poseen una amplia variedad de aplicaciones, tales como la pega de piezas de mampostería o el recubrimiento de las mismas. (8)

### **1.10.2 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.

### **1.10.2.1 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

### **1.10.2.2 Propiedades en estado endurecido**

Las propiedades del mortero endurecido ayudan 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.

### **1.10.3 Componentes del mortero**

#### **1.10.3.1 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. (12)

#### **1.10.3.2 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.

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  $\mu\text{m}$ .

El agregado fino (arena de río) utilizado para realizar las mezclas de mortero con fibra de coco, se paso por el tamiz 4.

### **1.10.3.3 Fibra de coco**

La fibra de coco pertenece a la familia de las fibras duras como el henequén. Es una fibra multicelular que tiene como principales componentes la celulosa y el leño lo que la convierte en una fibra con buena rigidez y dureza, es resistente al ataque de bacterias y al agua, esta se obtiene de la estopa del coco.

#### **1.10.3.3.1 Sus usos**

Aun 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 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. (8)

## **2. DESARROLLO EXPERIMENTAL**

### **2.1 Sistema de bloques utilizado**

#### **2.1.1 Diseño del sistema**

De los dos sistemas de mampostería más comunes en Guatemala usados para la construcción de viviendas esta el sistema de mampostería confinada y el sistema de mampostería reforzada habiendo escogido este último. Este sistema tiene la particularidad que los elementos de mampostería trabajan conjuntamente con el refuerzo, distribuyendo sus cargas entre sí. Las unidades de mampostería o sea los bloques en este caso son piezas fundamentales en este tipo de construcción, los mismos presentan deficiencia en cuanto a su baja resistencia al impacto, flexión debido a su alta fragilidad, cargas de sismos o cargas de viento, por eso se formuló éste sistema constructivo con la novedad de incluir bloques reforzados con fibras naturales, las cuales reducen el costo e incrementan las propiedades de resistencia de los bloques.

El desarrollo de este trabajo de graduación, como el diseño, experimentación y evaluación de este sistema constructivo, se llevo a cabo en la sección de Eco-Materiales del Centro de Investigaciones de Ingeniería de la Universidad de San Carlos, haciendo uso de las instalaciones, equipo y herramienta del área de prefabricados donde se encuentra dicha sección.

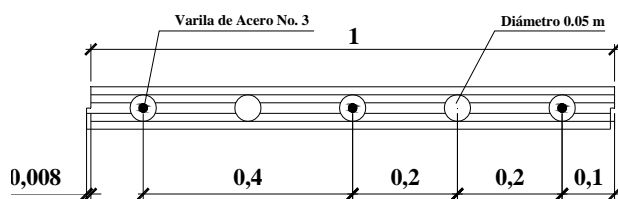
De la investigación hecha sobre los sistemas constructivos que existen actualmente en el mercado, se seleccionó el modelo de sistema de paneles

perforados en el sentido longitudinal, agujero donde lleva una varilla de refuerzo que va amarrado en la parte inferior por un cimiento y en la parte superior con una solera de corona.

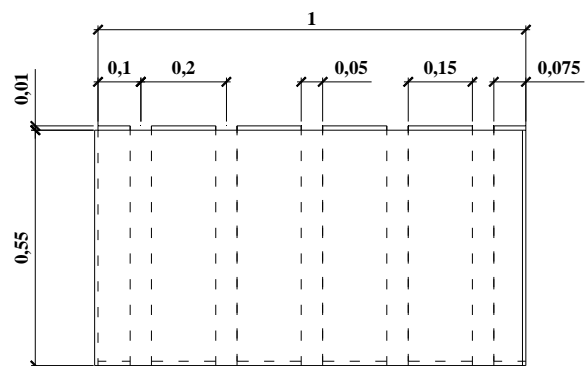
Sistema al que se le dio el nombre de, SISTEMA CONSTRUCTIVO SAM, sistema de bloques fibrorreforzados para la construcción de viviendas, con fibra extraída del desecho del fruto del coco y matriz de mortero cementicio.

Este sistema constructivo se diseñó con bloques esbeltos reforzados con fibra de coco, los cuales forman paneles para cerramientos en viviendas. Cada panel esta formado por 4 bloques, con dimensiones de 8cm de espesor, 55cm de alto y 100cm de ancho. Cada bloque tiene 5 agujeros de 5cm de diámetro, lleva un macho y hembra de forma trapezoidal en la parte superior e inferior respectivamente para la unión de un bloque con otro y una muesca de junta en los extremos para unir un panel con otro, en las figuras siguientes se pueden observar los detalles de los bloques.

**Figura 7.** Planta de bloque

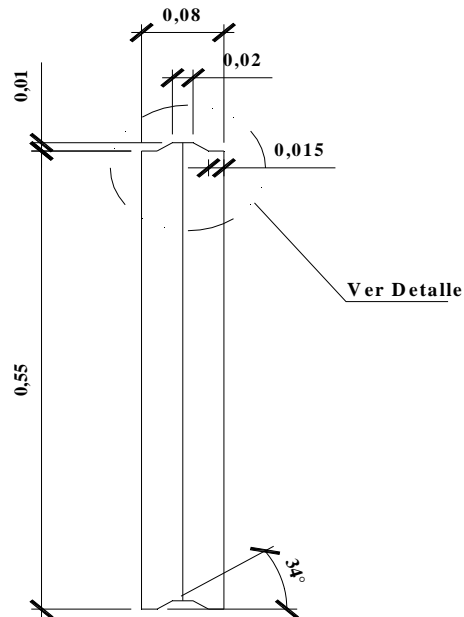


**Figura 8.** Elevación de bloque

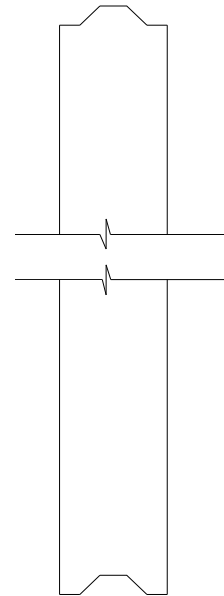




**Figura 9.** Perfil de bloque

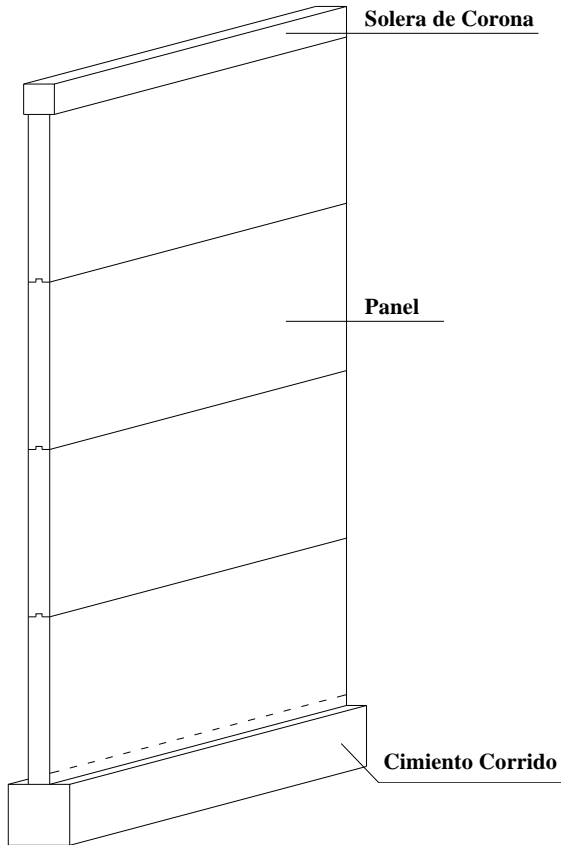


**Figura 10.** Detalle de macho y hembra



Cada panel tiene las dimensiones de 2.20m de alto, 1m de ancho y 0.08m de espesor, reforzado con varillas de acero No. 3 de grado 40 a cada 0.40m como se observa en la figura 7. En la parte inferior está amarrada por un cimiento corrido de sección de 0.25m de base y 0.15m de alto con un armado de tres varillas No.3 grado 40 y eslabones No. 2 a cada 0.15m. En la parte superior está amarrada por una solera de sección de 0.10m de base y 0.15m de alto con un armado de dos varillas No. 3 y eslabones No.2 a cada 0.15m. Para suelos rocosos o suelos bien consolidados, donde no se requiere de un cimiento corrido descrito anteriormente, se puede utilizar un bloque pómez tipo U con un armado de dos varillas No. 3 grado 40 y eslabones No.2 a cada 0.15, estos detalles se muestran en las figuras siguientes.

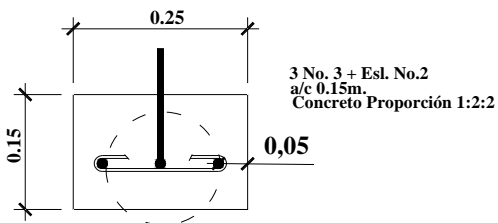
**Figura 11.** Isométrico de panel



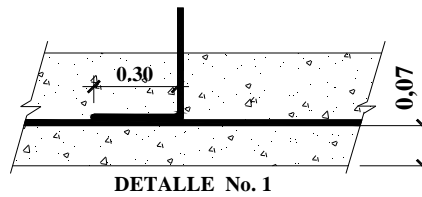
**Figura 12.** Corte típico de panel



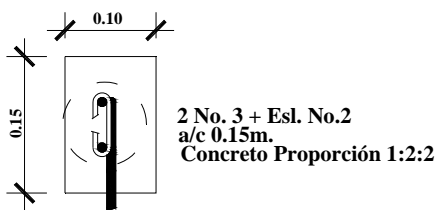
**Figura 13.** Detalle de cimiento



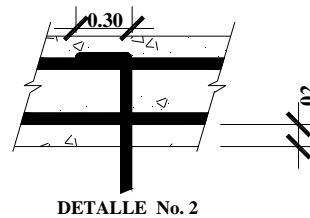
**Figura 14.** Armado en cimiento



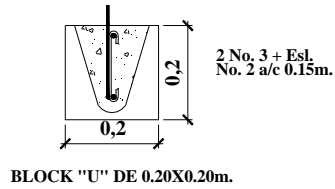
**Figura 15.** Detalle de solera de corona



**Figura 16.** Armado en solera de corona

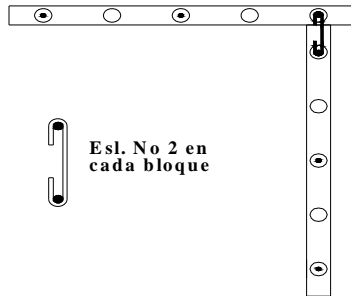


**Figura 17.** Detalle de cimiento con block U

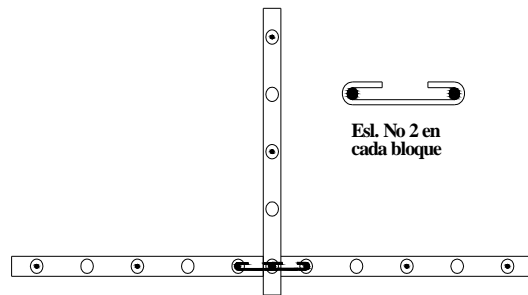


Estos bloques permiten la modulación en puertas, ventanas, cambios de dirección y encuentros de paneles, como lo es una escuadra, una te y una cruz, detalles que son necesarios en cerramientos de viviendas. Para el anclaje de escuadra, te, y cruz se utilizaría eslabones y escuadras de acero No. 2, amarrados al refuerzo de los paneles y colocados en cada bloque. Estos detalles se pueden observar en las figuras siguientes.

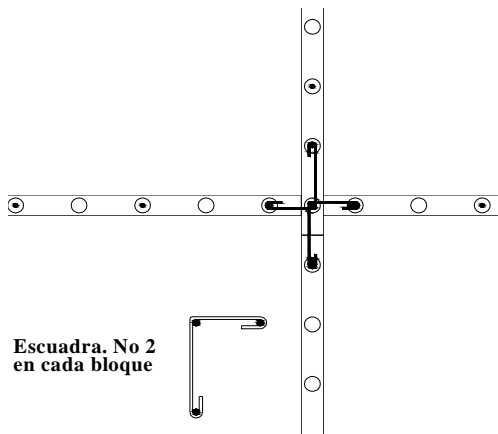
**Figura 18.** Detalle en L



**Figura 19.** Detalle en T



**Figura 20.** Detalle en cruz



### **2.1.2 Posible comportamiento**

Este sistema constructivo tiende a que sea de fácil ejecución, y que cumpla las expectativas de resistencia y seguridad. Los cerramientos para viviendas están expuestos a cargas naturales como lo es el de sismos, que presentan fallas a corte en sus elementos, cargas compresivas, de flexión e impacto, que pueden hacer colapsar estos sistemas constructivos.

Se busca que estos elementos se comporten de una manera dúctil, que la matriz transfiera y distribuya la carga externa a las fibras que amarran la misma, que puedan absorber la energía y que no se desintegren aunque se hayan fracturado.

### **2.1.3 Especificaciones de armado en sistema**

Las especificaciones tomadas en cuenta son las que rige el código ACI318-05, debido a que estamos en un país altamente sísmico. El acero debe ser corrugado y de grado cuarenta como lo indica la sección 3.5.3 y que cumpla con ASTM A 615M (Specification for Deformed and Plain Carbon-Steel Bars for Concrete Reinforcement), ASTM A 706M (Specification for Low-Alloy Steel Deformed and Plain Bars for Concrete Reinforcement).

Los ganchos estándar o doblez deben de cumplir la especificación de la sección 7.1.

- Doblez de 180° más una extensión de  $4d_b$ , pero no menor de 60 mm en el extremo libre de la barra.

- Doblez de 90° más una extensión de  $12d_b$  en el extremo libre de la barra.

Para estribos y ganchos de estribo

- Barra No. 16 y menor, doblez de 90° más  $6d_b$  de extensión en el extremo libre de la barra.

Los límites de espaciamiento deben de cumplir la sección 7.6.

- La distancia libre mínima entre barras paralelas de una capa debe ser  $d_b$ , pero no menor de 25 mm.

Recubrimiento mínimo para concreto vaciado en sitio debe de cumplir la sección 7.7

- Colocado contra el suelo y expuesto permanentemente 75 mm.
- Expuesto a la intemperie y al suelo 50 mm.
- Expuesto a la intemperie y no al suelo 20mm
- En vigas, columnas, armaduras principales, estribos 40mm

## **2.2 Materiales**

### **2.2.1 Cemento**

El cemento que se utilizó fue el de 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 libras 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. (12)

### **2.2.2 Arena**

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.

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.

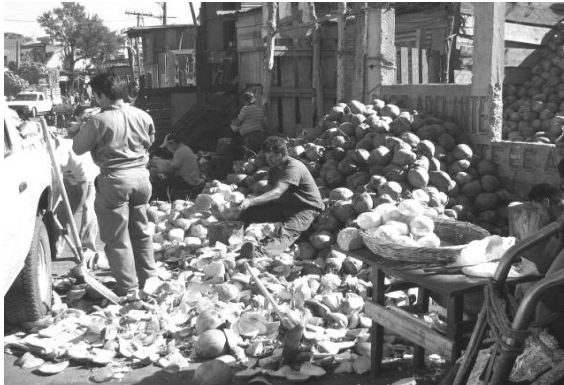
La clasificación de los agregados se realiza basándose en su tamaño, el agregado fino (arena) es aquel cuyas partículas tienen un diámetro inferior al tamiz ASTM No.4 (4.76 mm) pero se recomienda que su tamaño sea superior a 74  $\mu$ m. (2)

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

### 2.2.3 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 21.** Obtención de la estopa de coco en la Terminal



Fuente Eco-Materiales

**Figura 22.** Secado de estopa



Fuente Eco-Materiales

La estopa de coco fue puesta a secar al sol, ya que está viene verde y para poder extraer la fibra debe de estar seca. De la estopa de coco se obtiene fibra y polvo de coco, para separar estos dos 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 de 3 a 4 cubetas pequeñas y se dejaron aproximadamente 2 minutos en el molino, este proceso se repitió hasta obtener la cantidad de fibra deseada.

**Figura 23.** Molino de martillos



Fuente Eco-Materiales

**Figura 24.** Fibra de coco



Fuente Eco-Materiales

#### **2.2.4 Acero de refuerzo**

El acero de refuerzo que se utilizó fue el de la estrella AG de grado 40. Este acero está fabricado bajo las más estrictas normas de calidad internacional, cumpliendo con las especificaciones de la norma ASTM A-615 (Specification for Deformed and Plain Carbon-Steel Bars for Concrete Reinforcement) que garantizan sus características como acero Grado 40 o Grado 60. Se fabrica en longitudes de 6, 9 y 12 metros. (13)

A continuación un cuadro con las diferentes medidas que se fabrican:



**Tabla III.** Medidas de fabricación de acero de refuerzo

Número Designación	Diámetro Nominal (pulg)	Diámetro Nominal (pulg)		Diámetro Pin* Ensayo Doblado (pulg.)		Varillas por Quintal		
		Mínimo	Máximo	Grado 40	Grado 60	6 mts	9 mts	12 mts
3	3/8	9.24	9.50	1.31	1.31	13.53	9.02	6.76
4	1/2	12.31	12.70	1.75	1.75	7.62	5.08	3.81
5	5/8	15.39	15.90	2.19	2.19	4.88	3.25	2.44
6	3/4	18.47	19.10	3.75	3.75	3.39	2.26	1.69
7	7/8	21.55	22.20	4.38	4.38	2.49	1.66	1.25
8	1	24.63	25.40	5.00	5.00	1.91	1.27	0.95
9	1 1/8	27.78	28.70	-----	7.90	1.50	1.00	0.75
10	1 1/4	31.28	32.30	-----	8.89	1.18	0.79	0.59
11	1 3/8	34.72	35.80	-----	12.69	0.96	0.64	0.48

\* Herramienta utilizada en prueba de doblado de varilla

### 2.3 Descripción de la mezcla para la elaboración de los boques fibrorreforzados

#### 2.3.1 Proporción del mortero a utilizado

Se procedió a realizar pruebas preliminares, variando la cantidad de arena de río, buscando una matriz de mortero resistente y que no fuera antieconómica. Se estableció una proporción de 1:4, una de cemento y cuatro de arena de río tamizada por el tamiz No. 4.

De las pruebas preliminares, la proporción 1:4 fue la que mejor se comportó en el molde de prueba de bloque con una relación de agua cemento del 0.93 y con un peso unitario de 1900Kg/m<sup>3</sup>. El molde de prueba era de secciones de 8cm. de ancho, 55cm. de alto, 100cm. de largo con un volumen bruto de 0.44m

La cuantificación de los materiales de cemento y arena se hizo con base al peso unitario, los cuales se ven en la tabla siguiente.

**Tabla IV.** Cantidad de materiales para cada mezcla

<b>Componentes</b>	<b>Dosificación por partes</b>	<b>Dosificación por peso</b>
	<b>1:3</b>	<b>(Kg)</b>
Cemento	0.00924 m <sup>3</sup>	17.56
A.F.	0.03696 m <sup>3</sup>	70.22
Agua	0.0163 m <sup>3</sup> (16.3 lt)	16.30

\* Cantidades con 5% de desperdicio.

### 2.3.2 Longitud y porcentaje de la fibra utilizado

Se procedió a realizar pruebas preliminares, mezclando el mortero de cemento con diferentes porcentajes y longitudes de fibra de coco para determinar la trabajabilidad de la mezcla y los porcentajes máximos de fibra que puede tolerar la mezcla.

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

Basándose en la proporción que se determinó, 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.

**Figura 25.** Mezclado de materiales



Fuente Samuel Gómez

**Figura 26.** Fibra sumergida en agua



Fuente Samuel Gómez

Teniendo pesados los materiales y la fibra sumergida en 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.

**Figura 27.** Fibra distribuida en mezcla



Fuente Samuel Gómez

**Figura 28.** Mezclado de los materiales



Fuente Samuel Gómez

Se consideró como variable la longitud de fibra y el porcentaje de adición de fibra. Se trabajó con tres longitudes de fibra 4cm, 8cm, y longitud normal (13cm, en promedio). De estas longitudes se escogió la de longitud normal, debido a que la fibra requiere de un proceso de cortado laborioso, lo cual lleva tiempo.

Para determinar el porcentaje de fibra en el mortero, se siguieron los siguientes pasos. Se peso la máxima cantidad de fibra tolerada por mezcla y luego se relacionó con el peso del cemento.

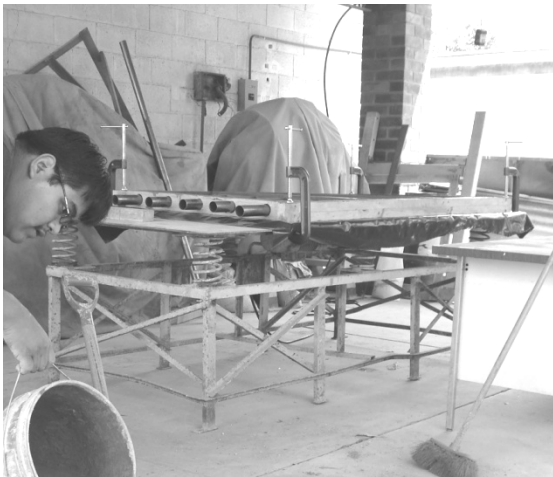
La matriz fibrorreforzada con que se trabajo fue la siguiente: Proporción de 1:4, una de cemento UGC, 4 de arena de río pasada por el tamiz No. 4, relación agua cemento de 0.93 y 2% de fibra con relación al peso del cemento.

### 2.3.3 Trabajabilidad de la mezcla

Con la utilización de fibra de longitud normal, la trabajabilidad de la mezcla se hizo más difícil, esta fibra se distribuida uniformeté en la mezcla y cuando se apisonaba dicha mezcla en el molde del bloque se formaban concentraciones de fibra en forma de nudos.

Se utilizó una máquina vibratoria, de motor trifásico, plataforma de acero de dimensiones de 3m de largo, 2m de ancho y 0.80m de alto con resortes debajo de la plataforma para la vibración y oscilación de la misma.

**Figura 29.** Máquina vibratoria



Fuente Samuel Gómez

**Figura 30.** Limpieza máquina vibradora



Fuente Samuel Gómez

La vibración se dio en dos períodos de treinta segundos, esto para evitar que hubiera segregación de los materiales y que la mezcla liberara los espacios vacios ocupados por el aire. Con este procedimiento se tubo una mayor trabajabilidad, mayor homogenidad de los materiales y mejor acomodamiento de los mismo en los molde de los bloques.

## **2.4 Elaboración de los bloques fibrorreforzados**

### **2.4.1 Dimensionamiento según norma técnica colombiana (NTC2446) para bloques y paneles prefabricados**

La realización de experimentaciones para llegar a optimizar un panel y el diseño del sistema constructivo a utilizar, se tomó como base para darle nombre al mismo, y también adaptarlos según normas estandarizadas internacionalmente.

Cuando se fijó las dimensiones del elemento fibrorreforzado se pensó en un panel, debido a las dimensiones de los moldes establecidos y tomando como referencia la Norma Técnica Colombiana NTC 2446 del Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificaciones INCOTEC, se determinaron bloques y no paneles.

La norma dice en su definición de Panel, es un elemento prefabricado que se utiliza para construir divisiones verticales en el interior o exterior de las viviendas, el cual debe ser manejable como una sola pieza y su dimensión menor debe ser por lo menos 10 veces mayor que su espesor. (14) Las dimensiones del elemento fibrorreforzado son de 100cm de largo, 55cm de ancho y 8cm de espesor. Hacemos el cálculo correspondiente;  $10 \times 8 \text{cm} = 80 \text{cm} > 55 \text{cm}$  por lo tanto el elemento se define como bloque.

## **2.4.2 Metodología para la elaboración de bloques**

### **2.4.2.1 Compra de materiales para la producción de bloques**

Para la compra de materiales fue necesario saber cuantos sistemas se ensayarían siguiendo los requerimientos de las normas ASTM y se estableció hacer ensayos a 28 días.

- 2 ENSAYOS DE SISTEMA DE BLOQUES FIBROREFORZADOS A COMPRESIÓN, SEGÚN NORMA ASTM E72-05 (Conducting Strength Test of Panels for Construction).
- 1 ENSAYO DE SISTEMA DE BLOQUES FIBROREFORZADOS A CARGA HORIZONTAL, SEGÚN NORMA ASTM E72-05 (Conducting Strength Test of Panels for Construction).
- 2 ENSAYOS DE SISTEMA DE BLOQUES FIBROREFORZADOS A FLEXIÓN, SEGÚN NORMA ASTM E72-05 (Conducting Strength Test of Panels for Construction).
- 2 ENSAYOS DE SISTEMA DE BLOQUES FIBROREFORZADOS A IMPACTO, SEGÚN NORMA ASTM E695-03 (Measuring Relative Resistance of Wall, Floor, and Roof Construction to Impact Loading).

Cada sistema costa de 4 bloques unidos entre si en su sección longitudinal, cimiento y solera de concreto armado. Las dimensiones de los sistemas de paneles de bloques a ensayar son de 2.55m de altura y 1m de ancho para compresión, flexión e impacto y para carga horizontal quedarían de 2.55m de alto y 2m de ancho debido a que se utilizaran 8 bloques.

Para hacer los ensayos para cada condición de carga se necesito 32 bloques. Para los 32 bloques se necesitaron 17 sacos de cemento, 1.5m<sup>3</sup> de arena de río y 14.048kg de fibra de coco de longitud natural. Para un sistema de paneles de bloques de un metro de ancho se necesita, 32.2kg de cemento, 67.2kg de arena de río, 88.2kg de piedrín 3/8", 4.25 ml de hierro #2, y 13.5 ml de hierro #3.

Para los 8 sistemas de paneles de bloques se necesitan, 8 sacos de cemento, 0.28 m<sup>3</sup> de arena de río, 0.36 m<sup>3</sup> de piedrín 3/8", 8 varillas #2, 24 varillas #3, y 10 libras de alambre de amarre.

El total de materiales que se compró para hacer los sistemas de paneles de bloques son:

- 25 sacos de cemento
- 2 m<sup>3</sup> de arena de río
- ½ m<sup>3</sup> de piedrín 3/8"
- 8 varillas de hierro #2 de grado 40
- 24 varillas de hierro #3 de grado 40
- 10 libras de alambre de amarre
- 50 tornillos buscarroca de 4" de largo
- ¼ de galón de tener
- ¼ de galón de pintura de aceite
- 2 tubos galvanizados pesado de 1.5" de diámetro
- 3 metros de cable para conexión trifásica
- 1 espiga trifásica
- 2 galón de desencofrante (aceite de vehículo corriente)
- 10 tablas de 3x4"



### 2.4.2.2 Elaboración de moldes para producción de bloques.

Los moldes fueron elaborados con madera y se hizo uso del taller de carpintería del área de prefabricados. La madera se emparejo y escuadro quedando piezas de 8cm de espesor y 12cm de ancho. Se hicieron dos moldes de 3 bloques cada uno, para esto se cortaron 8 piezas de de 1m y dos de 1.90m, a 4 de 1 m se les hizo un corte trapezoidal en la parte central donde quedó el mocho en el bloque y las demás piezas se les clavo otra pieza trapezoidal el cual quedó como hembra en el bloque. Las dimensiones del trapezoide son de bases 2cm y 5cm por 1cm de alto.

**Figura 31.** Macho clavado de forma trapezoidal



Fuente Samuel Gómez

**Figura 32.** Corte de hembra de forma trapezoidal



Fuente Samuel Gómez

A las piezas de 1m se les hizo 5 agujeros de 2.5cm de diámetro tomando en cuenta que dichos agujeros quedaran alineados para poder meter y sacar los tubos sin ningún tipo de inconveniente en el bloque, el cual es muy importante el retiro de los mismos para evitar el problema de agrietamiento del bloque en el desencoframiento.

**Figura 33.** Barrenado de agujeros



Fuente Samuel Gómez

**Figura 34.** Piezas perforadas



Fuente Samuel Gómez

A las piezas de 1.90m se les hizo un corte al centro de una profundidad de 9mm y que sirva de junta de paneles y a la vez para que no se vea de un lado a otro. Se armaron los moldes utilizando tornillos buscarroca de 4 pulgadas de largo.

**Figura 35.** Corte de muesca de junta



Fuente Samuel Gómez

**Figura 36.** Armado de moldes



Fuente Samuel Gómez

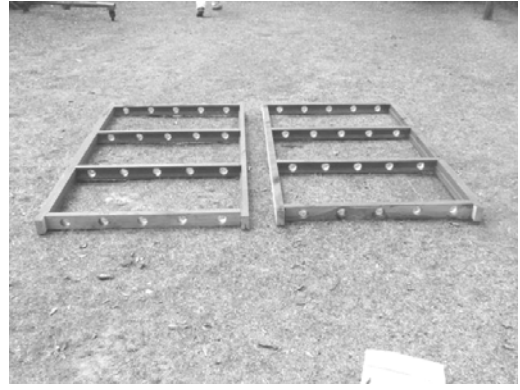
Teniendo armado los moldes y lijado se pintaron para darles presentación y que el desencofrante no se imprimiera en la madera para un fácil desencofrado.

**Figura 37.** Pintado de moldes



Fuente Javier Quiñónez

**Figura 38.** Moldes terminados.



Fuente Samuel Gómez

#### **2.4.2.3 Reparación de máquina vibratoria**

Para el vibrado de la mezcla se reparó una máquina vibratoria que estaba en bodega del área de prefabricados, esta máquina usa motor eléctrico trifásico, a la cual se le realizó su mantenimiento y la instalación eléctrica en el área de producción de los bloques.

#### **2.4.2.4 Preparación de materiales y equipo para producción de bloques**

Teniendo los materiales en el área de prefabricados y en su respectivo lugar, se procedió a tamizar la arena de río y pesarla, pesar el cemento y la fibra de coco. La herramienta utilizada en el proceso de producción fue tomada de la bodega de prefabricados al igual que el equipo empleado. Se contó con un espacio adecuado para la planta de producción, curado y almacenamiento de los bloques.

Se produjeron 3 bloques diarios, para lo cual se preparó diariamente 52.68 kg de cemento, 210.66 kg de arena de río, 1.0536 kg de fibra de coco de longitud natural y 48.9 litros de agua para tener una relación  $A/C = 0.93$ , para una proporción 1:4 de mortero de peso unitario =  $1900 \text{ kg/m}^3$  y 2% de fibra de coco en relación al peso del cemento para una mezcla homogénea. Se realizó la caracterización del material, siguiendo el procedimiento que se explica a continuación.

#### 2.4.2.5 Hechura de bloques

Teniendo pesado los materiales y la fibra sumergida en agua, se colocaron las plataformas de madera con plástico que sirvieron de base para los bloques, se fijaron los moldes a la maquina vibratoria con sargentos, se les colocó los tubos galvanizados en los agujeros de los moldes y se les aplicó aceite como desencofrante como se pueden observar en la fotografías siguientes.

**Figura 39.** Fijación de moldes



Fuente Samuel Gómez

**Figura 40.** Aplicación de desencofrante



Fuente Samuel Gómez

Teniendo los moldes preparados, 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.

**Figura 41.** Mezclado de materiales en seco



Fuente Samuel Gómez

**Figura 42.** Mezclado de materiales con agua



Fuente Samuel Gómez

**Figura 43.** Adición de fibra a mezcla



Fuente Samuel Gómez

**Figura 44.** Homogenización de mezcla



Fuente Samuel Gómez

Con la mezcla lista se procedió al llenado total de los moldes, luego se rasó y dejarlos parejos dándoles un acabado fino y se hizo vibrar la mesa para que pudiera salir el aire atrapado en la mezcla y al mismo tiempo que haya un asentamiento de las partículas. Los mismos se trasladaron al suelo donde se les dio el acabado final.

**Figura 45.** Llenado de moldes



Foto Samuel Gómez

**Figura 46.** Razado de moldes



Foto Samuel Gómez

#### **2.4.2.6 Desencofrado de bloques**

Teniendo los bloques fundidos en el suelo y con el acabado final, se procedió a girar los tubos a cada media hora, y el retiro final se dio a las dos horas del fraguado inicial. El girado de los tubos y el retiro de los mismos a estos tiempos fueron necesarios para que a la hora de desencofrar los bloques no se agrietaran. El desencofrado se dio a las 24 horas del fraguado inicial.

#### **2.4.3 Curado de los bloques**

El curado de los bloques fue a través de arena saturada de agua. Esta arena fue colocada en la encima de los bloques durante 24 horas como se

observa en la fotografía siguiente. Después de este curado, los bloques se trasladaron al área de almacenamiento donde se les roció agua.

**Figura 47.** Curado de bloques fibrorreforzados



Fuente Samuel Gómez

**Figura 48.** Almacenamiento de bloques fibrorreforzados



Fuente Samuel Gómez

## **2.5 Armado de sistemas para ensayos**

### **2.5.1 Armadura del cimiento**

Teniendo los 32 bloques fibrorreforzados necesarios para los sistemas, se procedió a la construcción de los paneles. Se cortaron las varillas de acero No. 2 para eslabones y varillas No.3 del armado longitudinal del cimiento siguiendo las especificaciones descritas en 2.1.3.

**Figura 49.** Cortado de varillas



Fuente Samuel Gómez

**Figura 50.** Armadura de cimiento



Fuente Samuel Gómez

## 2.5.2 Armado de pines y fundición del cimiento

Se realizó el cortado de las varillas de refuerzo vertical de los paneles y se hizo el doblado respectivo a  $90^\circ$  como lo indican las especificaciones en 2.1.3. Luego se amarró a la armadura del cimiento y posteriormente se hizo la formaleta de madera para que finalmente se fundiera con concreto de proporción 1:2:2, una de cemento UGC, dos de arena de río, dos de pedrín 3/8" con relación A/C 0.50.

**Figura 51.** Doblado de refuerzo vertical



Fuente Samuel Gómez

**Figura 52.** Fundición de cimiento



Fuente Samuel Gómez



### 2.5.3 Colocación de bloques

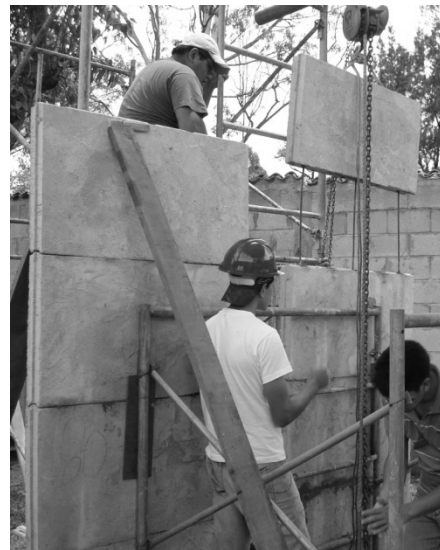
La colocación de los bloques se hizo de dos formas debido a que cada bloque peso 84kg en promedio, una fue levantarlos a mano hasta la altura requerida para deslizarlos dentro del refuerzo vertical y las segunda se utilizó un polipasto para lo cual fue necesario armar dos andamios de metal que sirvieron de apoyo, siendo este el método mas efectivo y porque requiere de menos esfuerzo, mayor facilidad en la manipulación en la colocación y mayor seguridad.

**Figura 53.** Levantamiento de bloques a mano



Fuente Samuel Gómez

**Figura 54.** Levantamiento de bloques con polipasto



Fuente Samuel Gómez

Los bloques van pegados con mortero de proporción de 1:4 igual al que el llenado de los agujeros del bloque. Para que el mortero asentara bien en los agujeros, se apisono con una varilla delgada.

**Figura 55.** Mortero de pega en bloques



Fuente Samuel Gómez

**Figura 56.** Llenado y apisonado de agujeros



Fuente Samuel Gómez

#### **2.5.4 Armado y fundición de solera de corona**

Se realizó el cortado de las varillas No. 3 de refuerzo horizontal para la solera de corona y No.2 para eslabones, dicha armadura se anclo al refuerzo vertical del panel siguiendo las especificaciones en 2.1.3. Posteriormente se hizo la formaleta de madera para finalmente se fundiera con concreto de proporción 1:2:2, una de cemento UGC, dos de arena de río, dos de piedrín 3/8" con relación A/C 0.50.

**Figura 57.** Armado de solera de corona



Fuente Samuel Gómez

**Figura 58.** Fundición de solera de corona



Fuente Javier Quiñónez

Se construyeron siete sistemas de paneles, dos para carga a compresión, dos para carga a flexión, dos para carga de impacto y uno para carga horizontal, estos paneles de bloques fibrorreforzados se pueden observar en las fotografías siguientes.

**Figura 59.** Paneles para carga a compresión



Fuente Javier Quiñónez

**Figura 60.** Paneles para carga a flexión



Fuente Samuel Gómez

**Figura 61.** Paneles para carga a impacto



Fuente Samuel Gómez

**Figura 62.** Paneles para carga horizontal



Fuente Javier Quiñónez

## **2.6 Ensayos de laboratorio y análisis de resultados**

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 de los paneles de bloques fibrorreforzados fueron:

- Compresión
  
- Carga horizontal
  
- Flexión
  
- Impacto

Los ensayos se realizaron en el área de prefabricados del Centro de Investigaciones de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala. Para realizar los ensayos de flexión e impacto fue necesario la construcción de un aparato, ya que el centro no contaba con este aparato, por lo cual se tenía que improvisar dichos ensayos, los detalles de construcción de este aparato se describe más adelante.

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 asigno una nomenclatura a cada uno de las paneles de bloques fibrorreforzados para registrar sus propiedades de una manera ordenada.

La nomenclatura utilizada fue la siguiente:

- A, B, C, = Bloque A, Bloque C, Bloque C
- 17/08/09 = Día de hechura del bloque / mes / año

### **2.6.1 Ensayo a compresión**

Este ensayo se realizó de acuerdo a lo establecido en la Norma ASTM E72-05 (Conducting Strength Test of Panels for Building Construction), la cual tiene por objeto describir el procedimiento para determinar la resistencia a compresión de paneles para la construcción.

Los ensayos se le realizaron a dos paneles de bloques fibrorreforzados, de dimensiones de 100cm de ancho, 8cm de espesor y 220cm de alto. El procedimiento establecido en la norma para la realización del ensayo a compresión es el siguiente:

- Se debe tener un panel elaborado conforme a la Norma Técnica Colombiana NTC 2446
- Se debe contar con una maquina capaz de aplicar una fuerza continua
- Tomar las dimensiones del panel de acuerdo a la norma.
- Pesar e identificar los especímenes
- Colocar el espécimen sobre la base inferior de la máquina y centrarse sobre la misma para ser ensayado.
- Colocarle el deflectómetro en el panel, para medir las deformaciones por pandeo.

- Realizar el ensayo, anotando las deformaciones a cada valor de carga constante, en este caso se tomaron lecturas a cada 5,000 lbs (2,270.66 kg)
- Anotarse la carga a la primera falla y la carga máxima que soporta el espécimen.
- Por último deben hacerse los cálculos y el reporte como se describe en la norma ASTM E575-99.

La aplicación de la carga se dio a través del marco de carga marca FORNEY, con lecturas de 1,000 lb, maquina con que se cuenta en el área de prefabricados del Centro de Investigaciones de Ingeniería.

Las deformaciones por pandeo se registraron en mm para lo cual se tomó como referencia un hilo plástico de albañilería, colocado en la parte central de cada panel ensayado.

**Figura 63.** Colocación y centrado de panel en marco de carga



Fuente Samuel Gómez

**Figura 64.** Aplicación de carga a panel



Fuente Samuel Gómez

**Figura 65.** Lecturas de deformaciones en panel 1



Fuente Samuel Gómez

**Figura 66.** Lecturas de deformaciones en panel 2



Fuente Samuel Gómez

**Figura 67.** Registro de datos y anotaciones de ensayo a compresión de panel 1  
**ENSAYO DE COMPRESIÓN (ASTM E72 - 05)**

FECHA: 09/09/2008

IDENTIFICACION	Panel 1	CARGA MAXIMA (kg)	22479.56403
ESPESOR PROMEDIO (cm)	8.376875	ESFUERZO DE COMPRESION (Kg/cm <sup>2</sup> )	26.47
ANCHO PROMEDIO (cm)	101.38	TIPO DE FALLA	Pandeo
ALTURA PROMEDIO (cm)	223.25	EDAD DEL ESPECIMEN	31 Días
PESO (kg)		DEFECTOS EN EL ESPECIMEN	Ninguno
PESO UNITARIO (kg /m <sup>3</sup> )	1759.51		

No.	Carga (Lb)	Carga (Kg)	Deformación por Pandeo mm
1	0	0.00	0.00
2	05,000	02,270.66	0.50
3	10,000	04,541.33	0.50
4	15,000	06,811.99	0.50
5	20,000	09,082.65	0.50
6	25,000	11,353.32	1.00
7	30,000	13,623.98	1.50
8	35,000	15,894.64	2.50
9	40,000	18,165.30	6.00
10	45,000	20,435.97	10.00
11	49,500	22,479.56	25.00
12	06,000	02,724.80	36.00
13			
14			

**OBSERVACIONES:**

\* Falla por compresión a las 40,000 lb (18,165.30 kg)

y se presento en el sentido de los agujeros que no

tenían refuerzo.

\* Proporción en llenado de agujeros es muy pobre y

el refuerzo no tiene buena adherencia a la misma.

Longitud de fibra :	Longitud Natural(13cm)
% de fibra :	2% en peso del cemento
Proporción:	1:4 (1 cemento, 4 arena)
Relación A/C:	0.93

Figura 68. Gráfica carga – deformación del material fibrorreforzado  
Ensayo a compresión de panel 1



Figura 69. Registro de datos y anotaciones de ensayo a compresión de panel 2

**ENSAYO DE COMPRESIÓN (ASTM E72 - 05)**

FECHA: 09/09/2008

IDENTIFICACION	Panel 2	CARGA MAXIMA (kg)	24,477.75
ESPESOR PROMEDIO (cm)	8.475	ESFUERZO DE COMPRESION (Kg/cm <sup>2</sup> )	28.35
ANCHO PROMEDIO (cm)	101.88	TIPO DE FALLA	Compresión
ALTURA PROMEDIO (cm)	223.25	EDAD DEL ESPECIMEN	31 Días
PESO (kg)		DEFECTOS EN EL ESPECIMEN	Ninguno
PESO UNITARIO (kg /m <sup>3</sup> )	1759.51		

No.	Carga (Lb)	Carga (Kg)	Deformación por Pandeo mm
1	0.00	0	0.00
2	05,000	02,270.66	0.50
3	10,000	04,541.33	1.00
4	15,000	06,811.99	1.50
5	20,000	09,082.65	2.50
6	25,000	11,353.32	3.00
7	30,000	13,623.98	4.00
8	35,000	15,894.64	5.50
9	37,500	17,029.97	6.00
10	40,000	18,165.30	7.50
11	42,500	19,300.64	9.00
12	45,000	20,435.97	10.00
13	50,000	22,706.63	12.50
14	53,900	24,477.75	17.50
15	05,000	02,270.66	25.00
16			

OBSERVACIONES:

- \* A las 45,000 lb (20,435.97 kg) se presentó la primera falla en la junta inferior del panel. (separación entre panel)
- \* Se presentaron fallas a compresión hasta la carga de colapso. Las grietas fueron en el sentido longitudinal del refuerzo.

Longitud de fibra :	Longitud Natural(13cm)
% de fibra :	2% en peso del cemento
Proporción:	1:4 (1 cemento, 4 arena)
Relación A/C:	0.93



**Figura 70.** Gráfica carga – deformación del material fibrorreforzado  
Ensayo a compresión de panel 2



Los paneles fueron hechos de bloques con materiales compuestos, no se tenían datos registrados del esfuerzo que resistían los bloques. Se ensayaron bloques para evaluar el comportamiento del material y el esfuerzo a compresión que resistían cada uno.

El esfuerzo a compresión fue calculado de la siguiente forma.

$$S = F / A$$

Donde:

S = esfuerzo de compresión, en kg/cm<sup>2</sup>

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

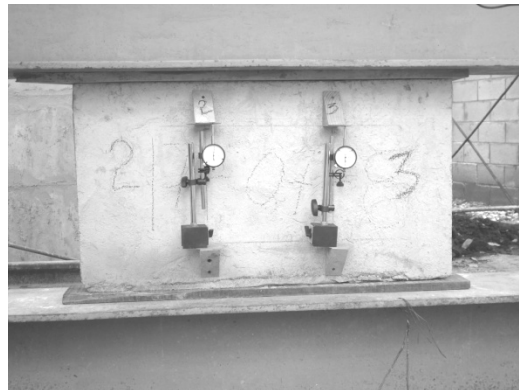
A = área de la sección transversal del espécimen, en cm<sup>2</sup>

**Figura 71.** Aplicación de carga a bloque



Fuente Samuel Gómez

**Figura 72.** Colocación de deformómetros



Fuente Samuel Gómez

**Figura 73.** Lectura de deformación No.1 en bloque



Fuente Samuel Gómez

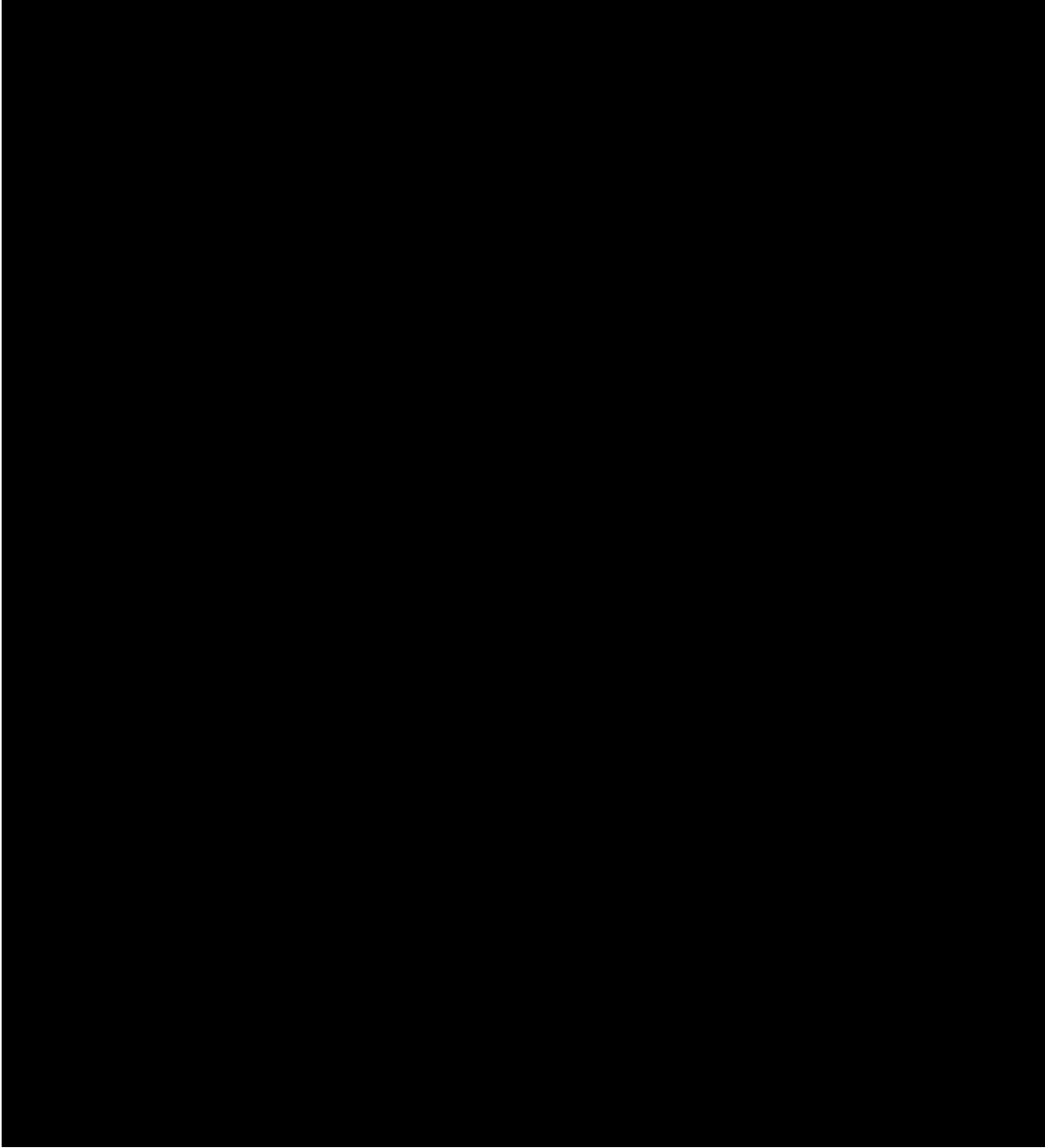
**Figura 74.** Lectura de deformación No. 2 y No. 3 en bloque



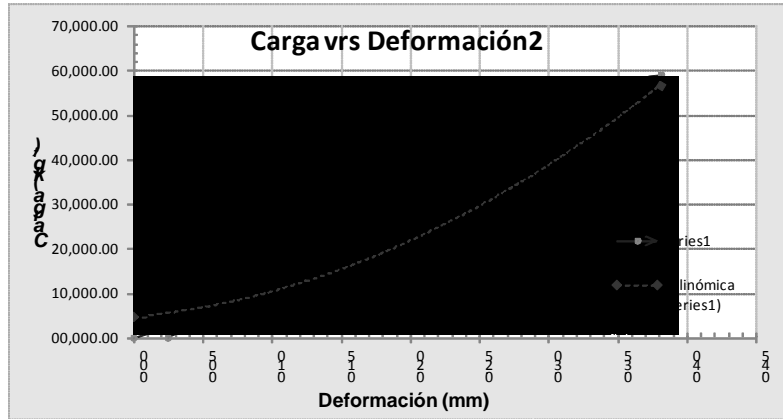
Fuente Samuel Gómez

Para registrar las lecturas de deformación en el bloque fibrorreforzado, se tubo que colocar piezas de madera sujetadas por pernos empotrados al bloque para que no hubiera movimiento alguno y que las lecturas de deformación fueran verídicas. Para medir las deformaciones 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 0.01de milímetro y con capacidad máxima de deformación de 25 mm (1 plg).

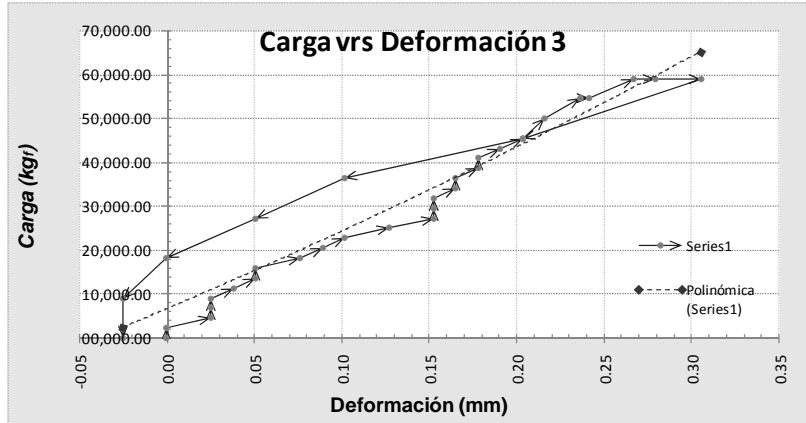
**Figura 75.** Registro de datos y anotaciones de ensayo a compresión del bloque fibrorreforzado



**Figura 76.** Gráfica carga – deformación del bloque fibrorreforzado Deformómetro 2



**Figura 77.** Gráfica carga – deformación del bloque fibrorreforzado Deformómetro 3



## 2.6.2 Ensayo a carga horizontal

Este ensayo se realizó de acuerdo a lo establecido en la Norma ASTM E72-05 (Conducting Strength Test of Panels for Building Construction), la cual tiene por objeto describir el procedimiento para determinar la resistencia a cargas horizontales o de sismos de paneles para la construcción.

El ensayo se le realizó a un muro de dos paneles de bloques fibrorreforzados, de dimensiones de 100cm de ancho, 8cm de espesor y 220cm de alto, amarrados en la base por un cimiento de 25cm de ancho y 15cm de alto, y en la parte superior por una solera de 10cm de ancho por 15cm de alto, contruidos en el sitio de ensayo como se puede observar en la siguiente fotografía. El procedimiento establecido en la norma para la realización del ensayo a carga horizontal es el siguiente:

- Se debe tener un muro con paneles de bloques fibrorreforzados elaborado conforme a la Norma Técnica Colombiana NTC 2446
- Se debe contar con un gato hidráulico capaz de aplicar una fuerza continua hasta que ocurra ruptura por corte, desplazamiento y volteo.
- Se debe contar con un aparato que sea capaz de restringir el desplazamiento horizontal de la base del panel.
- Tomar las dimensiones del muro de acuerdo a la norma.
- Identificar el espécimen.
- Armar en sitio el aparato de ensayo del espécimen.
- Colocar los deformómetros en el muro de paneles como lo establece la norma para medir las deformaciones de desplazamiento y volteo.
- Realizar el ensayo, anotando las deformaciones de desplazamiento y volteo a cada valor de carga constante, en este caso se tomaron lecturas a cada 1,120lbs (508.63 kgf)
- Anotarse la carga a la primera falla y la carga máxima que soporta el espécimen.

- Por último, se deben hacer los cálculos y el reporte como se describe en la norma ASTM E575-99.

La aplicación de la carga se dio a través de un gato hidráulico marca ENERPAC de 10 toneladas y pistón de 2.24 plg<sup>2</sup> de diámetro, con lecturas de 100 psi., y el equipo de empotramiento y arriostramiento para muros de corte (chapulín) con que se cuenta en el área de prefabricados del Centro de Investigaciones de Ingeniería.

Las deformaciones de desplazamiento y volteo se registraron con 3 deformómetros 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).

**Figura 78.** Muro de paneles de bloques fibrorreforzados para ensayo a carga horizontal



Fuente Samuel Gómez

**Figura 79.** Armado en sitio de aparato para ensayo a carga horizontal



Fuente Javier Quiñónez

**Figura 80.** Aplicación de carga a muro



Fuente Javier Quiñónez

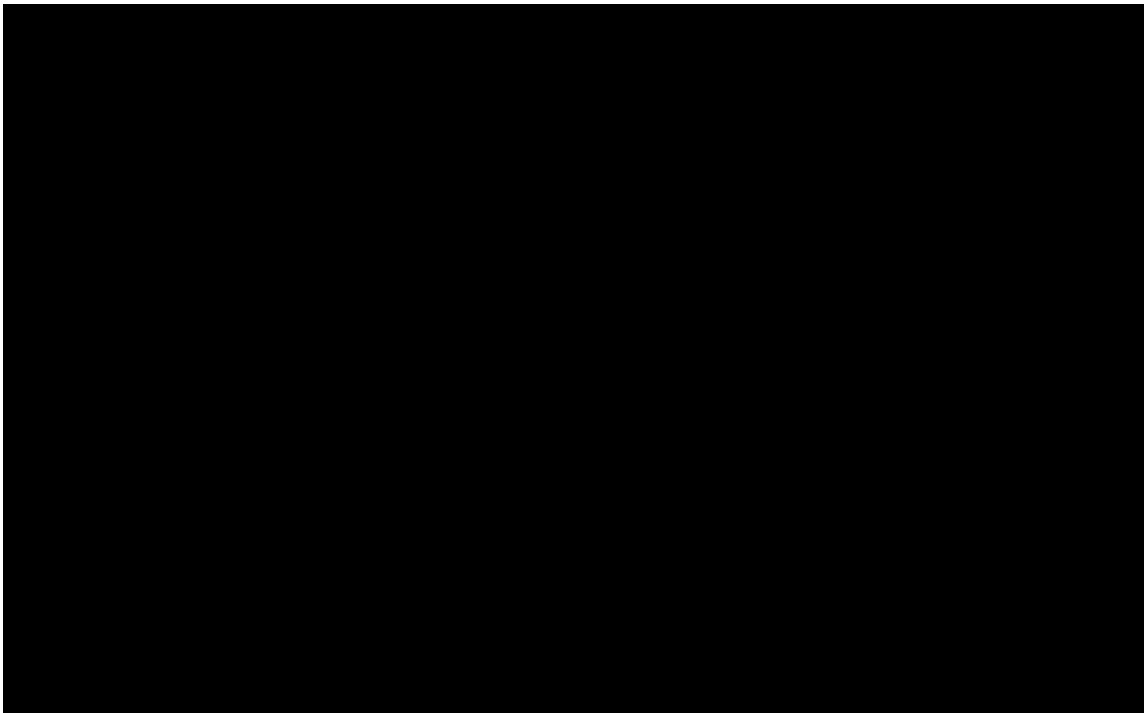
**Figura 81.** Ensayo a carga horizontal



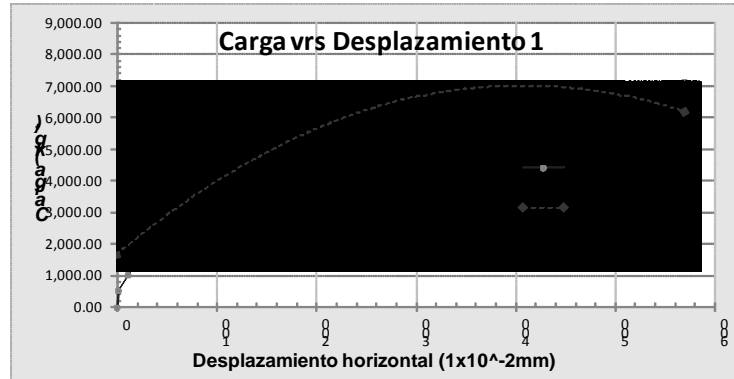
Fuente Javier Quiñónez

En las gráficas siguientes se observan los datos de cargas y deformaciones como los diagramas carga-deformación y las anotaciones respectivas a cada carga.

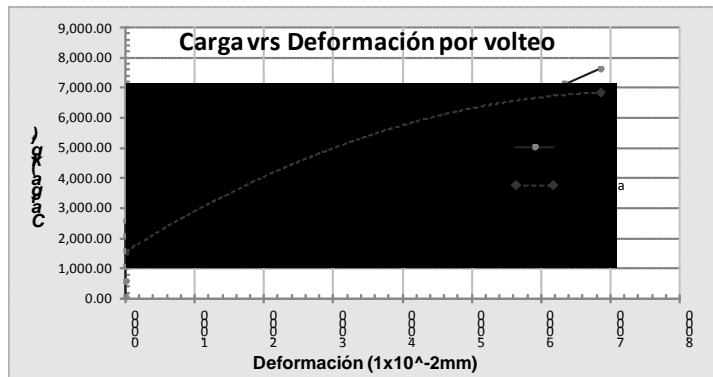
**Figura 82.** Registro de datos y anotaciones de ensayo del muro de paneles a carga horizontal



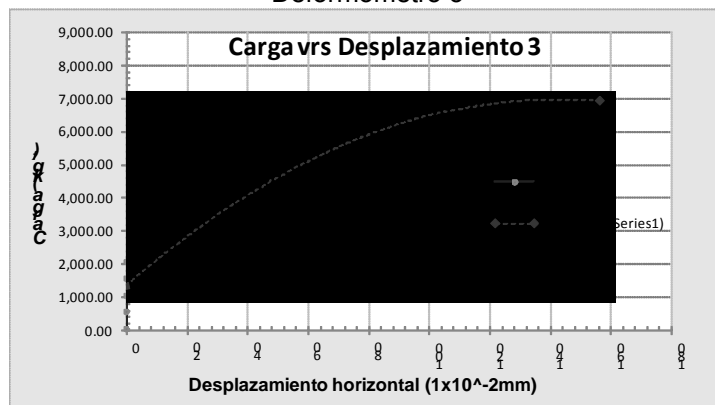
**Figura 83.** Gráfica carga – desplazamiento horizontal de muro  
Deformómetro 1



**Figura 84.** Gráfica carga – deformación por volteo de muro  
Deformómetro 2



**Figura 85.** Gráfica carga – desplazamiento horizontal de muro  
Deformómetro 3



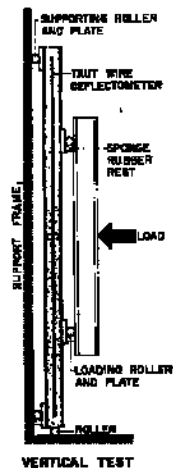


### 2.6.3 Ensayo a flexión

Debido a que en el Centro de Investigaciones de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala no se contaba con un equipo de ensayos, según especificación ASTM E 72 - 05 para ensayo a flexión de paneles y ASTM E695 – 03 para ensayo a impacto de paneles a escala natural y en sentido vertical, se optó por diseñar y construir un aparato que cumpliera las especificaciones de sujeción y aplicación de cargas según las normas correspondientes a cada ensayo para que los datos fueran confiables.

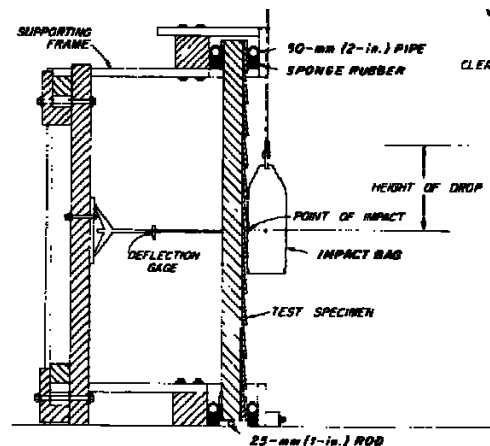
La configuración de los ensayos de flexión y impacto se pueden ver en las gráficas siguientes de la ASTM de las normas correspondientes a cada ensayo.

Figura 86. Configuración de ensayo a flexión



Fuente ASTM E72- 05

Figura 87. Configuración de ensayo a impacto

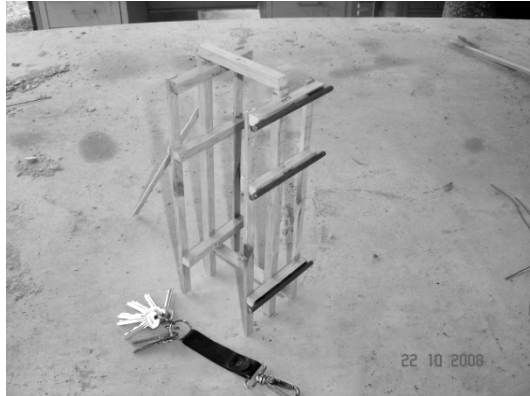


Fuente ASTM E695-03

Se optó por construir y diseñar un aparato que los soportes sirvieran para ambos ensayos. Se necesitaba de un marco que fuera lo suficientemente rígido y arriostrado para impedir el desplazamiento al aplicarle carga a flexión y que se

moviera al momento del impacto. Se hizo una maqueta en escala pequeña del aparato a construir la cual se puede observar en la fotografía siguiente:

**Figura 88.** Aparato de ensayo de flexión e impacto para paneles



Fuente Javier Quiñónez

Se utilizó dos rieles de tren para hacer el marco y el soporte del aparato, se utilizó perfiles de acero para los apoyos de los paneles y de barras lisas de acero de 1plg de diámetro para los rodillos, los cuales fueron tomados de la bodega de prefabricados del Centro de Investigaciones de Ingeniería al igual que la herramienta necesaria para construir este aparato. Los utensilios y accesorios necesarios para la construcción de este aparato se obtuvieron del financiamiento del proyecto FODECYT 075-06 que desarrolló la sección de Eco-Materiales del Centro de Investigaciones de Ingeniería y que este trabajo de graduación es parte del mismo. Para soldar las partes del aparato se contó con personal y el equipo del departamento de servicios de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos.

Los rieles que sirvieron para el marco se fundieron quedando empotrados en el suelo, los perfiles y barras de acero liso que sirvieron de soporte para los paneles se cortaron y se soldaron en el taller de servicios para luego soldar el equipo completo como se observa en las fotografías siguientes.

**Figura 89.** Soporte y barras de acero soldados



Fuente Javier Quiñónez

**Figura 90.** Lijado de soportes



Fuente Javier Quiñónez

**Figura 91.** Armado y soldado de aparato de ensayo



Fuente Javier Quiñónez

**Figura 92.** Pintado de aparato de ensayo



Fuente Javier Quiñónez

**Figura 93.** Panel colocado en aparato de ensayo a flexión



Fuente Javier Quiñónez

**Figura 94.** Panel colocado en aparato de ensayo a impacto



Fuente Javier Quiñónez

El ensayo a flexión se realizó de acuerdo a lo establecido en la Norma ASTM E72-05 (Conducting Strength Test of Panels for Building Construction), la cual tiene por objeto describir el procedimiento para determinar la resistencia a cargas flexionantes a paneles para la construcción.

Los ensayos se le realizaron a dos paneles de bloques fibrorreforzados, de dimensiones de 100cm de ancho, 8cm de espesor y 220cm de alto. El procedimiento establecido en la norma para la realización del ensayo a flexión es el siguiente:

- Se debe tener un panel elaborado conforme a la Norma Técnica Colombiana NTC 2446
- Se debe contar con un aparato que sea capaz de soportar las cargas distribuidas en el panel en sentido vertical y a escala natural sin que ese mismo se defleccione.
- Se debe contar con un gato hidráulico capaz de aplicar una fuerza continua hasta que ocurra ruptura en el panel.
- Tomar las dimensiones del panel de acuerdo a la norma.
- Pesar e identificar los especímenes
- Colocar el espécimen sobre la base inferior del aparato y centrarse sobre la misma para ser ensayado.
- Colocarle el deformómetro en el panel, para medir las deformaciones flexionantes.

- Realizar el ensayo, anotando las deformaciones a cada valor de carga constante, en este caso se tomaron lecturas a cada 448lbs (203.17 kgf)
- Anotarse la carga a la primera falla y la carga máxima que soporta el espécimen.
- Por último, se deben hacer los cálculos y el reporte como se describe en la norma ASTM E575-99.

La aplicación de la carga se dio a través de un gato hidráulico marca ENERPAC de 10 toneladas y pistón de 2.24 plg<sup>2</sup> de diámetro, con lecturas de 100 PSI sostenido sobre una base de madera y sujetado en la parte central del aparato de ensayo con que cuenta ahora el área de prefabricados del Centro de Investigaciones de Ingeniería. Las deformaciones flexionantes se registraron con un deformómetro marca SOILTEST.INC, con aproximación al 0.01 de milímetro y con capacidad máxima de deformación de 25 mm (1 plg).

**Figura 95.** Panel de bloques fibrorreforzados para ensayo a flexión



Fuente Javier Quiñónez

**Figura 96.** Identificación de ensayo a flexión sistema constructivo SAM



Fuente Javier Quiñónez

**Figura 97.** Aplicación de carga distribuida a panel



Fuente Javier Quiñónez

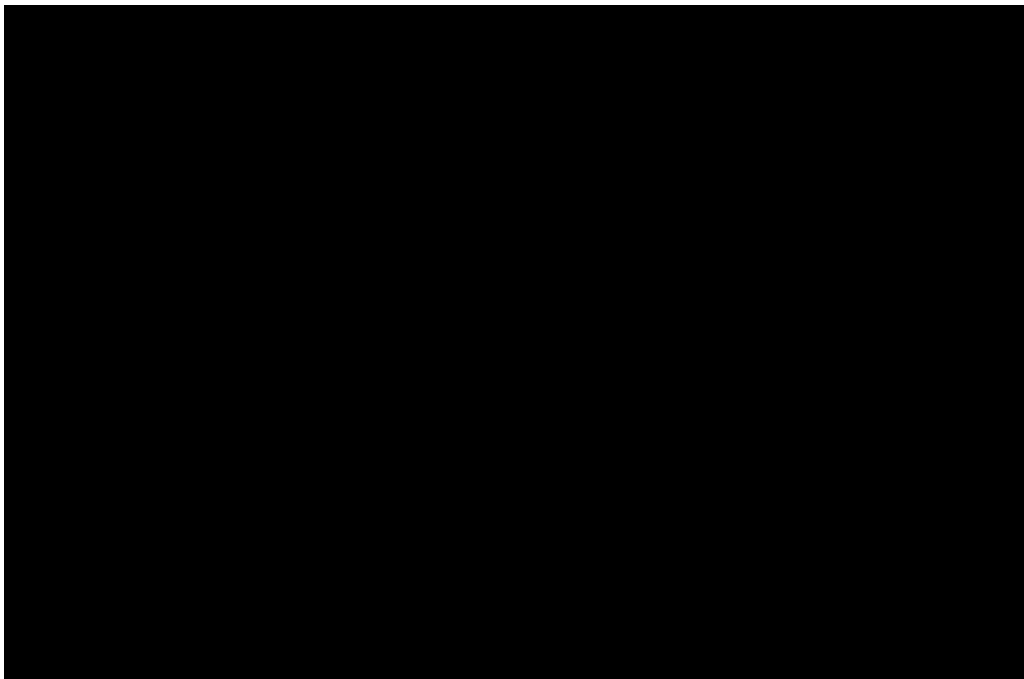
**Figura 98.** Panel deflectado



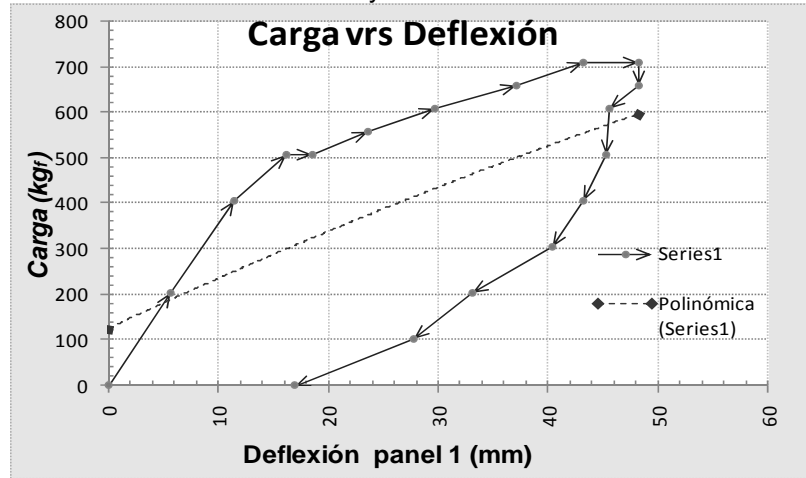
Fuente Javier Quiñónez

En las gráficas siguientes, se observan los datos de cargas y deformaciones como los diagramas carga-deformación y las anotaciones respectivas a cada carga.

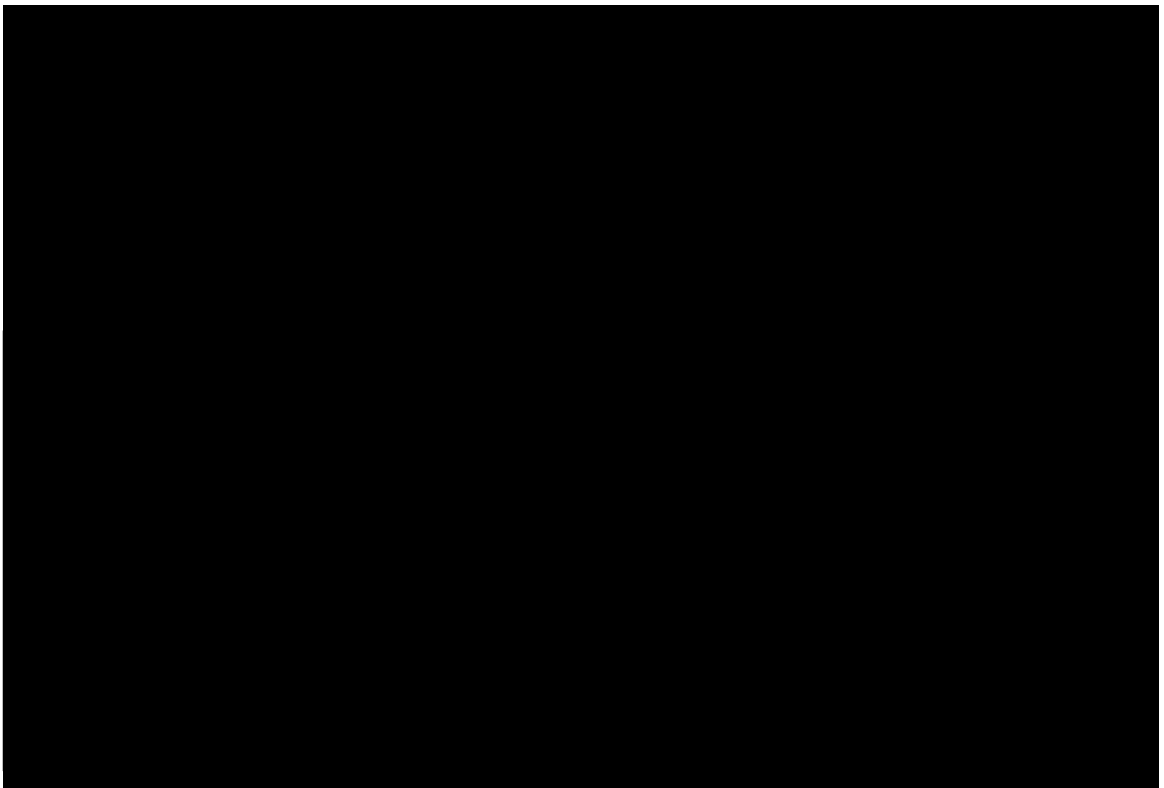
**Figura 99.** Registro de datos y anotaciones de ensayo de panel 1 a carga distribuida



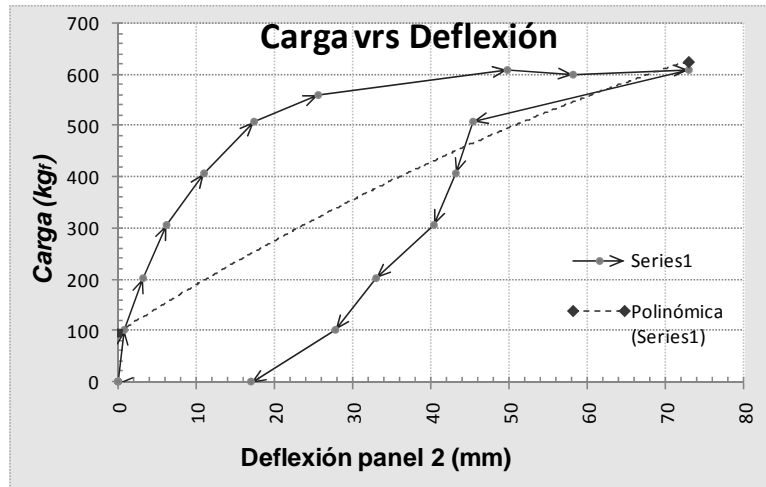
**Figura 100.** Gráfica carga – deflexión de panel 1  
Ensayo de flexión



**Figura 101.** Registro de datos y anotaciones de ensayo de panel 2 a carga distribuida



**Figura 102.** Gráfica carga – deflexión de panel 2  
Ensayo a flexión



#### 2.6.4 Ensayo a impacto

Este ensayo se realizó de acuerdo a lo establecido en la Norma ASTM E695-03 (Measuring Relative Resistance of Wall, Floor, and Roof Construction to Impact Loading), la cual tiene por objeto describir el procedimiento para determinar la resistencia a cargas de impacto a paneles para la construcción.

Los ensayos se le realizaron a dos paneles de bloques fibrorreforzados, de dimensiones de 100cm de ancho, 8cm de espesor y 220cm de alto. El procedimiento establecido en la norma para la realización del ensayo a flexión es el siguiente:

- Se debe tener un panel elaborado conforme a la Norma Técnica Colombiana NTC 2446



- Se debe contar con un aparato que sea capaz soportar el movimiento provocado por cargas de impacto en paneles en sentido vertical y a escala natural.
- Se debe contar con una bolsa de cuero tejida como lo especifica la norma que sea capaz de soportar la energía disipada en el panel, provocada por la masa y la gravedad hasta que suceda su ruptura.
- Tomar las dimensiones del panel de acuerdo a la norma.
- Pesar e identificar los especímenes
- Colocar el espécimen sobre la base inferior del aparato y centrarse sobre la misma para ser ensayado.
- Colocarle el deformómetro en el panel, para medir las deformaciones flexionantes.
- Colgar la bolsa tratando que la masa quede al centro del panel.
- Colocar un estadal para marcar las alturas de caída de la bolsa.
- Realizar el ensayo, anotando las altura de caída de la bolsa y deformaciones, en este caso la fue un peso de 30kg y alturas de caída de 10 cm por ciclo.
- Anotarse la altura de caída a la primera falla y la altura máxima que soporta el espécimen.
- Por último deben hacerse los cálculos y el reporte como se describe en la norma ASTM E575-99.

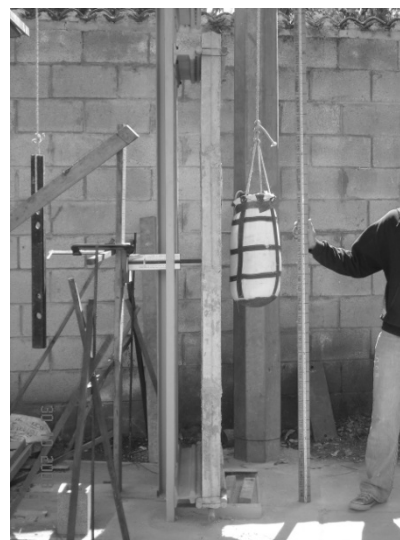
Las deformaciones se registraron a través de un aparato construido en el área de prefabricados del Centro de Investigaciones de Ingeniería hecho de madera. Este aparato tiene un dispositivo que sale de la base y que hace contacto con el panel que va a presión, cuando recibe el impacto registra las lecturas de 1 mm a través de una regla como se puede observar en las fotografías siguientes.

**Figura 103.** Deformómetro de impacto



Fuente Javier Quiñónez

**Figura 104.** Ubicación de equipo de ensayo a impacto



Fuente Javier Quiñónez

**Figura 105.** Toma de datos de ensayo a impacto



Fuente Javier Quiñónez

**Figura 106.** Prueba de impacto a panel de bloques fibrorreforzado



Fuente Javier Quiñónez

**Figura 107.** Soltura de bolsa de impacto



Fuente Javier Quiñónez

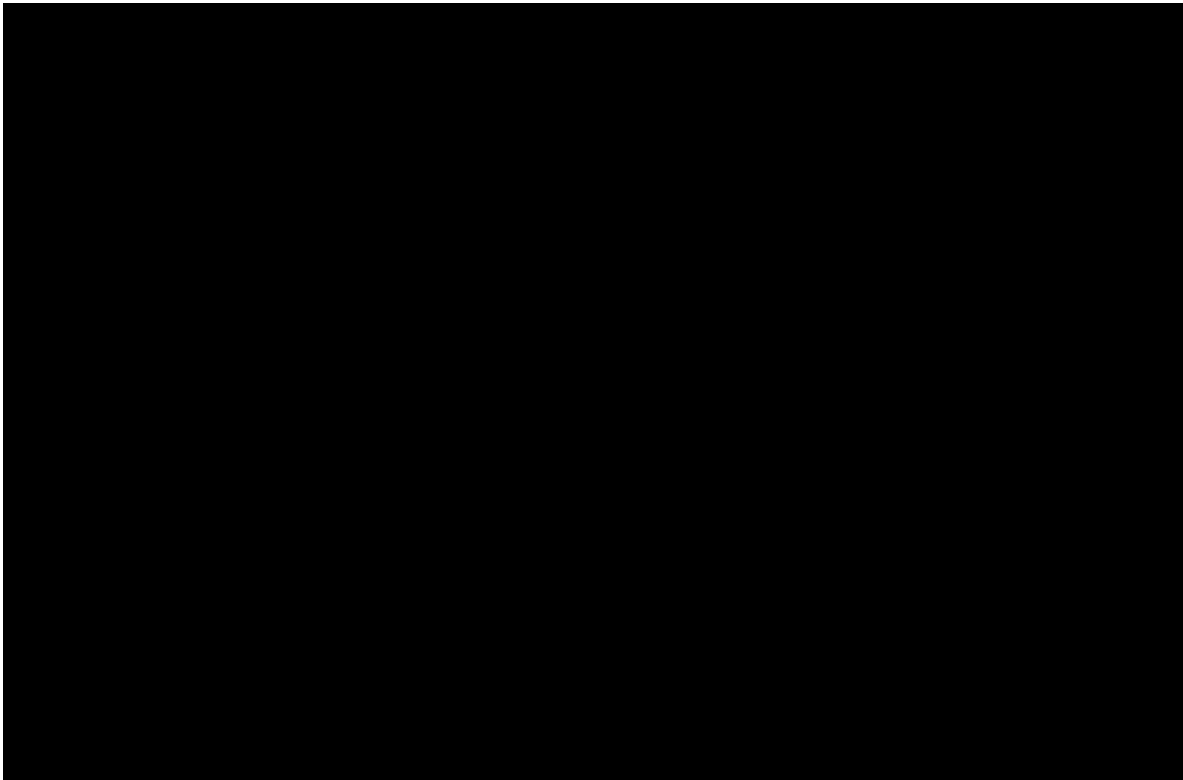
**Figura 108.** Panel de bloques fibrorreforzado deflectado



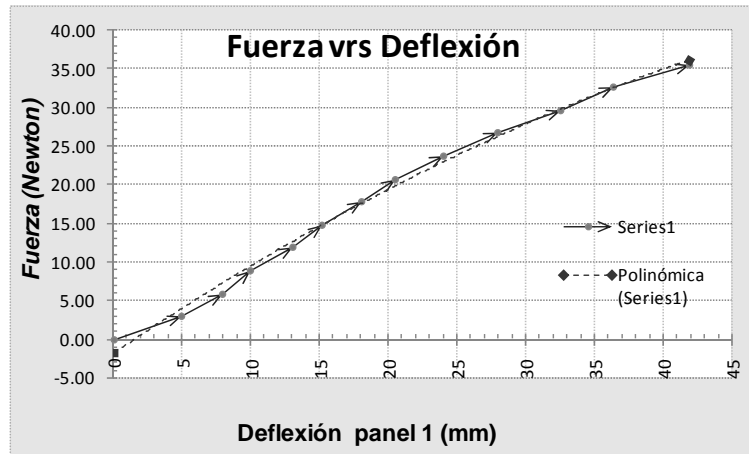
Fuente Javier Quiñónez

En las gráficas siguientes se observan los datos de cargas y deformaciones como los diagramas fuerza de impacto-deformación y las anotaciones respectivas a cada altura.

**Figura 109.** Registro de datos y anotaciones de ensayo de panel 1 a fuerza de impacto



**Figura 110.** Gráfica fuerza de impacto– deflexión de panel 1



**Figura 111.** Registro de datos y anotaciones de ensayo de panel 2 a fuerza de impacto

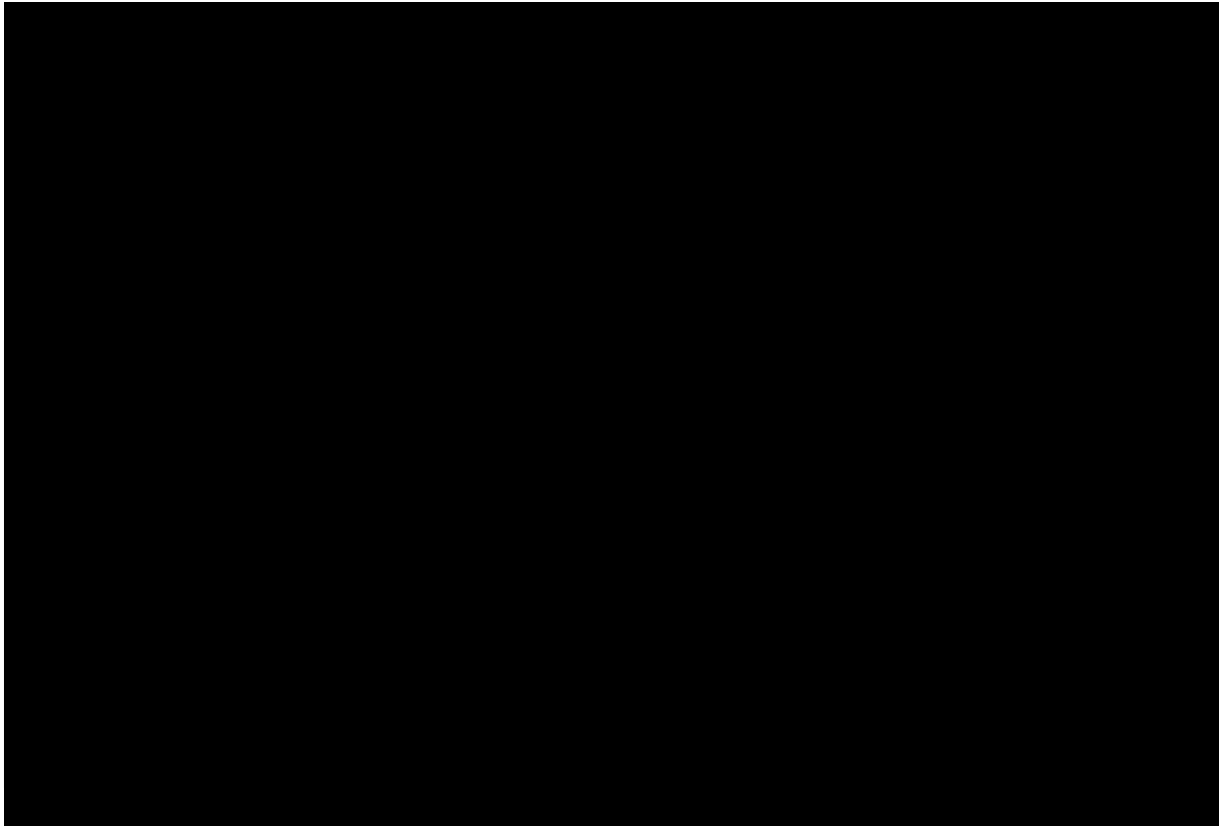
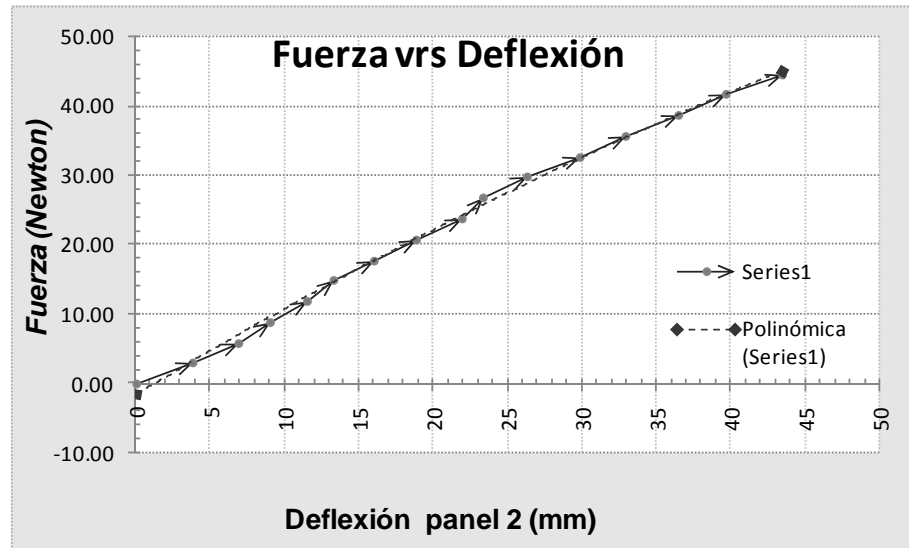


Figura 112. Gráfica fuerza de impacto– deflexión de panel 2



## 2.6.5 Análisis de resultados

### 2.6.5.1 Del ensayo a compresión

De los especímenes ensayados a compresión se observó que el comportamiento de ambos paneles tuvieron características similares siguiendo la misma tendencia, variando un 4.26% la carga última (1041.61 kgf) uno respecto al otro. La fallas iniciales se dieron al 82.15% de la cargas últimas y las mismas se localizaron en la juntas de los bloques. Los paneles tuvieron una carga de compresión a rotura de 10,672 kgf/m que cumple con la especificación de grado 3 y deformación admisible en compresión de subgrado “a” de la Norma Técnica Colombiana NTC 2446. En la tabla siguiente se puede observar los resultados de los ensayos.

**Tabla V.** Resultados de ensayo a compresión de paneles fibrorreforzados

Las fallas principales presentadas por los paneles fueron por pandeo y compresión, las juntas de los bloques se acomodaron con forme les aplicaba carga y las mismas cedieron para los lados haciendo que estos fallaran. En la carga última se dieron fallas a compresión y se localizaron en el sentido vertical, siguiendo los agujeros sin refuerzo. No hubo colapso de los bloques, las fibras adheridas a la matriz resistieron carga permitiendo que las fallas fueran graduales y no explosivas, y las mismas mantuvieron unidos los fragmentos de bloques.

**Figura 113.** Panel deflectado 1 ensayo a compresión



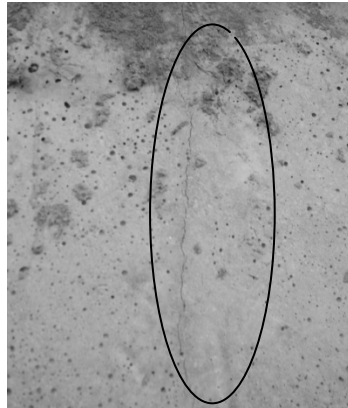
Fuente Samuel Gómez

**Figura 114.** Panel deflectado 2 ensayo a compresión



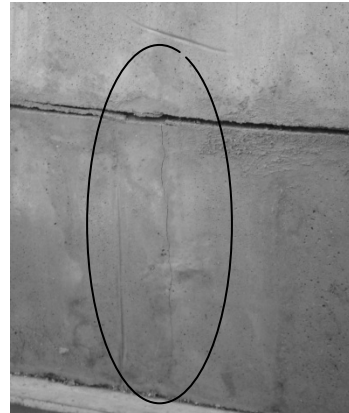
Fuente Samuel Gómez

**Figura 115.** Grietas verticales en panel 1 ensayo a compresión



Fuente Samuel Gómez

**Figura 116.** Grietas verticales en panel 2 ensayo a compresión



Fuente Samuel Gómez

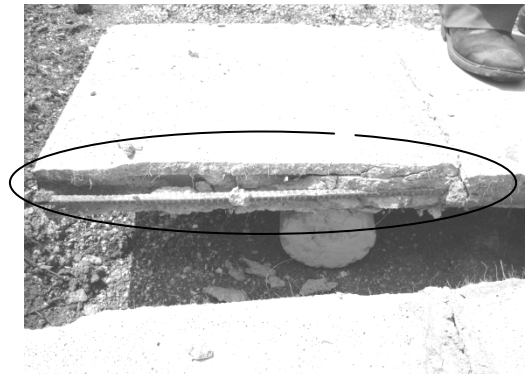
El panel se mantuvo unido después del ensayo, el refuerzo vertical fluyo debido a la poca adherencia entre el mortero de llenado de agujeros y el acero, el cual no resistió la fluencia del acero. En el desmantelamiento de los paneles se pudo observar que el mortero de llenado fue muy pobre, no existió suficiente adherencia entre el bloque y el mortero de llenado. También se observó que la fibra fue bien distribuida, la cual ayudó a disipar la energía absorbida por el panel, haciendo que los bloques trabajaran conjuntamente.

**Figura 117.** Desmantelamiento de panel ensayo a compresión



Fuente Samuel Gómez

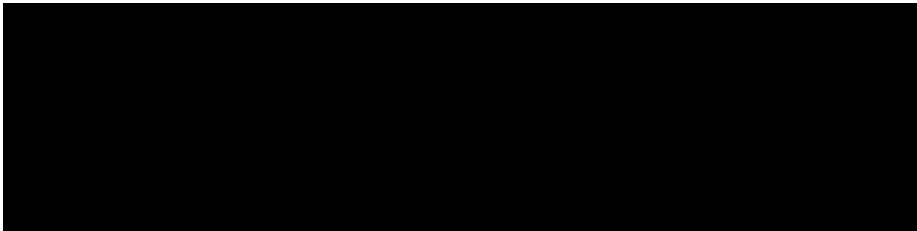
**Figura 118.** Refuerzo vertical en panel ensayo a compresión



Fuente Samuel Gómez

Se ensayo el bloque a compresión, el esfuerzo del bloque fue 5 veces mas grande que el del panel, esto se debió al que el bloque estuvo sometido en todo momento a compresión y el panel por su esbeltez trabajo a flexo-compresión por las juntas que cedieron lateralmente.

**Tabla VI.** Resultado de esfuerzo de bloque y panel



#### **2.6.5.2 Del ensayo a carga horizontal**

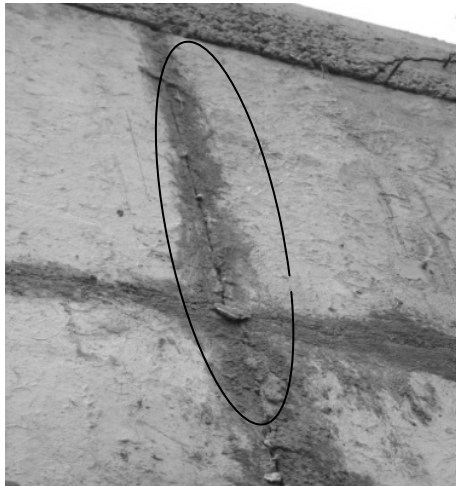
El muro ensayado se comporto de manera satisfactoriamente, las fallas de corte se presentaron en los bloques, cimienta y solera de corona. El sistema trabajo conjuntamente, las primeras fallas se dieron en las juntas de los bloques a los 65.33% de la carga última. Al 86.67% de la carga última se presentaron las fallas de corte en los bloques extremos superior e inferior y a los 7,629.43 kgf que es la carga última, se presentó la falla de corte en la solera de corona, siempre a  $L/3$  de su extremo superior. El muro tuvo una carga horizontal a la rotura de 3464 kgf/m que cumple con la especificación de grado 3 y deformación admisible en cargas horizontales de subgrado "a" de la Norma Técnica Colombiana NTC 2446.

Después del ensayo, el muro de paneles de bloques se recupero no del todo, quedando estable. Los bloques se acomodaron en sus juntas, por lo cual el sistema trabajo rígidamente y no se dieron las grietas longitudinales donde llevaban los refuerzos como sucedió en el ensayo de compresión.



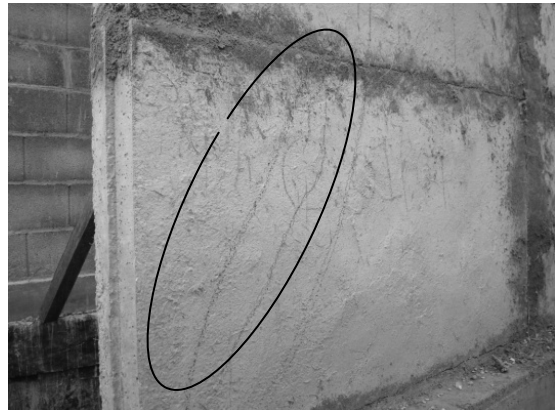
Las deformaciones de desplazamiento y volteo no fueron significativas, por eso no influyeron demasiado en los resultados. De los diagramas carga-deformación del ensayo a carga horizontal se pueden ver que dichas gráficas tienden a una tendencia polinómica, que sigue el comportamiento lógico de un muro de este tipo.

**Figura 119.** Acomodamiento de juntas en muro de a carga horizontal



Fuente Samuel Gómez

**Figura 120.** Falla de corte en bloque de muro a carga horizontal



Fuente Samuel Gómez

**Figura 121.** Falla de corte en solera muro de carga horizontal



Fuente Javier Quiñónez

**Figura 122.** Desprendimiento de bloques en cimiento de muro a carga horizontal



Fuente Samuel Gómez

**Figura 123.** Desmantelamiento de muro carga horizontal



Fuente Mario Corzo

**Figura 124.** Desmantelamiento de muro carga horizontal



Fuente Mario Corzo

### 2.6.5.3 Del ensayo a flexión

De los especímenes ensayados a flexión se observó que el comportamiento de ambos paneles tuvieron características similares siguiendo la misma tendencia, variando un 7.69% la carga última (50.79 kgf) uno respecto al otro. La fallas iniciales se localizaron en la juntas centrales y se dieron al 69.05% de la cargas últimas. El panel tuvo una carga transversal a la rotura de 660.32 kgf/m que cumple con la especificación de grado y deformación admisible en cargas transversales de subgrado “b” de la Norma Técnica Colombiana NTC 2446. En la tabla siguiente se puede observar los resultados de los ensayos.

**Tabla VII.** Resultados de ensayo a flexión de paneles fibrorreforzados

--

Las primeras fallas presentadas por los paneles de debió a que las juntas entre los bloques no estaban bien ajustadas y como se puede observar en la tabla anterior estas fallas sucedieron muy tempranas. Las fallas principales se dieron al  $L/3$  hacia la parte central del panel. No hubo colapso de los bloques, y se pudo notar que las fibras de coco anclaron la matriz permitiendo resistir carga después de ocurrir la carga última, las mismas fueron graduales y no repentinamente como suele suceder.

En los diagramas carga-deformación de ensayo a flexión se puede notar que después de ocurrir las fallas y la carga última, el panel retuvo la carga por algunos segundo, permitiendo botar la carga en ciclos hasta llegar a cero. Se pueden notar en las gráficas como se recuperaron los paneles de su deformación final y las fotografías siguientes muestran las fallas así como lo estable que quedaron los paneles después del ensayo.

**Figura 125.** Primer falla panel a carga de flexión



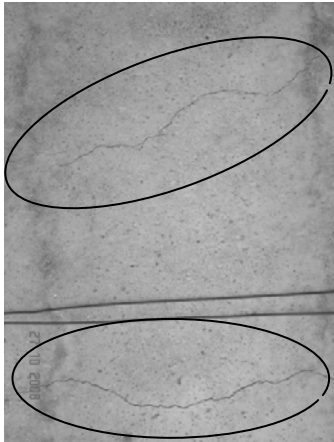
Fuente Javier Quiñónez

**Figura 126.** Falla en junta central panel a carga de flexión



Fuente Javier Quiñónez

**Figura 127.** Fallas de carga última panel a carga de flexión



Fuente Javier Quiñónez

**Figura 128.** Panel estable después de ensayo panel a carga de flexión



Fuente Javier Quiñónez

#### **2.6.5.4 Del ensayo a impacto**

Los especímenes ensayados a impacto tuvieron un comportamiento estable con características similares siguiendo una tendencia lineal en la tabulación de sus datos. En las gráficas, fuerza de impacto (Newton)-deflexiones se puede observar que la energía potencial provocada por la masa fue absorbida y bien distribuida en todo el panel gracias al refuerzo de las fibras en la matriz. Los incrementos de la altura de caída fueron de 10cm y un peso de 30kgf (3 Joules por ciclo). Se llegó a la altura máxima posible de caída y el panel no presentó ninguna fracturación en los bloques, sin embargo se deflectaba con el viento debido a que las juntas centrales cedieron como sucedió en los ensayos anteriores. La Norma Técnica Colombiana NTC 2446 indica que se considera satisfactorio un panel cuando exista un choque de 120 Joules, no presenta deterioro aparente o un choque de 240 Joules, el panel no se rompe y como no hubo deterioro aparente o rotura, cumple con esta normativa.

Los paneles ensayados se presentaron estables y se pudieron retirar completos de la máquina de ensayo sin ningún problema como se puede observar en las fotografías siguientes.

**Figura 129.** Altura de caída de bolsa panel a carga de impacto



Foto Javier Quiñónez

**Foto No. 130.** Golpe de impacto panel a carga de impacto



Foto Javier Quiñónez

**Figura 131.** Fallas en junta central panel a carga de impacto



Fuente Javier Quiñónez

**Figura 132.** Panel estable después de ensayo, panel de carga de impacto



Fuente Javier Quiñónez



## CONCLUSIONES

1. En Guatemala existen en el mercado sistemas constructivos prefabricados para viviendas tradicionales y los mismos son hechos con unidades de mampostería que no presentan ningún tipo de refuerzo en su matriz, los que hacen vulnerables a las diferentes condiciones de carga a los que están expuestos los cerramientos.
2. Con el desarrollo del presente trabajo se obtuvo un sistema constructivo alternativo para cerramientos de viviendas tradicionales, hechos a través de paneles fibrorreforzados con fibra de coco.
3. Este sistema constructivo tiene la ventaja que el levantado de los cerramientos sea rápido y la desventaja de ser pesados, que requieren de un mecanismo que sea capaz de levantar el bloque a la altura del refuerzo vertical para deslizarlos y acomodarlos en su posición.
4. En la producción de los se utilizaron moldes de madera, estos con el uso fueron cambiando sus dimensiones y forma, obteniendo bloques con irregularidades en sus superficies y juntas.
5. La incorporación de las fibras de coco en la matriz de los bloques, hizo incrementar las propiedades de resistencia, haciéndolos más dúciles y

con mayor capacidad de deformación después de alcanzar su máxima carga.

6. Las fibras de coco mantuvieron unido los fragmentos de los bloques sin permitir su desintegración, haciendo que las fallas fueran gradual y no súbitamente como suele suceder en estos cerramientos de viviendas cuando se presentan cargas de sismos, impacto y flexión.
7. La resistencia a compresión del bloque fue 5 veces mayor a la que presentaron los paneles a compresión, los resultados fueron influenciados por la relación de altura del bloque y el panel, haciendo uno trabajara a compresión pura y el otro a flexo-compresión.
8. Los paneles de bloques fibrorreforzados donde mejores resultados se obtuvieron, fue a carga de flexión e impacto, que después de alcanzar su máxima carga tuvieron una recuperación significativa de su deformación, gracias a la absorción y disipación de la energía por medio de las fibras de coco.
9. En el ensayo a carga horizontal, se pudo notar que los elementos del muro trabajaron conjuntamente, fallando las juntas, bloques y solera de corona a corte, y el acero necesario para que fluyera.
10. En todos los paneles ensayados, lo crítico fueron las juntas entre los bloques, las irregularidades de la geometría de las juntas no permitieron



un adecuado asentamiento, y en la aplicación de las cargas sucedió el acomodamiento quedando los bloques desalineados.

11. Entre el refuerzo vertical de los paneles y el mortero de llenado de agujeros no existió buena adherencia permitiendo que el acero fluyera, la proporción utilizada fue de 1:4 al igual que el de los bloques.

12. En los diferentes ensayos realizados, los paneles se presentaron estables después de alcanzar su máxima carga, no presentaron daños significativos y fueron retirados completos sin ningún problema de las máquinas de ensayos y si se hubieran querido darles un uso se pudieron haber reparado.



## RECOMENDACIONES

1. Es necesario que estudiantes de ingeniería civil sigan procesos de investigación sobre sistemas constructivos para viviendas y a los mismos les puedan incorporar fibras naturales o desechos sólidos.
2. Buscar sistemas auto-constructivos alternos que sean rápidos en su ejecución y que brinden seguridad a las personas.
3. Es necesario la elaboración de bloques fibrorreforzados de una matriz cementicia que sea económica y de peso ligero para no hacer demasiado pesado el sistema para que el manejo y manipulación de los mismos sea fácil.
4. Se debe tratar que las juntas de los bloques no queden al centro del panel como sucedió en esta experimentación, que en la parte central fue donde ocurrieron las primeras fallas.
5. Para la producción de bloques es necesario contar con moldes de metal, los cuales tienen mayor vida útil y así evitar irregularidades en sus dimensiones y forma.

6. En la elaboración de la mezcla para los bloques es necesario que las fibras sean bien distribuidas y aplicarles vibración, para evitar las concentraciones de esfuerzos por la aglutinación de fibra y que las mismas pueden disipar la energía a todo el bloque.
7. En el levantamiento de los paneles para cerramientos hay que tomar en cuenta que las juntas de los bloques estén asentadas y echarles una lechada de cemento para que exista adherencia entre los elementos.
8. En las juntas se recomienda que lleve un refuerzo horizontal amarrado al refuerzo vertical, para restringir la fluencia del acero a flexión e impacto.
9. El mortero de llenado de los agujeros se debe cambiar por una proporción más rica en cemento, se recomienda 1:2 que es el doble de los bloques y que así debería de ser, según especificaciones de morteros para pegar unidades de mampostería.

## BIBLIOGRAFÍA

1. Ingeniería Civil y Arquitectura. **Unidades (bloques y ladrillos) de concreto para mampostería no estructural**, interior y chapas de concreto. (ASTM C 129).
2. Angélica María Herrera, v. Germán Guillermo Madrid. **Manual de construcción de mampostería de concreto ICPC**. Instituto Colombiano de productores de cemento.
3. Aldana Aldana, Andrea, Trabajo de Graduación. Diseño del Marco de carga para La determinación de esfuerzos combinados de corte y compresión a escala natural. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, Escuela de Ingeniería Civil, noviembre de 2005. Pág. 1 – 5.
4. Escuela de construcción civil. **Revista de la construcción, Volumen 3, Diciembre 2004**. Pontificia Universidad Católica de Chile.
5. Dra. Ruby de Gutiérrez. **Materiales compuestos fibrorreforzados**. Santiago de Cali, Colombia, 1998.
6. Arjona, Silvio Delvasto. **Materiales compuestos fibrorreforzados**. Santiago de Cali, Colombia, 1998.

7. Askeland, Donald R. **La ciencia e ingeniería de los materiales. 4<sup>a</sup> ed.** Mexico: Thomson, 2004.
  
8. Álvarez Molineros, Demis Omar. Trabajo de Graduación, Caracterización físico – mecánica de morteros fibrorreforzados de matriz cementicia y fibra de coco. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, Escuela de ingeniería Civil, 2008.
  
9. **Manual de construcción, evaluación y rehabilitación sismo resistente de viviendas de mampostería.** Asociación Colombiana de ingeniería sísmica.
  
10. Murillo G. Olga Marta. Tecnología de alimentos. **Dirección de Mercadeo y Agroindustria,** Área Desarrollo de Producto. Costa Rica, 2002.
  
11. Toj Atz, Oscar David. Caracterización física, mecánica y química de fibras de desecho del fruto del coco para su utilización en matrices fibrorreforzadas. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, Trabajo de Graduación de Ingeniería Civil, 2008.
  
12. [www.cempro.com/index.php](http://www.cempro.com/index.php) (noviembre 2008)
  
13. **Corporación Aceros de Guatemala**

14. Instituto Colombiano de Normas Técnicas Y Certificación (ICONTEC.).  
Norma Técnica Colombiana (NTC 2446). Colombia 1988-10-19.
  
15. Sociedad Americana para Ensayos de Materiales ASTM  
[www.astm.org/Standard/E-72-05 y E-695-03](http://www.astm.org/Standard/E-72-05_y_E-695-03) (marzo 2008)
  
16. Quintero García, Sandra Liliana. **Uso de fibra de estopa de coco para mejorar las propiedades mecánicas del concreto.** Universidad Nacional de Colombia Sede Palmira, Colombia, 2005.
  
17. McCormac. **Diseño de Concreto Reforzado.** 5ta. edición, AlfaOmega. México 2007.





## ANEXOS

### EQUIPO Y HERRAMEINTA UTILIZADA EN LA EXPERIMENTACIÓN Y EVALUACIÓN DEL SISTEMA CONSTRUCTIVO “SAM”

**Tabla VIII.** Equipo de ensayos

No.	Descripción
1	Andamios
2	Aparato para ensayo a carga horizontal (chapulin)
3	Aparato para ensayo a flexión e impacto
4	Balanza
5	Barreno
6	Bolsa de impacto(gabardina con refuerzo de cuero)
7	Bomba hidráulica ENERPAC P-462 con accesorios y mangueras de presión hidráulica
8	Cortadora de madera
9	Deformómetros con lecturas de 0.001 plg (grizzly-com)
10	Desatornillador eléctrico
11	Equipo de medición de deflexión (marco CII, USAC)
12	Escaleras de aluminio
13	Estadal de 3m
14	Gato hidráulico de 10 toneladas
15	Lingote de acero para la prueba de flexión
16	Máquina vibratoria
17	Polea ASTM (SBK)
18	Sepilladora de madera
19	Soldadura 220v
20	Troquer

**Tabla IX.** Herramienta

<b>No.</b>	<b>Descripción</b>
1	Achuela
2	Alicates
3	Almágnas
4	Apisonadores
5	Arco de sierra
6	Azadones
7	Barretas
8	Brocas
9	Cangrejos
10	Carretas
11	Cierras
12	Cucharas de albañil
13	Desarmadores
14	Escobas
15	Escuadras
16	Formón
17	Grifas
18	Hilo de Albañil
19	Machos
20	Martillos
21	Metro
22	Nivel de burbuja
23	Palas
24	Plomo
25	Regla milimetrada
26	Sargentos
27	Tamiz
28	Tensas

## FIGURAS DE EQUIPO Y HERRAMIENTA

**Figura 133.** Boba hidráulica ENERPAC P- 462 con accesorios y manguera hidráulicas



Fuente Javier Quiñónez

**Figura 134.** Polea ASTM y herramienta



Fuente Javier Quiñónez

**Figura 135.** Equipo y herramienta de ensayo



Fuente Javier Quiñónez

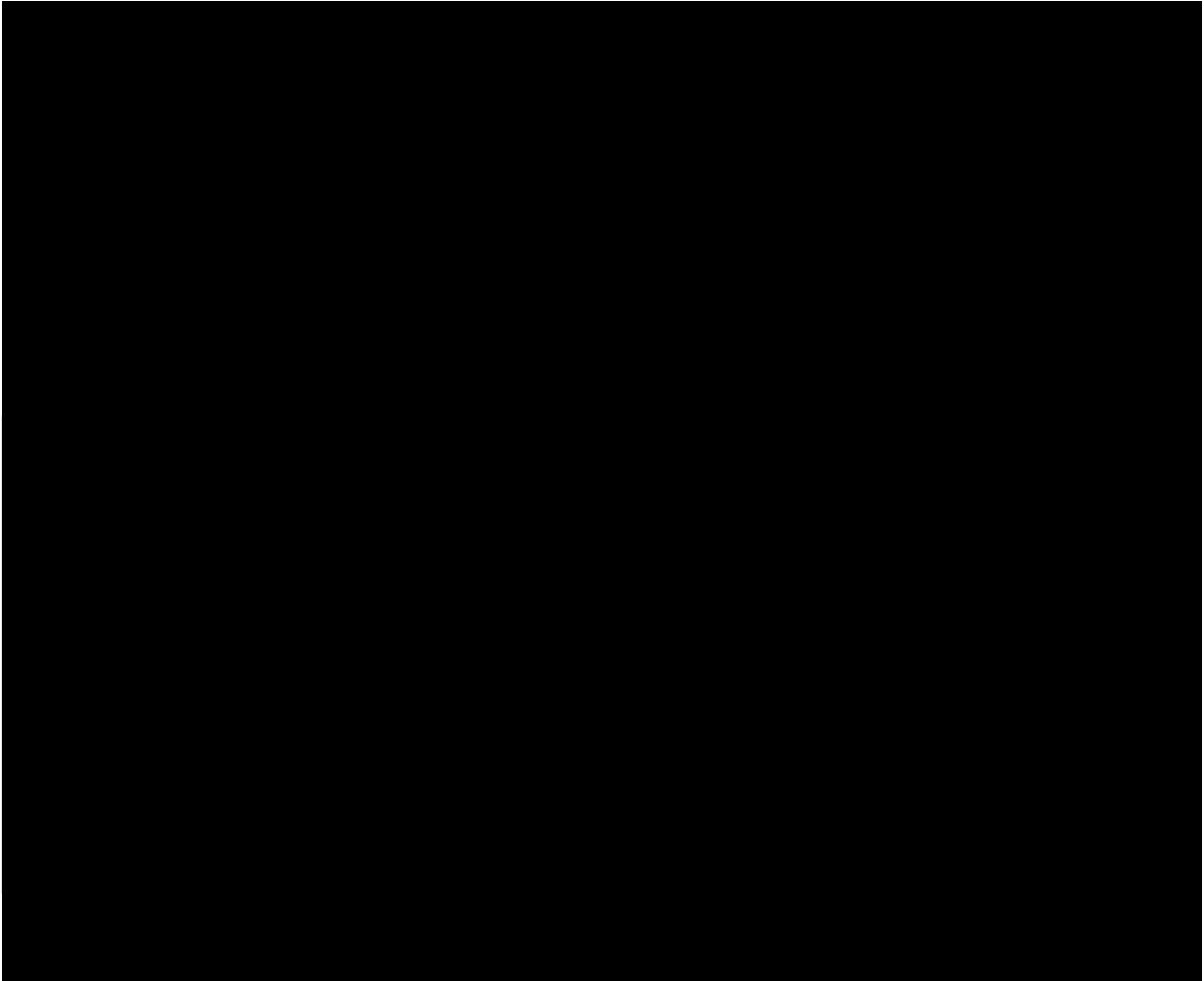
**Figura 136.** Jefes de sección y auxiliares de laboratorio, CII, USAC



Fuente Javier Quiñónez

## FORMATO DE TRABAJO

**Tabla X.** Formato de registro de datos

A large black rectangular area covering the majority of the page, indicating that the content of the table has been redacted.