



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

**COMPARACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS Y PROPIEDADES
MECÁNICAS EN MORTEROS REFORZADOS, CON FIBRA NATURAL EXTRAÍDA
DEL TRONCO DE LA PALMA DE COCO Y FIBRA DE POLIPROPILENO**

Paúl Emanuel Monzón Tezó

Asesorado por la Inga. Dilma Yanet Mejicanos Jol

Guatemala, junio de 2017

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**COMPARACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS Y PROPIEDADES
MECÁNICAS EN MORTEROS REFORZADOS, CON FIBRA NATURAL EXTRAÍDA
DEL TRONCO DE LA PALMA DE COCO Y FIBRA DE POLIPROPILENO**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

PAÚL EMANUEL MONZÓN TEZÓ

ASESORADO POR LA INGA. DILMA YANET MEJICANOS JOL

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO CIVIL

GUATEMALA, JUNIO DE 2017

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL I	Ing. Ángel Roberto Sic García
VOCAL II	Ing. Pablo Christian De León Rodríguez
VOCAL III	Ing. José Milton De León Bran
VOCAL IV	Br. Jurgen Andoni Ramírez Ramírez
VOCAL V	Br. Oscar Humberto Galicia Núñez
SECRETARIO	Inga. Lesbia Magalí Herrera López

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

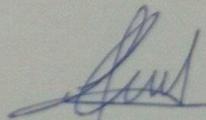
DECANO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
EXAMINADOR	Ing. Juan Ramón Ordóñez Hernández
EXAMINADOR	Ing. Fredy Adolfo Alvarado España
EXAMINADOR	Ing. Luis Eduardo Portillo España
SECRETARIO	Inga. Lesbia Magalí Herrera López

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

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

**COMPARACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS Y PROPIEDADES MECÁNICAS EN
MORTEROS REFORZADOS, CON FIBRA NATURAL EXTRAÍDA DEL TRONCO DE LA
PALMA DE COCO Y FIBRA DE POLIPROPILENO**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Civil,
con fecha 19 de marzo de 2015.



Paúl Emanuel Monzón Tezó



Guatemala, 28 de febrero de 2017

Ingeniero
José Gabriel Ordoñez Morales
Área de Materiales y Construcciones Civiles
COORDINADOR

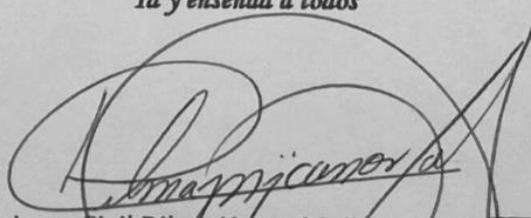
Ingeniero Ordoñez

Me dirijo a usted para informarle, que he revisado el trabajo de graduación: **COMPARACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS Y PROPIEDADES MECÁNICAS EN MORTEROS REFORZADOS, CON FIBRA NATURAL EXTRAÍDA DEL TRONCO DE LA PALMA DE COCO Y FIBRA DE POLIPROPILENO**, elaborado con el estudiante universitario Paúl Emanuel Monzón Tezó, quien contó con la asesoría de la suscrita.

Considerando que el trabajo desarrollado por el estudiante universitario Monzón Tezó, satisface los requisitos exigidos en el reglamento de graduación, por lo cual recomiendo su aprobación.

Atentamente,

"Id y enseñad a todos"


Inga. Civil Dilma Yanet Mejicanos Jol
Col. 5947
ASESORA

Dilma Y. Mejicanos Jol
Ingeniera Civil
Col. 5947



USAC
TRICENTENARIA
Universidad de San Carlos de Guatemala
FACULTAD DE INGENIERÍA

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

ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL



Guatemala,
28 de marzo de 2017

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

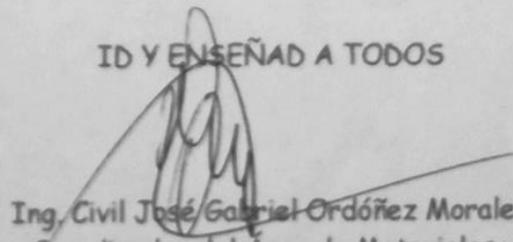
Estimado Ingeniero Montenegro.

Le informo que he revisado el trabajo de graduación **COMPARACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS Y PROPIEDADES MECÁNICAS EN MORTEROS REFORZADOS, CON FIBRA NATURAL EXTRAÍDA DEL TRONCO DE LA PALMA DE COCO Y FIBRA DE POLIPROPILENO** desarrollado por el estudiante de Ingeniería Civil Paúl Emanuel Monzón Tezó quien contó con la asesoría de la Inga. Dilma Yanet Mejicanos Jol.

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

Atentamente,

Y ENSEÑAD A TODOS


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



FACULTAD DE INGENIERÍA
ÁREA DE MATERIALES Y
CONSTRUCCIONES CIVILES
USAC

/mm



Más de 136 años de Trabajo y Mejora Continua



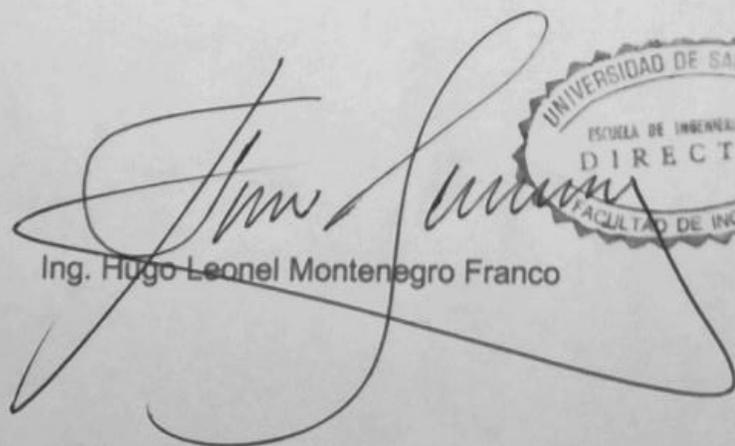
USAC
TRICENTENARIA
Universidad de San Carlos de Guatemala
FACULTAD DE INGENIERÍA

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

ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL



El director de la Escuela de Ingeniería Civil, después de conocer el dictamen del Asesora Inga. Dilma Yanet Mejicanos Jol y del Coordinador del Departamento de Materiales y Construcciones Civiles Ing. José Gabriel Ordóñez Morales, al trabajo de graduación del estudiante Paul Emanuel Monzón Tezó **COMPARACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS Y PROPIEDADES MECÁNICAS EN MORTEROS REFORZADOS, CON FIBRA NATURAL EXTRAÍDA DEL TRONCO DE LA PALMA DE COCO Y FIBRA DE POLIPROPILENO** da por este medio su aprobación a dicho trabajo.


Ing. Hugo Leonel Montenegro Franco



Guatemala, junio 2017

/mrm.



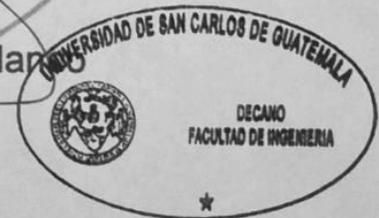
Mas de 136 años de Trabajo y Mejora Continua



El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Civil, al trabajo de graduación titulado: **COMPARACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS Y PROPIEDADES MECÁNICAS EN MORTEROS REFORZADOS, CON FIBRA NATURAL EXTRAÍDA DEL TRONCO DE LA PALMA DE COCO Y FIBRA DE POLIPROPILENO**, presentado por el estudiante universitario: **Paúl Emanuel Monzón Tezó**, y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, se autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE.

Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
Decano



Guatemala, junio de 2017

ACTO QUE DEDICO A:

Dios	Quien me dio todo en la vida, por cuidar de mí y mi familia, por brindarme fortaleza y sabiduría para enfrentar cada situación de la vida.
Santo Hermano Pedro	Por ayudarme a sanar y crecer personal, espiritual y académicamente.
Mis padres	Felícito Amado Monzón Raymundo y Sonia Beatriz Tezó Corado, por darme la vida, cuidarme, quererme, aconsejarme y educarme en todas las etapas de mi vida, haciendo de mí un hombre de bien.
Mi hermana	Lucía Beatriz Monzón Tezó, por ser parte importante y una fuente de alegría en mi vida, y ser mi mejor amiga y compañera fiel.
Mis abuelos	Felícito Amado Monzón Quiñónez, Olivia Raymundo Corleto, Luis Tezó y Egidia Corado, por darme un regalo tan grande como mis padres.
Mis amigos	Que me acompañaron en mi vida universitaria.

AGRADECIMIENTOS A:

Universidad de San Carlos de Guatemala	Por darme el privilegio de ser parte de esta Alma Máter.
Facultad de Ingeniería	Por darme la oportunidad de estar en sus aulas y por todos los conocimientos adquiridos y experiencias vividas.
Mis padres y hermana	Por todo el apoyo y comprensión que me dieron en todas las etapas de mi vida, en especial la universitaria. Este logro no hubiera sido posible sin ustedes.
Inga. Dilma Yanet Mejicanos Jol	Por su dedicación y tiempo invertido en este trabajo; por sus consejos para mi vida profesional y también por compartir sus conocimientos y experiencias. Gracias por su amistad.
Sección de Agregados, Concretos y Morteros del Centro de Investigaciones de Ingeniería	Especialmente a Iván Cano, Elder Ramos, César Vásquez y Guillermo Lucero, por su colaboración y ayuda en la realización de este trabajo.

Mis amigos

Wendy Montenegro, Waldemar Barrios, Julio Álvarez e Iván Cano, gracias por su valiosa ayuda para realizar este trabajo. Pedro Aguilar, Nery Velásquez, Bárbara Maldonado, Carmen García, Faridi Góngora y demás amigos, por su valioso apoyo, ayuda, amistad incondicional y experiencias compartidas. Gracias a todos por hacer divertida y amena mi vida universitaria.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE GENERAL.....	I
ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	IX
LISTA DE SÍMBOLOS.....	XIII
GLOSARIO.....	XV
RESUMEN.....	XXI
OBJETIVOS.....	XXIII
INTRODUCCIÓN.....	XXV
1. EL COCO.....	1
1.1. Taxonomía.....	1
1.2. Origen del cultivo.....	1
1.3. Descripción botánica.....	2
1.3.1. Tronco.....	2
1.3.2. Hojas.....	3
1.3.3. Flores.....	3
1.3.4. Polinización.....	3
1.3.5. Fruto.....	4
1.3.6. Raíces.....	4
1.3.7. Propagación.....	4
1.4. Importancia económica.....	4
1.5. Distribución.....	4
1.6. Requerimientos edafoclimáticos.....	5
1.6.1. Temperatura.....	5
1.6.2. Humedad relativa.....	5
1.6.3. Precipitación.....	5

1.6.4.	Intensidad lumínica	6
1.6.5.	Viento	6
1.6.6.	Suelo	6
1.6.7.	Heladas	6
1.6.8.	Altitud	6
1.7.	Particularidades del cultivo.....	7
1.7.1.	Terreno.....	7
1.7.2.	Ahoyado	7
1.7.3.	Trasplante	7
1.7.4.	Fertilización	8
1.7.5.	Riego.....	8
1.7.6.	Malas hierbas.....	8
1.8.	Cosecha.....	8
1.9.	Tipos de cocoteros.....	8
1.9.1.	Cocoteros gigantes	9
1.9.2.	Cocoteros enanos	9
1.9.3.	Híbridos.....	9
1.10.	Plagas y enfermedades.....	10
1.10.1.	Anillo rojo.....	10
1.10.2.	Marchitez sorpresiva	10
1.10.3.	Pudrición del cogollo	11
1.10.4.	Exudado del tallo.....	11
1.10.5.	Mancha gris de la hoja	11
1.10.6.	Insectos dañinos más comunes en los cocoteros ...	12
1.11.	Aplicaciones	13
1.11.1.	Industria.....	13
1.11.2.	Ganadería	13
1.11.3.	Agricultura	13
1.11.4.	Construcción	13

1.11.5.	Artesanía	14
1.11.6.	Alimentación	14
1.11.7.	Medicina	14
1.11.8.	Ecología.....	14
1.11.9.	Turismo.....	14
1.11.10.	Jardinería.....	15
2.	FIBRAS	17
2.1.	Tipos y propiedades de fibras.....	18
2.1.1.	Fibras de acero.....	18
2.1.2.	Fibras de vidrio	19
2.1.3.	Fibras sintéticas.....	20
2.1.3.1.	Acrílico	21
2.1.3.2.	Carbón.....	21
2.1.3.3.	Nylon	21
2.1.3.4.	Poliéster.....	22
2.1.3.5.	Polietileno	23
2.1.3.6.	Polipropileno.....	23
2.1.4.	Fibras naturales.....	24
2.1.4.1.	Fibras naturales no procesadas.....	25
2.1.4.1.1.	Fibras de sisal	25
2.1.4.1.2.	Fibra de maguey o henequén	25
2.1.4.1.3.	Fibra de kenaf.....	26
2.1.4.1.4.	Fibra de coco.....	26
2.1.4.2.	Fibras naturales procesadas.....	27
2.1.5.	Sistemas de múltiples fibras	28
2.2.	Ventajas y desventajas del uso de fibras.....	28

3.	MORTEROS	31
3.1.	Generalidades	31
3.2.	Componentes de los morteros	31
3.2.1.	Cemento	32
3.2.1.1.	Cemento Portland	32
3.2.1.2.	Cemento de albañilería	32
3.2.2.	Cal	33
3.2.3.	Agregados	34
3.2.4.	Agua	36
3.2.5.	Aditivos	36
3.2.5.1.	Incluser de aire	37
3.2.5.2.	Acelerantes	37
3.2.5.3.	Retardantes	37
3.2.5.4.	Retardantes para extender la vida	37
3.2.5.5.	Repelentes integrales de agua	38
3.2.5.6.	Modificadores de adherencia	38
3.2.5.7.	Pigmentos de color	38
3.2.5.8.	Inhibidores de corrosión	38
3.3.	Tipos de morteros	39
3.3.1.	De acuerdo al medio	39
3.3.1.1.	Aéreos	39
3.3.1.2.	Hidráulicos	39
3.3.2.	De acuerdo a su uso	39
3.3.2.1.	Morteros de levantado	40
3.3.2.2.	Mortero de acabado	40
3.3.3.	De acuerdo a la Norma NTG 41050	41
3.3.4.	De acuerdo al aglomerante que constituye el mortero	46
3.3.4.1.	Morteros de cemento	46

	3.3.4.2.	Morteros de cal	46	
	3.3.4.3.	Morteros de yeso	47	
	3.3.4.4.	Morteros bastardo.....	47	
3.4.		Propiedades de los morteros.....	48	
	3.4.1.	Propiedades en estado plástico.....	48	
		3.4.1.1.	Trabajabilidad	48
		3.4.1.2.	Masa unitaria	49
		3.4.1.3.	Contenido de aire	49
		3.4.1.4.	Velocidad de endurecimiento.....	50
		3.4.1.5.	Retención de agua.....	50
	3.4.2.	Propiedades en estado endurecido	50	
		3.4.2.1.	Resistencia a compresión.....	51
		3.4.2.2.	Resistencia a tensión.....	51
		3.4.2.3.	Resistencia a flexión.....	51
		3.4.2.4.	Adherencia.....	52
		3.4.2.5.	Variaciones de volumen	52
		3.4.2.6.	Permeabilidad.....	53
		3.4.2.7.	Eflorescencia	53
		3.4.2.8.	Durabilidad.....	53
		3.4.2.9.	Apariencia.....	54
3.5.		Ensayos aplicados a morteros.....	54	
	3.5.1.	Ensayo en estado plástico	54	
		3.5.1.1.	Trabajabilidad	54
		3.5.1.2.	Masa unitaria	55
		3.5.1.3.	Contenido de aire	56
		3.5.1.4.	Velocidad de endurecimiento.....	56
		3.5.1.5.	Retención de agua.....	57
	3.5.2.	Ensayos en estado endurecido.....	58	
		3.5.2.1.	Resistencia a compresión.....	58

	3.5.2.2.	Resistencia a tensión	58
	3.5.2.3.	Resistencia a flexión	59
	3.5.3.	Adherencia	59
	3.5.4.	Variaciones de volumen	60
	3.5.5.	Permeabilidad	60
	3.5.6.	Otros ensayos	61
	3.5.6.1.	Efecto de las impurezas orgánicas sobre el mortero	61
3.6.		Morteros modificados con fibras	62
	3.6.1.	Definición.....	62
	3.6.2.	Antecedentes	62
	3.6.3.	Fibras a utilizar	64
4.		DESARROLLO EXPERIMENTAL	65
4.1.		Análisis de las fibras a utilizar	65
	4.1.1.	Fibra de polipropileno.....	65
	4.1.2.	Fibra natural extraída del tronco de la palma de coco.....	66
4.2.		Análisis del agregado fino	69
	4.2.1.	Granulometría	70
	4.2.2.	Impurezas orgánicas	72
4.3.		Diseños de morteros	72
	4.3.1.	Diseño teórico de morteros	73
	4.3.1.1.	Diseño teórico de mortero sin adición de fibra	73
	4.3.1.2.	Diseño teórico de mortero con fibra de polipropileno	74

4.3.1.3.	Diseño teórico de mortero con fibra natural extraída del tronco de la palma de coco	74
4.3.2.	Diseño práctico de morteros	74
4.3.2.1.	Elaboración de probetas de ensayo	75
5.	RESULTADOS	81
5.1.	Resultados de ensayos en estado plástico.....	81
5.1.1.	Mortero sin adición de fibra	82
5.1.2.	Mortero con fibra de polipropileno	84
5.1.3.	Mortero con fibra natural extraída del tronco de la palma de coco.....	89
5.2.	Resultados de ensayos en estado endurecido	95
5.2.1.	Resistencia a compresión.....	95
5.2.2.	Resistencia a tensión.....	101
5.2.3.	Resistencia a flexión.....	107
6.	COMPARACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	109
6.1.	Mortero sin adición de fibra	109
6.2.	Mortero con fibra de polipropileno	110
6.3.	Mortero con fibra natural extraída del tronco de la palma de coco	111
6.4.	Comparación de la relación costo-resistencia entre las diferentes fibras usadas.....	112
6.5.	Interpretación de resultados	113
6.5.1.	Análisis de la resistencia a compresión	117
6.5.2.	Análisis de la resistencia a tensión	119
6.5.3.	Análisis de la resistencia a flexión	121

CONCLUSIONES..... 125
RECOMENDACIONES 127
BIBLIOGRAFÍA..... 129
APÉNDICES..... 131
ANEXOS..... 131

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Tronco de la palma de coco recién aserrada	2
2.	Muestra de fibra de polipropileno usada	65
3.	Tala de la palma de coco	66
4.	Trazo de cuadrícula de acuerdo a la Norma ASTM D143-83.....	67
5.	Muestra de fibra sin extraer de la corteza	68
6.	Muestra de fibra del tronco de la palma de coco utilizada.....	68
7.	Curva granulométrica del agregado fino	71
8.	Materiales a usar en la mezcla patrón.....	77
9.	Moldes de probetas a utilizar	79
10.	Velocidad de endurecimiento de mezcla de control	83
11.	Velocidad de endurecimiento de mezcla FP – 100	85
12.	Velocidad de endurecimiento de mezcla FP – 125	86
13.	Velocidad de endurecimiento de mezcla FP – 75	87
14.	Velocidad de endurecimiento de mezcla FP – 130	88
15.	Velocidad de endurecimiento de mezcla FP – 115	89
16.	Velocidad de endurecimiento de mezcla FC – 100	90
17.	Velocidad de endurecimiento de mezcla FC – 125	91
18.	Velocidad de endurecimiento de mezcla FC – 75	92
19.	Velocidad de endurecimiento de mezcla FC – 130	93
20.	Velocidad de endurecimiento de mezcla FC – 115	94
21.	Comparación de la trabajabilidad de los morteros	114
22.	Comparación de los tiempos de fraguado de los morteros	115

23.	Comparación de la resistencia a compresión, control y fibra de polipropileno.....	117
24.	Comparación de la resistencia a compresión, control y fibra natural del tronco de la palma de coco	118
25.	Comparación de la resistencia a tensión, control y fibra de polipropileno	119
26.	Comparación de la resistencia a tensión, control y fibra natural del tronco de la palma de coco	120
27.	Comparación de la resistencia de flexión a los 28 días	122

TABLAS

I.	Clasificación botánica	1
II.	Guía para la selección de morteros de mampostería	43
III.	Guía de selección para morteros de reparación y acabado.....	43
IV.	Requisitos para la especificación por propiedades.....	44
V.	Requisitos para la especificación por proporciones.....	45
VI.	Masa de los materiales de mortero.....	45
VII.	Clasificación de los morteros de acuerdo a su masa unitaria	49
VIII.	Características físicas.....	69
IX.	Granulometría del agregado fino	71
X.	Identificación y proporción de mezclas	75
XI.	Cronograma de elaboración de mezclas, desencofrado y ensayos.....	76
XII.	Datos ensayo de tiempo de fraguado de mezcla de control	83
XIII.	Datos ensayo de tiempo de fraguado de FP – 100.....	84
XIV.	Datos ensayo de tiempo de fraguado de FP – 125.....	85
XV.	Datos ensayo de tiempo de fraguado de FP – 75.....	86
XVI.	Datos ensayo de tiempo de fraguado de FP – 130.....	87
XVII.	Datos ensayo de tiempo de fraguado de FP – 115.....	88

XVIII.	Datos ensayo de tiempo de fraguado de FC – 100.....	90
XIX.	Datos ensayo de tiempo de fraguado de FC – 125.....	91
XX.	Datos ensayo de tiempo de fraguado de FC – 75.....	92
XXI.	Datos ensayo de tiempo de fraguado de FC – 130.....	93
XXII.	Datos ensayo de tiempo de fraguado de FC – 115.....	94
XXIII.	Resumen de trabajabilidad y tiempo de fraguado	95
XXIV.	Resultados a compresión de mezcla control.....	96
XXV.	Resultados a compresión de mezcla con 100 % de polipropileno	96
XXVI.	Resultados a compresión de mezcla con 100 % de coco	97
XXVII.	Resultados a compresión de mezcla con 125 % de polipropileno	97
XXVIII.	Resultados a compresión de mezcla con 125 % de coco	98
XXIX.	Resultados a compresión de mezcla con 75 % de polipropileno	98
XXX.	Resultados a compresión de mezcla con 75 % de coco	99
XXXI.	Resultados a compresión de mezcla con 130 % de polipropileno	99
XXXII.	Resultados a compresión de mezcla con 130 % de coco	100
XXXIII.	Resultados a compresión de mezcla con 115 % de polipropileno	100
XXXIV.	Resultados a compresión de mezcla con 115 % de coco	101
XXXV.	Resultados a tensión de mezcla de control.....	101
XXXVI.	Resultados a tensión de mezcla con 100 % de polipropileno	102
XXXVII.	Resultados a tensión de mezcla con 100 % de coco	102
XXXVIII.	Resultados a tensión de mezcla con 125 % de polipropileno	103
XXXIX.	Resultados a tensión de mezcla con 125 % de coco	103
XL.	Resultados a tensión de mezcla con 75 % de polipropileno	104
XLI.	Resultados a tensión de mezcla con 75 % de coco	104
XLII.	Resultados a tensión de mezcla con 130 % de polipropileno	105
XLIII.	Resultados a tensión de mezcla con 130 % de coco	105
XLIV.	Resultados a tensión de mezcla con 115 % de polipropileno	106
XLV.	Resultados a tensión de mezcla con 115 % de coco	106
XLVI.	Resultados de flexión a 28 días de las mezclas.....	107

XLVII.	Resultados promedio de la mezcla control	109
XLVIII.	Resultados promedio de mezclas con fibra de polipropileno	110
XLIX.	Resultados promedio de mezclas con fibra del tronco de la palma de coco	111
L.	Comparación de costos de las fibras utilizadas	112
LI.	Variación en porcentaje de la resistencia a compresión	118
LII.	Variación en porcentaje de la resistencia a tensión	120
LIII.	Variación en porcentaje de la resistencia a flexión	122

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
A.F.	Agregado fino
cm	Centímetro
cm²	Centímetro cuadrado
°C	Grado Celsius
g	Gramo
g/m³	Gramo por metro cúbico
kg	Kilogramo
kg/cm²	Kilogramo por centímetro cuadrado
kg/m³	Kilogramo por metro cúbico
lb	Libra
PSI	Libra por pulgada cuadrada
L	Litro
±	Más menos
MPa	Megapascal
m	Metro
m²	Metro cuadrado
m³	Metro cúbico
µm	Micrómetros
mm	Milímetro
mΩ	Miliohmio
min	Minuto
E	Módulo de elasticidad
Nro.	Número

%	Porcentaje
pulg	Pulgada
pulg²	Pulgada cuadrada
A/C	Relación agua – cemento
f'c	Resistencia de diseño del mortero
fc	Resistencia real del mortero

GLOSARIO

Adherencia	Atracción molecular entre las superficies de dos cuerpos heterogéneos puestos en contacto.
Aditivo	Son productos que se adicionan en pequeñas proporciones al mortero durante el mezclado, con el propósito de producir una modificación en algunas de sus propiedades originales o en el comportamiento del concreto en su estado fresco y/o en estado endurecido.
Aglomerante	Material que sirve para unir dos o más elementos, en este caso es el cemento, el cual une los agregados.
Agregado	Material inorgánico natural o artificial que está clasificado como fino y grueso, está embebido en la pasta y ocupa aproximadamente el 80 % del volumen del mortero.
Agregado fino	Agregado que pasa el tamiz de 4,75 milímetros (#4).
Agregado grueso	Agregado retenido en el tamiz de 4,75 milímetros (#4).

ASTM	Siglas en inglés de la Sociedad Americana para el Ensayo e Inspección de los Materiales (<i>American Society for Testing and Materials</i>).
Coguanor	Siglas de la Comisión Guatemalteca de Normas.
Composite	Material compuesto; material que resulta de la combinación de otros dos: uno que actúa como matriz y otro en forma de fibras, partículas o láminas que actúan como refuerzo.
Edafoclimático	Perteneiente o relativo al suelo y clima.
Encofrado	Sistema de moldes temporales o permanentes que se utilizan para dar forma al mortero u otros materiales similares.
FHA	Instituto de Fomento de Hipotecas Aseguradas.
Fibrorreforzado	Material conformado por una matriz cementicia y por una fase reforzante constituida por las fibras.
Filamento	Hilillo natural o artificial, o cualquier material filiforme que compone las fibras.

Flujo	Propiedad de un mortero, que depende de la cantidad de agua que tiene. Se mide en laboratorio, indicando el porcentaje de incremento en el diámetro de la base de un cono truncado de mortero, cuando se coloca sobre una mesa de flujo.
Fraguado	Proceso de endurecimiento y pérdida de plasticidad del concreto, procedente de la reacción química del cemento y el agua.
Granulometría	Es la medición y graduación que se lleva cabo de los agregados, así como de los suelos.
Heterogéneo	Que está formado por elementos de distinta clase o naturaleza.
Homogéneo	Que está formado por elementos con una serie de características comunes referidas a su clase o naturaleza que permiten establecer entre ellos una relación de semejanza.
Material compuesto	Combinación de dos o más materiales que difieren en forma y en composición química.
Matriz	En morteros fibrorreforzados, son los elementos del mortero.

Meristemático	Tejido vegetal que permite que se produzca el crecimiento del árbol en sentido longitudinal y diametral.
NTG	Siglas de Norma Técnica Guatemalteca.
Pasta	Constituyente del concreto y mortero consiste en cemento y agua.
Puzolana	Materiales silíceos y aluminosos, tales como la ceniza volante o el humo de sílice, que por sí mismos poseen poco o ningún valor cementante, pero que cuando están finamente molidos y en presencia de agua reaccionan con el hidróxido de calcio a temperaturas normales, para formar compuestos que poseen propiedades cementantes.
Rigidez	Es una medida de la resistencia a las deformaciones elásticas producidas por un material que contempla la capacidad de un elemento estructural para soportar esfuerzos sin tener grandes deformaciones.
Segregación	Separación de los componentes del mortero fresco (agregados y pasta), resultando en una mezcla sin uniformidad.
Tenacidad	Propiedad de los cuerpos que resisten a los esfuerzos de tracción deformándose y estirándose antes de romperse.

Trabajabilidad

Es la propiedad del mortero y concreto fresco que determina sus características de trabajo, es decir; la facilidad para su mezclado, colocación, moldeo y acabado.

RESUMEN

El trabajo de investigación que se presenta a continuación muestra la comparación y el análisis del uso de fibra como elementos de refuerzo en morteros, con el fin de determinar si estas afectan las características físicas y mejoran las propiedades mecánicas.

Para llevar a cabo la investigación se usaron dos tipos de fibras: de polipropileno y natural extraída del tronco de la palma de coco. Estas fibras se adicionaron en diferentes proporciones, que van desde el 75 % hasta el 130 % de la proporción recomendada para utilizar la fibra de polipropileno, estas mezclas fibrorreforzadas se compararon entre ellas y con una mezcla patrón, la cual no fue fibrorreforzada.

Por cada mezcla elaborada se realizaron ensayos de trabajabilidad, velocidad de endurecimiento, resistencia a compresión, tensión y flexión. Todos estos ensayos están basados en especificaciones establecidas en las normas Coguanor y ASTM. Estos ensayos se realizaron en el laboratorio de Agregados Concretos y Morteros del Centro de Investigaciones de Ingeniería/USAC.

Con los resultados obtenidos se encontró que la incorporación de fibras al mortero, sin importar el tipo aumentan el tiempo de fraguado, la resistencia a flexión y a tensión. Las fibras también ayudaron a crear un material menos frágil y al momento de la falla los elementos fibrorreforzados no colapsaron debido al anclaje de la fibra con el mortero, caso contrario ocurrió con las muestras de control, ya que estas si colapsaron súbitamente.

OBJETIVOS

General

Comparar las características físicas y mecánicas de morteros reforzados, con fibra natural extraída del tronco de la palma de coco y fibra de polipropileno.

Específicos

1. Establecer una relación entre la cantidad de fibra adiciona y el desempeño de la resistencia de compresión, tensión y flexión.
2. Verificar que la proporción recomendada para la fibra de polipropileno sea la que presente mejores desempeños mecánicos.
3. Determinar la contribución que tiene la fibra de polipropileno en las propiedades mecánicas de los morteros reforzados con esta fibra.
4. Describir el efecto que tiene la fibra natural extraída del tronco de la palma de coco en las propiedades mecánicas de los morteros reforzados con esta fibra.
5. Establecer la mejor proporción para usar la fibra natural extraída de la palma de coco

6. Analizar si la adición de fibra de polipropileno y del tronco de la palma de coco afectan las características en estado plástico.

INTRODUCCIÓN

El cultivo de la palma de coco está difundido por todo el mundo y es de los árboles más sembrados en el planeta. Su importancia económica es tan significativa que el desarrollo de varias culturas en los trópicos ha estado ligado al cultivo del coco. Sin embargo, en Guatemala su uso se limita a la explotación del fruto para elaborar aceites y otros productos alimenticios; la madera, para hacer muebles y construcciones pequeñas, y la fibra del tronco se considera desperdicio de los aserraderos y carpinterías, y se usa como leña.

Actualmente, la tendencia es el desarrollo de nuevos materiales de construcción, más asequibles, económicos y ecológicos, mediante la utilización de los recursos locales y la mano de obra disponibles en las comunidades. En diferentes países y universidades del mundo se realizan estudios sobre materiales fibrorreforzados con fibras sintéticas o naturales. Se han realizado investigaciones acerca del uso de las diferentes partes de la palma de coco en la ingeniería civil. Sin embargo, no se han efectuado estudios respecto al uso de la fibra natural extraída del tronco de la palma de coco como refuerzo de morteros.

Las fibras de acero, vidrio o polipropileno son alternativas viables para reforzar morteros, pero son poco factibles y asequibles en Guatemala. Sin embargo, la fibra natural extraída del tronco de la palma de coco puede ser una posibilidad real y factible para ser sustituto de esas fibras, con lo cual se podrían reducir costos, ya que no se necesitan otros tipos de fibras para reforzar morteros y concretos, debido a que se tiene disponibilidad de esta fibra en las zonas costeras de Guatemala.

Para comparar las propiedades mecánicas y características físicas de estos morteros fibrorreforzados, se aplicaron las normas Coguanor y ASTM, las cuales proporcionan especificaciones de los ensayos necesarios para conocer estas propiedades y características de los morteros en estudio.

Los primeros tres capítulos conforman el marco teórico. En ellos se presenta una descripción detallada de la palma de coco, al igual que las fibras y su aplicación, y también sobre los morteros. Además, en estos capítulos se describen generalidades acerca de su utilización actual en la industria de la construcción.

El marco práctico está constituido por los siguientes dos capítulos, donde se describen los materiales usados, los procedimientos realizados y los resultados en cada uno de los ensayos del desarrollo experimental de esta investigación. En el último capítulo se tabulan, analizan y comparan los resultados de los ensayos realizados.

1. EL COCO

La palma de coco (*Cocos nucifera* L.), también conocida como cocotero, es uno de los más importantes cultivos de los trópicos. Se le conoce como el “árbol de la vida”, por sus variados usos.

1.1. Taxonomía

La palma de coco pertenece a la familia Arecaceae, subfamilia Cocoideae, y del género *Cocos*, existen diferentes variedades y ecotipos. Es una planta monocotiledónea.

Tabla I. **Clasificación botánica**

Clase	Angiospermeae
Subclase	Monocotiledoneae
Orden	Areca
Familia	Arecaceae
Género	<i>Cocos</i>
Especie	<i>Nucífera</i>

Fuente: FIGUEROA FUENTES, Evelyn Lissette. Evaluación del rendimiento y caracterización fisicoquímica de la extracción de la fracción lipídica de la copra del coco (*Cocos nucifera* L.) variedad verde utilizando tres solventes a escala laboratorio p. 19.

1.2. Origen del cultivo

Por su presencia en regiones tropicales y subtropicales, no hay certeza de su lugar de origen. Aunque hay evidencia, por la evolución de sus insectos parásitos, que proviene de Oceanía.

1.3. Descripción botánica

La palma de coco es una planta perenne, con un tronco en forma de estípite no ramifica, con hojas pinnadas, con peciolo que las unen a un raquis o mamón, cuya polinización es entomófila o anemófila.

1.3.1. Tronco

Es un estípite no ramificado de 10 a 20 m de altura, inclinado. Las hojas le dejan cicatrices permanentes, dividido en entrenudos cortos. En su ápice presenta un grupo de hojas que protege la yema apical, no tiene yemas laterales. Con diámetro de hasta 2 m.

“En el cocotero adulto su estructura muestra una región cortical formada por células de paredes gruesas, que realmente no forman una corteza, sino un tejido protector, periderma o ritidoma, que se origina de una capa profunda, el felógeno”¹. El tronco tiene bastante elasticidad resiste altas tensiones, inclinándose en dirección contraria al viento predominante.

Figura 1. **Tronco de la palma de coco recién aserrada**



Fuente: Kilómetro 93, Masagua, Escuintla, antigua carretera a Puerto San José.

¹ LEÓN, Jorge. *Botánica de los cultivos tropicales*. p. 47.

“Después del ritidoma hay un área en que abundan las fibras y hay muy pocos haces vasculares, los que hacia el interior del tronco son más abundantes, para escasear de nuevo en la parte central. Los haces y las fibras están separados por espacios reducidos de parénquima, en que abundan células con taninos”².

1.3.2. Hojas

Son de tipo pinnada, de 1,5 a 4 m de longitud y son más pequeñas al aumentar la edad de la planta. Formadas por un pecíolo, que lo une al tallo, con un raquis con 200 a 300 folíolos de 50 a 70 cm de longitud, de color verde.

1.3.3. Flores

Se dan en inflorescencias racimo en grupos de 6 000 a 12 000 flores masculinas, y de 20 a 40 flores femeninas. Las inflorescencias nacen en las axilas de las hojas, cubiertas por una espata superior, de 0,5 a 1,5 m de longitud, cóncava, coriácea, verde amarillenta.

1.3.4. Polinización

Los agentes de la polinización son el viento y los insectos. Los insectos visitan las flores buscando la miel segregada por glándulas situadas en el interior de las flores.

² LEÓN, Jorge. Botánica de los cultivos tropicales. p. 47.

1.3.5. Fruto

El fruto es una drupa, con una epidermis lisa, de 20 a 30 cm de longitud, llega a pesar hasta 2,5 kg. En su estructura interna se distinguen tres partes: exocarpo, mesocarpo y endocarpo.

1.3.6. Raíces

Durante el período juvenil se forman raíces adventicias primarias, que se ramifican en secundarias que llevan raicillas, componiéndose de una raíz reticulada en su etapa adulta. En el cocotero no existen pelos absorbentes.

1.3.7. Propagación

Los cocos frescos de la planta se entierran hasta la mitad en un suelo húmedo; con una humedad constante estos comienzan a brotar en 2 o 3 meses. Al principio su crecimiento es bastante lento.

1.4. Importancia económica

La palma de coco es una de las palmeras más cultivadas a nivel mundial, debido que proporciona una gran diversidad de productos. Son una fuente primaria de alimento, bebida, abrigo y aceite vegetal.

1.5. Distribución

La palma de coco es el cultivo representativo de las zonas costeras tropicales. Se encuentra ampliamente distribuida en América, África, el Caribe, Oceanía, en zonas costeras tropicales dentro de los 20° de latitud norte y sur.

También en zonas subtropicales dentro de los 26° de latitud norte y sur. La adaptación de la palma de coco está relacionada con la latitud y la altitud sobre el nivel del mar; a menores latitudes soporta mayores altitudes.

1.6. Requerimientos edafoclimáticos

Para que la palma de coco complete satisfactoriamente las distintas fases (germinación, desarrollo y maduración) debe contar con las condiciones climáticas y edafológicas favorables.

1.6.1. Temperatura

La palma de coco se desarrolla bien en climas cálidos, sin variaciones de temperatura; necesita una temperatura de 27 °C. La temperatura puede variar entre 30,1 °C como máximo y 23,5 °C como mínimo.

1.6.2. Humedad relativa

Los climas cálidos y húmedos son los más favorables para el cultivo de la palma de coco, por su distribución geográfica. La palma de coco requiere de una humedad atmosférica del 80 % al 90 %.

1.6.3. Precipitación

La precipitación pluvial ideal se caracteriza por un promedio anual de 1 500 mm de lluvia, distribuidos en una precipitación promedio mensual de 100 mm. Se tienen reportes que muestran que es perjudicial un déficit hídrico de períodos de 3 meses con menos de 50 mm.

1.6.4. Intensidad lumínica

La palma de coco es una planta heliofílica, ya que requiere sol directo para su desarrollo, no admite sombras. Una insolación de 2 000 horas de sol anuales con un promedio no menor a 6 horas diarias, es considerada la cantidad ideal.

1.6.5. Viento

Es un factor importante para la polinización en las variedades altas y para incrementar la transpiración, que estimula la absorción y circulación de nutrientes. Los vientos suaves de 15 km/h favorecen el cultivo.

1.6.6. Suelo

Los suelos ideales son aquellos con profundidad de 80 a 100 cm libres de lechos rocosos o arcillosos, permeables y no compactos, con capa freática superficial de 1 a 2 m de profundidad. El pH cercano a 7 es recomendable.

1.6.7. Heladas

Necesita de un clima cálido y húmedo para desarrollarse y que no existan variaciones considerables de temperatura, con medias diarias que rondan los 27 °C, ya que, al tratarse de una planta tropical, es muy sensible a las heladas.

1.6.8. Altitud

El rango de elevación en que la palma de coco se desarrolla óptimamente es de los 0 a 400 msnm. Este rango se puede ampliar hasta los 600 msnm si se encuentra a latitudes cercanas menores.

1.7. Particularidades del cultivo

La palma de coco necesita de las siguientes condiciones edafoclimáticas, hídricas y nutricionales para que el crecimiento del cultivo sea óptimo y aprovechar sus frutos al máximo.

1.7.1. Terreno

El terreno a utilizar para el cultivo debe estar libre de malas hierbas. Métodos mecánicos para mejorar condiciones del suelo usados en terrenos con poca pendiente. Evitar encharcamientos.

1.7.2. Ahoyado

Es necesario hacer el ahoyado un mes antes del trasplante, poniendo una capa de materia orgánica. El tamaño del hoyo depende del tipo de suelo. En suelo franco el hoyo tendrá una dimensión de 40 x 40 x 40 cm. A medida que el suelo se vuelve arcilloso, el tamaño aumenta de 60 x 60 x 60 cm a 1 x 1 x 1 m.

1.7.3. Trasplante

Los trasplantes se realizan al inicio de la estación lluviosa. Los distanciamientos entre plantas para variedades gigantes 9 x 9 m, variedades enanas 7,5 x 7,5 m, variedades híbridas 8,5 x 8,5 m.

1.7.4. Fertilización

Los nutrientes más demandados por la palma de coco son nitrógeno, fósforo, potasio, cloro y calcio. La época para la aplicación del fertilizante se aconseja hacerla dos veces al año: al principio y al final de la época lluviosa.

1.7.5. Riego

Los métodos de riego recomendados para el cocotero son los localizados: microaspersión, goteo y goteo subterráneo. Si no hay limitaciones de agua se recomienda riego por inundación parcial.

1.7.6. Malas hierbas

Pueden ser controladas combinando métodos mecanizados y manuales o herbicidas. Se alcanzan buenos rendimientos de producción y economía con una combinación de dos pases de rastra y una eliminación de forma manual.

1.8. Cosecha

Se realiza de enero a julio. El fruto permanece en la planta 12 meses. La cosecha es anual o semestral, se obtienen de 50 a 120 cocos. La recolección se hace subiendo a la palmera, botándolos o esperando a que caigan maduros.

1.9. Tipos de cocoteros

Las palmas de coco se dividen en tres grandes grupos: gigantes, enanos e híbridos. Esta clasificación se hace en función de la altura de la planta. Cada grupo tiene muchas variedades dependiendo de la localidad.

1.9.1. Cocoteros gigantes

También llamada variedad típica, tiene una polinización cruzada, por lo cual existe gran diversidad de tipos. Se caracteriza por poseer un tronco esbelto, ensanchado en la base del tallo; puede alcanzar alturas de 20 a 30 m.

Su vida productiva es de 60 a 70 años. Se utiliza para la producción de aceite y para consumo como fruta fresca de sabor poco dulce. Las variedades más cultivadas son: Gigante de Malasia (GML), Gigante de Renell (GRL) de Tahití, Gigante del Oeste Africano (GOA) de Costa de Marfil, Alto de Jamaica, Alto de Panamá, Indio de Ceilán, Java Alta, Laguna y Alto de Sudán.

1.9.2. Cocoteros enanos

También llamada variedad nana, su nombre común Cocotero Enano Malayo o Enano de la India. Los cocoteros enanos tienen una autofecundación mayor al 94 %, lo cual disminuye la diferenciación entre padres e hijos. En edad adulta alcanzan una altura de 8 a 12 m de altura, tiene una longevidad de entre 30 y 35 años. Su principal uso es la producción de agua para elaboración de bebidas envasadas, esto debido al sabor de su agua. Las variedades más cultivadas son Amarillo de Malasia (AAM), Verde de Brasil (AVEB) de Río Grande del Norte y Naranja Enana de la India.

1.9.3. Híbridos

Esta variedad es el resultado del cruce entre los cocoteros gigantes y enanos, y obtiene las mejores características de cada uno. El híbrido más cultivado es el MAPAN VIC 14, que es un cruce entre Enano Malasio y Alto de Panamá.

Los frutos van de medianos a grandes, tienen buen sabor, buen rendimiento de copra, crecimiento lento y alta producción de frutos. También hereda la resistencia al amarillamiento letal del cocotero enano y adquiere la resistencia del cocotero gigante a otras enfermedades.

1.10. Plagas y enfermedades

Una palma de coco está sometida durante su ciclo de vida a la acción de insectos dañinos y enfermedades que, en la mayoría de los casos, se manifiestan cuando las plantas se encuentran moribundas.

1.10.1. Anillo rojo

Se muestra en los primeros 12 años de vida de la planta. Las hojas más viejas se presentan coloraciones con tonos amarillos y castaños en los extremos, caída de hojas y frutos. Si se hace un corte transversal en el tallo, se observa una coloración rojiza en forma de banda o anillo, de ahí el nombre. En esta enfermedad interviene el picudo o gorgojo del cocotero, *Rhynchophorus palmarum* L. (Coleóptera: Curculionidae), el cual actúa como transmisor de un nematodo parásito (*Bursaphelenchus cocophilus* Cobb).

1.10.2. Marchitez sorpresiva

Se reconoce debido al amarilleo progresivo de las hojas más viejas, para finalmente tornarse de color marrón oscuro, caída de frutos de cualquier tamaño. Las espatas cerradas se tornan quemadas en las puntas y ocurre un ennegrecimiento de las flores pequeñas y pudrición de frutos. El organismo causante es un microorganismo llamado *Tripanosomas* (*Phytomonas* sp.), del tipo de los flagelados. Transmitido por chinches.

1.10.3. Pudrición del cogollo

Marchitez de hojas nuevas que no han abierto, pierden su color natural y se tornan de color pardo. Esta coloración se va transmitiendo gradualmente hasta afectar todo el cogollo. El agente causante es el hongo *Phytophthora palmivora* Butler. Este hongo penetra por las raíces de la planta y causa pudrición.

1.10.4. Exudado del tallo

Desarrolla una podredumbre blanda amarillenta, y a medida que la enfermedad avanza, zonas afectadas manifiestan una decoloración, que se oscurece con la edad. Al final se observa una exudación líquida de color rojizo, puede incluso causar la muerte de la planta. El agente causante es un hongo que penetra por procesos naturales en el crecimiento normal de la planta y también por las heridas causadas por pájaros carpinteros, pegones y roedores.

1.10.5. Mancha gris de la hoja

Es una enfermedad severa que se da en fase de vivero y en los primeros años de trasplante, comienza con manchas de color amarillento, marrón o pardo, se desarrollan en cada mancha centros grisáceos rodeados de márgenes de color marrón oscuro. El agente causante es un hongo que se ve favorecido por un desequilibrio nutritivo, ya sea por deficiencia de potasio o exceso de nitrógeno.

1.10.6. Insectos dañinos más comunes en los cocoteros

El reconocimiento de plagas y sintomatología, permiten que su prevención sea práctica y económica, de lo contrario, las plagas causan severos daños en la planta que afectan su desarrollo en distintas etapas. Las plagas más comunes son:

- **Ácaros:** afectan el fruto en su fase inicial de formación, el daño se va manifestando a medida que el fruto crece, observándose manchas rugosas y negruzcas que reducen hasta 50 % el tamaño del fruto.
- **Escarabajo rinoceronte:** ataca plantas jóvenes. Penetra por el suelo, al llegar a la base del cocotero hace galerías internas y causa daños en las zonas de crecimiento, posteriormente, la muerte de la planta.
- **Escamas:** las ninfas y adultos atacan y dañan hojas y frutos de diferentes edades. En las hojas se observa una fuerte clorosis y las partes afectadas se van cubriendo de una cera blanca.
- **Áfidos:** en su excremento se desarrolla un hongo que se manifiesta por una película negra que impide la entrada de luz a la planta.
- **Gusanos defoliadores de hojas:** son mariposas de gran tamaño que ponen huevos en las hojas, sus larvas se alimentan de las hojas, también producen perforaciones en la base y en racimos jóvenes.
- **Gusano perforador del tallo:** las larvas taladran el tronco y los racimos, reduciendo la producción y causando la muerte de las plantas.

1.11. Aplicaciones

De la palma de coco se dice que puede ser una de las plantas más aprovechadas por la humanidad, debido a las múltiples aplicaciones que se le pueden dar.

1.11.1. Industria

El hueso o concha, se usa para producir carbón y carbón activado, o como combustible para caldera, la copra se usa para extraer el aceite, deshidratado en conservas y fabricación de jabones, cosméticos y champús.

1.11.2. Ganadería

Las hojas se usan como forraje para el ganado vacuno en épocas de escasez. La harina de coco es un subproducto de la extracción de aceite y se emplea como alimento para el ganado.

1.11.3. Agricultura

La fibra de coco como subproducto industrial tiene una gran potencialidad como sustrato hortícola alternativo en el cultivo sin suelo. El polvo de la estopa se usa para enmendar suelos arenosos.

1.11.4. Construcción

Las palmas son empleadas para techos. La corteza exterior es dura y se emplea en el montaje de muebles. La madera de coco es el elemento que más se usa en la construcción, para fabricación de casas, puentes y granjas.

1.11.5. Artesanía

La fibra de coco es resistente al agua de mar, se usa para hacer las esteras, los bolsos, entre otros. Las palmas se usan para hacer canastas, sombreros, entre otros. La concha se usa para hacer botones, adornos, y otros.

1.11.6. Alimentación

El agua de coco se utiliza como bebida refrescante y distintos usos. La yema terminal del cocotero, se consume crudo o cocido. En el sector apícola, pues las flores dan alimento a las abejas.

1.11.7. Medicina

En muchos países tropicales se emplea como medicamento popular. Tiene multitud de aplicaciones, entre las que destacan antiséptico, astringente, bactericida, diurético, entre otras.

1.11.8. Ecología

La existencia de estas plantas es de gran ayuda para la regulación del microclima y también es un gran coadyuvante en la protección de los suelos, debido a la cantidad de raíces que tiene y a la forma de estas.

1.11.9. Turismo

La destrucción de los cocoteros afecta negativamente al sector turístico, debido a que los paisajes costeros pierden el elemento natural que embellece las playas.

1.11.10. Jardinería

Se plantan en arboledas y alineados en calles. Los cocoteros germinados y con las primeras hojas se suelen vender como planta de interior. Además, la madera del tronco se emplea en macetas para plantas ornamentales.

2. FIBRAS

Las fibras son filamentos de cuerpo plástico, flexible y resistente que poseen una gran finura, con un cuerpo macroscópicamente homogéneo y una relación largo-ancho bastante alta, con una pequeña sección transversal. Entre los usos más comunes está la fabricación de hilos y tejidos.

La clasificación de un elemento como fibra depende más de su forma y geometría que de cualquier otra propiedad. Una definición común requiere que la longitud de la fibra sea por lo menos 100 veces su diámetro. Las fibras artificiales se pueden fabricar con cualquier relación largo-diámetro deseada. Entre las fibras naturales, como el algodón y la lana, se encuentran longitudes de 1 000 a 3 000 veces el diámetro.

En la actualidad es común que materiales compuestos a base de matrices de cerámicos, plásticos y cemento incorporen fibras para mejorar sus propiedades físicas y mecánicas. Existen en la industria de la construcción varios tipos de fibras que se comercializan mundialmente.

El incremento de las actividades de investigación y las aplicaciones que se están dando en todo el mundo a los materiales fibrorreforzados han ocasionado que la industria se encuentre cada vez más interesada en las oportunidades de negocios potenciales al respecto, impulsando así la continuación de nuevos avances en diferentes materiales fibrorreforzados para su uso en la construcción.

2.1. Tipos y propiedades de fibras

Son clasificadas de acuerdo con su origen. Esta clasificación no pretende ser exhaustiva; sin embargo, es la utilizada por la mayoría de investigaciones en el tema. Las fibras orgánicas naturales pueden ser de origen animal, vegetal o mineral. Las fibras vegetales han sido divididas en dos grandes grupos: las duras y las suaves. A las fibras de tallo se les llama suaves, y a las de hojas se les llama duras.

2.1.1. Fibras de acero

Son pedazos cortos discontinuos de acero con una esbeltez que está entre 20 y 100, con muchas secciones transversales. Muchas fibras aumentan su adherencia a la matriz a base de cemento al tener sus extremos conformados.

La resistencia a compresión se ve afectada ligeramente por la presencia de fibras. La adición del 1,5 % en volumen de fibras de acero logra incrementar la resistencia a tensión directa hasta 40 %, y la resistencia a la flexión, hasta 150 %. Las fibras de acero presentan un módulo de elasticidad alto, están protegidas de la corrosión por la alcalinidad de la matriz de cemento. La corrosión de las fibras en la superficie del material fibrorreforzado es solo un problema de apariencia y no una condición estructural.

En la Norma ASTM A 820 se encuentran los requisitos que deben cumplir las fibras de acero. También clasifica a las fibras en cuanto a su manufactura, la cual las divide en cuatro tipos:

- Tipo I – Fibras de alambre conformadas en frío, son las más fáciles de conseguir en el mercado.
- Tipo II – Fibras cortadas de láminas, como su nombre lo indica, se cortan de las láminas de acero.
- Tipo III – Fibras extraídas de fundición, se producen usando técnicas complejas en las cuales una rueda en rotación se emplea para elevar el metal líquido de una superficie de metal fundido, por medio de la capilaridad. El acero fundido extraído se congela rápidamente en forma de fibras y se separa de la rueda debido a la fuerza centrífuga.
- Tipo IV – Otras fibras.

Las fibras de acero se emplean en aplicaciones en concretos prefabricados donde sea necesario el aumento de la resistencia al impacto o de la tenacidad. También se emplean en el concreto lanzado en aplicaciones de capas delgadas, especialmente en la estabilización de la inclinación de rocas y revestimiento de túneles.

2.1.2. Fibras de vidrio

Las primeras investigaciones sobre el uso de fibras de vidrio en materiales fibrorreforzados se dieron a principio de los años sesenta, se usó vidrio convencional de borosilicato (fibras de vidrio-E) y fibras de vidrio de sílice-cal-soda (fibra de vidrio-A).

Las pruebas presentaron que la reactividad entre las fibras de vidrio-E y la pasta de cemento reduce la resistencia del concreto, debido a que las fibras de vidrio son atacadas por álcalis, que reduce la resistencia a tensión de las fibras y baja la resistencia a compresión.

El progreso en las investigaciones ha resultado en la creación de las fibras de vidrio resistentes a álcalis, fibra de vidrio RA, las cuales aumentaron la durabilidad a largo plazo, pero se determinó otra fuente de pérdida de resistencia. Esta es la rigidización de los filamentos por la infiltración entre los haces de fibras, de partículas de hidróxido de calcio, que es un producto de la hidratación del cemento.

Para aumentar la durabilidad de las fibras de vidrio se realizan modificaciones, usualmente revestimientos químicos especialmente formulados para ayudar a reducir la rigidización inducida por la hidratación. Otra modificación es el uso de una lechada con humo de sílice dispersa para rellenar los vacíos entre las fibras, reduciendo la capacidad de infiltración del hidróxido de calcio. El mayor uso que se le da a la fibra de vidrio en la construcción es en la producción de paneles de fachada.

2.1.3. Fibras sintéticas

Son consideradas aquellas que son elaboradas por el hombre. Las fibras sintéticas que son utilizadas en la industria de la construcción son acrílicas, aramida, carbón, nylon, poliéster, polietileno y polipropileno.

Las fibras sintéticas permiten reducir las contracciones plásticas y la fisuración, pueden ayudar al concreto después de que se fisura. Las dificultades relacionadas con fibras sintéticas incluyen baja adherencia fibra-matriz, bajo módulo de elasticidad de las fibras de polipropileno y polietileno, y alto costo de las fibras de carbón y aramida.

2.1.3.1. Acrílico

La fibra acrílica es una fibra elaborada a partir de acrilonitrilo, de donde se deriva su nombre genérico. Esta fibra se ha mostrado como el sustituto más prometedor para la fibra de asbesto.

Los compuestos de concreto con fibras acrílicas exhiben alta tenacidad después del agrietamiento y alta ductilidad. Las fibras acrílicas se usan en la producción de tejas y en tablonces de cemento, donde el volumen de fibras de un 3 % llega a producir un compuesto con propiedades mecánicas similares a aquellas de los compuestos de asbesto-cemento.

2.1.3.2. Carbón

La fibra de carbón fue desarrollada a finales de 1950. Sin embargo, su alto costo la restringió al uso de materiales compuestos avanzados para aplicaciones militares o aeroespaciales.

Actualmente, el costo de estas fibras ha disminuido. No obstante, sigue siendo más costoso que la fibra de vidrio, debido al proceso de fabricación y sus propiedades físicas y mecánicas codiciadas porque posee una alta rigidez y resistencia combinadas con un bajo peso.

2.1.3.3. Nylon

El nylon es uno de los polímeros más comunes usados como fibra. A pesar de todos los tipos de fibras de nylon que existen, solo hay dos tipos para uso en concretos y morteros: el nylon 6 y el nylon 66.

En aplicaciones en concreto y morteros se tejen hilos de nylon de alta tenacidad, alta resistencia a tensión y estables a altas temperaturas y a la luz, luego se cortan en pequeñas longitudes.

El nylon es hidrófilo, absorbe agua con facilidad, con una retención de humedad del 4,5 %, que aumenta la demanda de agua en el concreto. A pesar de ello, esto no altera la hidratación y trabajabilidad del concreto y mortero con bajo contenido de fibras, del 0,1 % al 0,2 % en volumen, pero se debe considerar si se usan en volúmenes más altos de fibras.

Esta cantidad relativamente pequeña de fibras tiene potencialmente mayor capacidad de refuerzo que bajos volúmenes de fibras de polipropileno y poliéster. El nylon es relativamente inerte y resistente a una amplia variedad de materiales orgánicos e inorgánicos.

2.1.3.4. Poliéster

Son los polímeros en forma de fibras, estas se han usado típicamente para confeccionar ropa. Pero se han desarrollado otras aplicaciones más provechosas para los poliésteres, como botellas plásticas irrompibles.

Son sensibles a la temperatura, y a temperaturas por encima del servicio normal, sus propiedades pueden ser alteradas. Las fibras de poliéster son algo hidrófobas. Se han usado a bajos contenidos, 0,1 % por volumen, para controlar el agrietamiento por contracción plástica en el concreto.

2.1.3.5. Polietileno

Ha sido producido para el concreto en forma de monofilamentos con deformaciones superficiales parecidas a verrugas. El polietileno en forma de pulpa puede ser una alternativa a las fibras de asbesto. El polietileno, a diferencia del nylon, no absorbe el agua.

El concreto reforzado con fibras de polietileno a contenidos de entre 2 % y 4 % por volumen, exhibe un comportamiento de flexión lineal bajo cargas de flexión hasta la primera grieta, seguido por una transferencia de carga aparente a las fibras, permitiendo un incremento en la carga hasta que las fibras se rompen.

2.1.3.6. Polipropileno

La fibra de polipropileno es la más popular de las fibras sintéticas, es químicamente inerte, hidrofóbica y liviana. Se fabrican como monofilamentos cilíndricos continuos que se pueden cortar en longitudes específicas o como cintas. Usadas en un volumen mínimo de 0,1 % del volumen del concreto, las fibras de polipropileno reducen el agrietamiento por contracción plástica y disminuyen el agrietamiento sobre la armadura de acero.

La presencia de estas fibras en concretos y en morteros disminuye el asentamiento o la sedimentación de las partículas de agregados, provocando una reducción de los canales capilares de exudación. Los nuevos desarrollos muestran que las fibras monofiladas son capaces de fibrillar durante el mezclado si son producidas con ambas resinas de polipropileno y polietileno. Los dos polímeros tienden a separarse cuando son manipulados. Por ello, en el proceso de mezclado, cada fibra se convierte en una unidad con varias fibrillas en su extremo.

Las fibrillas proporcionan una adherencia mecánica mejor que los monofilamentos convencionales. También reducen la fisuración por contracción plástica y pueden aumentar la ductilidad y la tenacidad de concreto y mortero.

2.1.4. Fibras naturales

Estas han estado presentes en materiales que tuvieron usos estructurales similares al concreto, como el adobe, la tapia pisada y los morteros de cal, entre otros. Estas han sido usadas empíricamente para reforzar materiales de construcción o para producir materiales textiles. No obstante, en años recientes los investigadores se han dedicado a estudiar el uso de este tipo de fibras de una manera más teórica.

Tienen un bajo costo de producción en comparación con los otros tipos de fibras. La fabricación de fibras de acero, vidrio y sintéticas requiere una considerable inversión económica y consumo de energía, que es difícil para los países pobres y en vías de desarrollo. Las fibras naturales vegetales requieren menos energía en su proceso de extracción, aun cuando sea mecánico. Esto hace atractivas a las fibras naturales, en especial en los países en vías de desarrollo, ya que tienen gran disponibilidad de recursos naturales, pero considerables carencias de vivienda e infraestructura.

A finales de los años sesenta se llevó a cabo una evaluación sistemática de las propiedades de las fibras naturales y de los compuestos hechos de estas fibras con el cemento. A pesar de que los resultados fueron alentadores, ya que aumentan la resistencia a flexión y al impacto de los compuestos hechos con cemento, se presentaron algunas deficiencias respecto a su capacidad de refuerzo a largo plazo.

2.1.4.1. Fibras naturales no procesadas

Por lo general son extraídas del tallo o las hojas de las plantas; no obstante, también pueden conseguirse fibras de la cáscara superficial de algunas frutas. Sin embargo, solamente algunas fibras tienen un verdadero potencial para ser consideradas como refuerzo en los compuestos que se hacen con cemento. Entre las fibras que se pueden mencionar están:

2.1.4.1.1. Fibras de sisal

El sisal pertenece a la familia del agave y crece en México, especialmente en la Península de Yucatán y en el área norte de Centroamérica. Esta fibra natural es considerada una de las más fuertes y es una de las fibras más apropiadas para el refuerzo del mortero. Típicamente se ha usado como refuerzo en placas de yeso en la construcción australiana.

Las hojas de sisal tienen una longitud aproximada de 140 cm y un ancho de unos 8,5 cm; durante su vida la planta de sisal produce un total de 5 a 7 kg de fibra.

2.1.4.1.2. Fibra de maguey o henequén

El nombre de maguey se ha usado en varias regiones de México, Centroamérica y las Antillas para designar a casi todas las especies de agaves de hojas largas que hay en el área. Se utilizan para manufacturar lazos, redes, hamacas, morrales y alfombras, al igual que las fibras de sisal.

Sus fibras se cosechan al tallar mecánicamente las hojas que tienen una longitud de 1,20 a 1,50 m. Se logra alcanzar más de 3 % del peso de la hoja en fibra. Estas se secan al sol.

2.1.4.1.3. Fibra de kenaf

Esta se recolecta del tallo de la planta del mismo nombre. La calidad de la fibra extraída depende primordialmente de la madurez de la planta y el tamaño y longitud del tallo. La altura del tallo varía de 2,40 a 3,70 m. Se utiliza principalmente para fabricar cordones, lonas, costales y, en los últimos años, como una fibra alternativa en la industria papelera. La fibra se extrae de la corteza del tallo.

2.1.4.1.4. Fibra de coco

De la palma de coco se puede obtener fibra del tronco y del fruto. Esta última es la más popular. La fibra del fruto de coco se obtiene de la corteza del fruto; está formada por fibras que varían en longitud desde 5 a 16 cm, de acuerdo con el tamaño del fruto. Las fibras son extraídas al sumergir la cáscara del fruto en agua, también se pueden extraer por medios mecánicos. Se han realizado diversas investigaciones en que se estudian las propiedades de la fibra del fruto de coco para su uso en la industria de la construcción y se han hallado resultados positivos.

La fibra que se extrae del tronco de la palma de coco se encuentra en una capa entre la corteza y la madera de la palma. Se habla muy poco de la existencia de esta fibra en los libros de botánica, lo cual causa que esta fibra sea poco conocida y, por ende, tiene un uso mínimo, que llega a ser casi inexistente. No hay precedentes conocidos de estudios realizados con esta fibra para su uso en la construcción.

2.1.4.2. Fibras naturales procesadas

Estas fibras se hacen a partir de polímeros orgánicos, derivados de materias primas naturales, en especial la celulosa. La celulosa es encontrada en la madera, el algodón y el cáñamo. Las propiedades de la fibra de celulosa se ven afectadas por los métodos de extracción de las fibras y los procesos de refinamiento.

La reducción a pulpa es el nombre del proceso en el que se reduce la madera a una masa de fibras. Las fibras de celulosa poseen buenas propiedades mecánicas al ser comparadas con muchas fibras producidas industrialmente, tales como polipropileno, polietileno, poliéster y acrílicas.

Se pueden producir fibras de celulosa con la lignina removida con resistencia a tensión de hasta 20 000 kg/cm² al seleccionar ciertas especies de madera y procesos de reducción de pulpa. También con resistencia a tensión de 5 100 kg/cm² utilizando maderas comunes y menos caras.

2.1.5. Sistemas de múltiples fibras

En un sistema mixto de fibras se mezclan dos o más tipos de fibras. Usualmente combinan macro y microfibras, generalmente de acero. Las aplicaciones indicadas para este material compuesto son reparaciones y remiendos delgados.

El uso de una mezcla de macrofibras y las recientemente desarrolladas microfibras de acero, las cuales tienen menos de 10 mm de longitud y menos de 100 μm de diámetro, conduce a un menor espaciamiento entre las fibras, lo que puede reducir la microfisuración y aumentar la resistencia a tensión de los morteros y concretos.

Otro sistema empleado es la combinación de fibra de acero y fibra de polipropileno. Este sistema combina la tenacidad y la resistencia al impacto de los materiales reforzados con fibra de acero con la reducción de la fisuración por contracción plástica de los materiales reforzados con fibra de polipropileno. Se ha empleado una mezcla de 30 kg/m^3 de fibras de acero con 0,9 kg/m^3 de fibras de polipropileno.

2.2. Ventajas y desventajas del uso de fibras

Las fibras tienen características diferentes, haciendo que ciertas ventajas y desventajas estén más presentes en cierta fibra en comparación con todas las demás. Sin embargo, la mayoría de fibras dan como ventajas a las mezclas de morteros y concretos la reducción de la segregación, previenen la formación de fisuras durante la contracción plástica, aumento de la tenacidad, aumento de la resistencia a flexión y tensión, y mayor capacidad de deformación.

Los factores principales que controlan el desempeño de los materiales fibrorreforzados son: propiedades físicas de las fibras y de la matriz, y resistencia de adherencia entre la fibra y la matriz.

Entre las desventajas del uso de fibras en morteros y concretos están la durabilidad de las fibras, que se ve afectada por la alta alcalinidad del ambiente en la matriz de cemento, en especial las fibras naturales, que son muy susceptibles a deteriorarse a largo plazo. Otra desventaja es que varias fibras presentan una baja adherencia entre la fibra y la matriz; esto se puede resolver dándole a la fibra un mejor anclaje mecánico.

Otro aspecto que se debe considerar es la distribución aleatoria que tienen las fibras por la sección transversal del concreto, por lo tanto, muchas fibras se localizan inadecuadamente con relación a la resistencia; a los esfuerzos de tensión resultantes de las cargas aplicadas, provocando que solo un porcentaje de las fibras ayuden a aumentar la resistencia de tensión.

3. MORTEROS

3.1. Generalidades

Es un material de construcción constituido básicamente por una mezcla de material aglomerante (cemento Portland y/u otros cementantes), agregado fino que con adición de agua reacciona y adquiere resistencia; también puede estar compuesto por aditivos que mejoren sus propiedades tanto en estado fresco como endurecido.

El mortero presenta propiedades químicas, físicas y mecánicas similares a las del concreto, y es ampliamente utilizado para pegar piezas de mampostería en la construcción de muros, también conocido como mortero de mampostería, de albañilería o de junta, o para recubrirlos, en cuyo caso se le conoce como acabado, repello o revoque.

3.2. Componentes de los morteros

La dosificación de un mortero se expresa indicando el número de partes en volumen de sus componentes. Primero, el aglomerante o los aglomerantes, y, por último, las partes de arena. El detalle de la dosificación es variable según el usuario, aunque dentro de ciertos parámetros establecidos en normas.

3.2.1. Cemento

El cemento tiene propiedades adhesivas y cohesivas en su estado plástico y endurecido. Hay tres categorías de materiales cementantes utilizados en morteros que se presentan a continuación.

3.2.1.1. Cemento Portland

Está compuesto principalmente por materiales calcáreos, tales como caliza, alúmina y sílice, que se encuentran como arcilla o pizarra. También se utiliza marga y en los últimos años la adición de material puzolánico, que puede ser en estado natural como tierra de diatomeas, rocas opalinas, esquistos, cenizas volcánicas, o de material artificial, como óxido de silicio precipitado y cenizas volantes.

Es usado en el mortero para aumentar la fuerza compresiva, adherencia y durabilidad. Sin embargo, una mezcla de mortero que sólo contiene cemento Portland como material cementante presenta poca plasticidad y retención de agua haciendo que sea más difícil de utilizar. Para contrarrestar este inconveniente se adiciona cal a la mezcla de mortero, puede ser cal hidratada o cal viva.

3.2.1.2. Cemento de albañilería

También llamado cemento de mampostería, se usa principalmente en morteros de pega o de recubrimientos para mampostería; nunca se debe emplear para elaborar concreto. Se compone de alguno o varios de los siguientes materiales: cemento Portland, cementos adicionados o cemento natural.

Además, contienen materiales plastificantes que se seleccionan para mejorar una o más propiedades, que bien pueden ser el tiempo de fraguado, trabajabilidad, retención de agua y durabilidad. La Norma NTG 41096 clasifica a los cementos de albañilería como Tipo N, S y M, esta norma establece los requerimientos físicos: fineza, fuerza compresiva, contenido de aire y retención del mismo.

3.2.2. Cal

Procede de la calcinación de las piedras calizas. Estas son piedras naturales calcáreas compuestas por carbonato de calcio mezclado generalmente con alúmina, sílice, magnesia, óxidos de hierro y de manganeso. Las propiedades hidráulicas de la cal obtenida se les atribuyen a los silicatos, aluminatos y ferritos formados.

Si se emplea cal en el mortero, esta debe ser hidratada y normalizada, ya que pueden existir partículas muy finas, que en vez de funcionar como aglomerante lo hacen como residuos inertes. Cuando se emplea cal en morteros endurece muy lentamente al reaccionar con el anhídrido carbónico del ambiente, en un proceso llamado carbonatación, el cual es beneficioso para el mortero por dos razones: las fisuras se sellan a lo largo del tiempo al formarse cristales de carbonato de calcio, que proveen una resistencia adicional a la del cemento y al endurecer lentamente favorecen la retentividad de la mezcla.

En Guatemala la Norma NTG 41018 da las especificaciones que cubren la calidad de la cal hidratada. En ella se da la clasificación, especificaciones, requisitos mínimos, métodos de prueba, entre otros.

Las características más importantes de la cal son las físicas y químicas, debido a que es un material aglomerante, el cual no proporciona cualidades resistentes al mortero. Es por ello que sus propiedades mecánicas no son tan relevantes.

La norma clasifica a la cal hidratada en cuatro tipos: Tipo N (cal hidratada normal), Tipos S (cal hidratada especial), Tipo NA (cal hidratada con aire incorporado), Tipo SA (cal hidratada especial con aire incorporado). La cal hidratada tipo S y SA son diferentes a la cal tipo N y NA, principalmente por su habilidad para desarrollar alta plasticidad inicial y alta retención de agua.

Los tipos N y S son adecuados para usarse en las capas de repello de cemento, estuco, morteros y para la adición al concreto de cemento hidráulico. Los tipos NA y SA son apropiadas cuando se requiere un incremento de resistencia a la congelación y descongelación.

3.2.3. Agregados

Son los materiales granulados, generalmente arena, ya sea natural o manufacturada, o escoria de alto horno enfriada con aire, especialmente procesada para asegurar una granulometría adecuada. Los agregados conforman el volumen más grande en un mortero y actúan como un llenador relativamente barato.

Además de retener la forma y consistencia del mortero, ayudan a reducir la contracción y con buena graduación reducen el sangrado o exudación y mejoran la trabajabilidad.

Si se usan partículas de agregado con tamaños uniformes en el mortero, el volumen total de vacío entre las partículas es mayor y se necesitará más matriz cementante en la mezcla que si las partículas de agregado fueran de distintos tamaños. Es deseable el agregado con partículas de distintos tamaños, ya que el volumen de agua requerido en la mezcla y proporción de matriz al agregado será menor. Bajas proporciones de cemento y agua significan menos contracción; menor contracción reduce la tendencia del mortero a agrietarse.

El agregado debe tener preferentemente forma redondeada, pues esta produce mayor trabajabilidad. La resistencia y trabajabilidad del mortero es incrementada con el uso de arena bien graduada; partículas muy grandes, pueden causar concentración de esfuerzos. Se pueden utilizar arenas de forma redondeada o poliédrica que provengan de trituración o minas. El tamaño máximo debe ser inferior a la mitad de juntas de mampuesto, pero en la actualidad se tiende a no sobrepasar los 2,5 mm, no deben contener impurezas, sales ni tierra.

Los módulos de finura bajos requieren más agua que los gruesos para una misma consistencia, por lo cual se generan morteros frágiles y porosos. Por otra parte, si se aumenta el módulo de finura, para una consistencia dada, el contenido de cemento disminuye. Con el fin de obtener una graduación óptima en los agregados para mortero, la Norma NTG 41031 recomienda los límites permisibles en agregados para morteros y rangos permisibles para obras características.

3.2.4. Agua

Es el agente mezclador que proporciona fluidez y trabajabilidad, y es causante de la hidratación del material aglomerante. Su cantidad depende de los ingredientes del mortero y deberá ser potable, libre de partículas orgánicas y de sustancias deletéreas (aceite, ácidos), debe ser apta para consumo humano.

Sin embargo, hay casos en los que se debe utilizar agua de dudosa calidad. Para aprobar esa agua se deben realizar ensayos de compresión en morteros según la Norma NTG 41003 con el agua en cuestión y compararlos con otros realizados con agua destilada. Además, se debe realizar un ensayo de tiempo de fraguado para asegurar que las impurezas en el agua no afectan, acortándolo o prolongándolo.

Los morteros deben contener una máxima cantidad de agua a un punto óptimo de trabajabilidad. El uso de agua no se limita a la obra, puesto que parte del agua de la mezcla será absorbida por las unidades de mampostería o se evaporará. El albañil puede decidir la cantidad correcta de agua que se deberá añadir basándose en el tipo de unidades de mampostería y de las condiciones ambientales.

3.2.5. Aditivos

Son productos que se utilizan para mejorar las propiedades físicas, químicas y mecánicas en estado fresco como endurecido del mortero o concreto. Los aditivos son clasificados de acuerdo a su función. En los últimos años Guatemala ha ampliado el uso, experiencia y conocimientos sobre aditivos o admixturas, para mejorar propiedades tanto del cemento, del concreto fresco y al concreto seco al igual que en morteros.

3.2.5.1. Inlusor de aire

Ayuda al mortero endurecido a resistir los ciclos de congelación y descongelación, y mejora la trabajabilidad de la mezcla fresca. Introduce burbujas minúsculas en la mezcla. En general, al incrementar el contenido de aire se disminuye la adherencia y la resistencia a compresión

3.2.5.2. Acelerantes

Se utilizan para disminuir el tiempo de fraguado entre 30 % y 40 %, también aumentan la resistencia a las 24 horas hasta en 150 % o más. Mediante la aceleración de la hidratación del cemento, pueden reducir sustancialmente el tiempo de protección contra el frío cuando se trabaja a baja temperatura. Los acelerantes reductores de agua incrementan la resistencia temprana y la resistencia última, reduciendo la relación agua-cemento de la mezcla.

3.2.5.3. Retardantes

Se utilizan para extender la vida del mortero fresco hasta por 4 o 5 horas, ayudan a retener el agua de mezcla por períodos más largos, y pueden eliminar la necesidad de reacondicionar con agua en el mortero.

3.2.5.4. Retardantes para extender la vida

Hacen más lento el tiempo de reacción del cemento y el agua. Permite que el mortero sea preparado con gran control de calidad en una planta de mezclado, para luego ser enviado a la obra. Tienen poco o ningún efecto sobre

el tiempo de fraguado, ya que estos son absorbidos cuando el mortero hace contacto con las unidades de mampostería.

3.2.5.5. Repelentes integrales de agua

Reducen la absorción de agua del mortero hasta 60 % sin afectar la resistencia deseada. Deben utilizarse solamente en morteros de levantado, en paredes de poco espesor y piezas de concreto arquitectónico expuestas a la intemperie.

3.2.5.6. Modificadores de adherencia

Mejoran la adherencia, densidad superficial y la resistencia a la congelación. Se utilizan para mejorar la adherencia de piezas muy lisas de superficie, como bloques cerámicos.

3.2.5.7. Pigmentos de color

Se utilizan con el único objetivo de proporcionar beneficios estéticos. También se usan para resaltar el mortero o combinarlo con el color de las piezas de mampostería.

3.2.5.8. Inhibidores de corrosión

Se aplican para contrarrestar el efecto negativo de los cloruros y evitar la corrosión del acero. Se usan en ambientes marinos o al usar sales desheladoras, aplicándolos solamente en mortero o lechada con acero embebido.

3.3. Tipos de morteros

Los morteros se clasifican de diferentes formas de acuerdo con la variedad de aplicación que se les puede dar según las necesidades presentadas. Estos se clasifican de acuerdo con el tipo de mortero y su uso.

3.3.1. De acuerdo al medio

Los morteros se clasifican según su medio de endurecimiento, de acuerdo con su reacción molecular, que actúa bajo condiciones de hidratación o deshidratación.

3.3.1.1. Aéreos

Son aquellos morteros que endurecen a causa de la pérdida de agua por la influencia del aire, por lo cual fraguan en presencia de un proceso de carbonatación.

3.3.1.2. Hidráulicos

Endurecen bajo el efecto del agua, ya que poseen en su composición elementos que se obtienen por calcinación de calizas impurificadas con sílice y alúmina, lo cual les permite desarrollar resistencias iniciales que son relativamente altas.

3.3.2. De acuerdo a su uso

De acuerdo a su propósito, los morteros se clasifican en morteros de levantado y morteros de recubrimiento y acabados.

3.3.2.1. Morteros de levantado

Son los morteros que se usan para el levantado de muros portantes o de relleno, con cualquier tipo de mampostería, también en la elaboración de revestimientos y pisos. El objetivo de este mortero es unir entre sí los elementos de albañilería y formar un conjunto único, igualar las irregularidades, para evitar la concentración de tensiones. El mortero debe tener suficiente resistencia para soportar las cargas que van a actuar sobre el muro.

3.3.2.2. Mortero de acabado

Su principal función proteger los elementos estructurales y no estructurales de las inclemencias del clima y la penetración del agua. También brindan uniformidad, textura, color y belleza arquitectónica.

Generalmente se usa como aglomerante principal la cal hidratada, debido a que estos morteros deben poseer una adherencia y plasticidad más alta que los morteros de levantado. Ya que deben soportar esfuerzos de tensión procedentes de los movimientos del muro, y los esfuerzos de contracción, originados por los cambios de temperatura. Esta clasificación de morteros abarca:

- Mezclas para repello, especiales para recubrimiento inicial o final de paredes y cielos
- Cernidos, para acabado final de paredes, cielos y detalles
- Blanqueados o alisados
- Mezclón, para relleno, base de pisos y pañuelos en terrazas.
- Escarchado, para acabados y detalles especiales en cenefas, sillares.

3.3.3. De acuerdo a la Norma NTG 41050

Cubre los morteros de pega para uso en la construcción de estructuras de unidades de mampostería no reforzadas y reforzadas. Se puede especificar a los morteros por proporciones y por propiedades, pero no por ambos casos. En Guatemala la especificación por propiedades es la que rige, y la especificación por proporciones se tomará solamente como una referencia útil para hacer las amasadas de prueba.

Las letras de designación para los morteros son M, S, N y O. Se obtuvieron de las palabras inglesas "*Mason Work*", son ordenadas de mayor a menor en cuanto a fuerza compresiva, y de menor a mayor en facilidad de moldeabilidad. Variar las proporciones mejora algunas propiedades a expensas de otras.

Debido a que no existe un mortero que sea aplicable con éxito a todo trabajo, la decisión de cuál usar debería basarse en la mejor mezcla para el proyecto y no simplemente en una alta fuerza compresiva. Una regla práctica es usar el mortero con la resistencia más baja que se ajuste a los requisitos del trabajo. El mortero siempre debe ser de una fuerza compresiva menor que la de las unidades que comprenden el ensamblaje de la mampostería.

El mortero tipo M es de alta resistencia ofrece más durabilidad que otros morteros, se utiliza en mampostería reforzada o sin refuerzo sujeta a grandes cargas de compresión, acción severa de congelación, altas cargas laterales de tierra, vientos fuertes o temblores.

Debido a su durabilidad superior debe usarse en estructuras en contacto con el suelo, tales como cimentaciones, muros de contención, aceras, tuberías de agua servidas y pozos.

El mortero tipo S alcanza alta resistencia de adherencia, la más alta que un mortero puede alcanzar. Se utiliza para estructuras sujetas a cargas compresivas normales, que a la vez requieren alta resistencia de adherencia, como en el caso de revestimientos o para pegar baldosas de barro cocido.

El mortero tipo N es de propósito general, utilizado en estructuras de mampostería sobre el nivel del suelo y para revestimientos de mampostería, paredes internas y divisiones. Es de mediana resistencia, presenta la mejor combinación de resistencia, trabajabilidad y economía. Lo afectan entre otras variables la absorción de las unidades y calidad de la mano de obra.

El mortero tipo O tiene baja resistencia y alta proporción de cal, se debe utilizar en paredes, divisiones sin carga y para el revestimiento exterior que no se congela cuando está húmedo. Se usa a menudo en residencias de uno y dos niveles. Es el favorito de los albañiles porque tiene excelente trabajabilidad y bajo costo.

Para facilitar la selección de morteros se muestran las siguientes tablas. Para la selección de morteros de reparación y acabado hay que considerar las recomendaciones estructurales, ya que pueden especificar el uso de morteros diferentes. Estos morteros no aplican para uso en pavimentos.

Tabla II. **Guía para la selección de morteros de mampostería**

Localización	Parte de la construcción	Tipo de mortero	
		Recomendado	Alternativa
Exterior, arriba del nivel del terreno	Muro de carga	N	S o M
	Muro sin carga	O	N o S
	Pared	M	S
Exterior, a nivel o por debajo del terreno	Muro de cimentación, muro de contención, pozos de inspección, pavimentos, caminos y patios	S	M o N
Interior	Muro de carga	N	S o M
	Tabiques sin carga	O	N
Interior o exterior	Reparación o acabado	Véase tabla siguiente	Véase tabla siguiente

Fuente: Norma Coguanor NTG 41050, tabla X.1.1, p. 31.

Tabla III. **Guía de selección para morteros de reparación y acabado**

Localización o servicio	Mortero tipo	
	Recomendado	Alternativa
Interior	O	N
Exterior, arriba del nivel del suelo expuesto de un lado, con poca probabilidad de congelamiento cuando esté saturado	O	N
No sujeto a vientos fuertes o de otras cargas laterales significativas (sísmicas)	N	O
Exterior (distinto al anterior)	N	O

Fuente: Norma Coguanor NTG 41050, tabla X.3.1, p. 33-34.

Tabla IV. **Requisitos para la especificación por propiedades**

Mortero	Tipo	Resistencia a la compresión promedio mínima MPa (lb/pulg ²)	Retención de agua mínima %	Contenido de aire máximo %	Proporción de agregado (medido en condiciones húmedo seco)
Cemento-cal	M	17,2 (2 500)	75	12	No menos de 2 ¼ y no más que 3 ½ veces de los volúmenes separados de materiales cementantes
	S	12,4 (1 800)	75	12	
	N	5,2 (750)	75	14*	
	O	2,4 (350)	75	14*	
Cemento para mortero de pega	M	17,2 (2 500)	75	12	
	S	12,4 (1 800)	75	12	
	N	5,2 (750)	75	14*	
	O	2,4 (350)	75	14*	
Cemento de mampostería	M	17,2 (2 500)	75	18	
	S	12,4 (1 800)	75	18	
	N	5,2 (750)	75	20**	
	O	2,4 (350)	75	20**	

* Si existe refuerzo estructural y el mortero es de cemento-cal o de cemento para mortero de pega, el contenido máximo de aire debe ser 12 %.

** Si existe refuerzo estructural y el mortero es de cemento de mampostería, el contenido máximo de aire debe ser 18 %.

Fuente: Norma NTG 41050, Cuadro 2, p 11.

En la tabla V se muestran las proporciones descritas en la Norma NTG 41050. Cuando se conviertan proporciones en volumen a masas de dosificación para la amasada, utilizar las siguientes densidades globales (masas unitarias).

Tabla V. **Requisitos para la especificación por proporciones**

Mortero	Tipo	Proporciones por volumen (materiales cementantes)							Proporción de agregado (medio en condiciones húmedo suelto)	
		Cemento hidráulico	Cemento para mortero de pega			Cemento de mampostería				Cal hidratada o de cal pasta
			M	S	N	M	S	N		
Cemento-cal	M	1	—	—	—	—	—	—	Más de ¼ Más de ¼ a ½ Más de ½ a ¾ Más de ¾ a 1½	
	S	1	—	—	—	—	—	—		
	N	1	—	—	—	—	—	—		
	O	1	—	—	—	—	—	—		
Cemento para mortero de pega	M	1	—	—	1	—	—	—	No menos que 2¼ y no más que 3 veces la suma de los volúmenes separados de materiales cementantes	
	M	—	1	—	—	—	—	—		
	S	½	—	—	1	—	—	—		
	S	—	—	1	—	—	—	—		
	N	—	—	—	1	—	—	—		
O	—	—	—	1	—	—	—			
Cemento de mampostería	M	1	—	—	—	—	—	1		
	M	—	—	—	—	1	—	—		
	S	½	—	—	—	—	—	1		
	S	—	—	—	—	—	1	—		
	N	—	—	—	—	—	—	1		
O	—	—	—	—	—	—	1			

Fuente: Norma NTG 41050, Cuadro 1, p. 10.

Tabla VI. **Masa de los materiales de mortero**

Material	Masa suelta
Cemento hidráulico	Masa anotada en la bolsa*
Cemento de mampostería	Masa anotada en la bolsa
Cemento para mortero de pega	Masa anotada en la bolsa
Masilla de Cal Viva	1 280 kg/m ³ (80 lb/pie ³)
Cal hidratada	640 kg/m ³ (40 lb/pie ³)
Arena	La que corresponda a la arena utilizada
* Por lo general el cemento hidráulico tiene una masa suelta de 1,505 Kg/m ³	

Fuente: Norma NTG 41050, p. 12.

Una masa de 36 kg (80 lb) de arena seca ha sido en muchos casos equivalente a la masa de arena en 0,03 m³ (1 ft³) de arena suelta húmeda. En Guatemala, donde hay una variedad grande de agregados, habrá muchos que contengan material piroclástico liviano, lo cual no concuerda con lo arriba indicado.

3.3.4. De acuerdo al aglomerante que constituye el mortero

Todo mortero está constituido a base de aglomerantes que provocan la adherencia. Comúnmente los más utilizados y comercializados son el cemento y la cal, aunque se puede usar el yeso y también combinaciones de estos materiales.

3.3.4.1. Morteros de cemento

Para el diseño de este mortero se utiliza cemento hidráulico con contenido de aire, para aumentar la resistencia a flexión en uniones. La elaboración de este mortero se acostumbra hacerla en obra, por el rápido fraguado que presenta el cemento, lo cual reduce el tiempo de aplicación, aunque las condiciones de trabajabilidad dependen de la relación agua-cemento.

3.3.4.2. Morteros de cal

Este mortero, mediante el plastificante y aglomerante que es la cal, hace que se facilite la trabajabilidad de manipulación y aplicación, aunque debido a su lenta velocidad de endurecimiento, no provee altas resistencias iniciales.

3.3.4.3. Morteros de yeso

Con el semihidrato o yeso de fábrica, o estuco, que es de fraguado rápido, se forma una pasta amasándola solamente con agua. El contenido de arena no puede ser más de un tercio del volumen de pasta. Además, como su fraguado es rápido, casi no da tiempo de amasarlo. La cantidad de agua de amasado varía con el grado de cocción, calidad, finura y del empleo.

Las cantidades de yeso y agua necesarias para preparar 1 m³ de mortero de yeso de consistencia plástica son: 850 kg de yeso negro con 600 L de agua, o 810 kg de yeso blanco con 650 L de agua. El amasado se hace vertiendo el yeso sobre el agua dispuesta en una artesa, mezclando rápidamente y procurando que no se formen grumos y burbujas. Se prepara a medida que se necesita, pues se empieza a fraguar de 3 a 5 min y termina de 15 a 20 min. El aumento de volumen que experimenta el yeso al fraguar, que es del 1 %, se puede evitar amasándolo con agua de cal, y además le da mayor resistencia.

3.3.4.4. Morteros bastardo

En esta categoría se encuentran los morteros compuestos por dos materiales cementantes, cemento-cal, cal-yeso, y los morteros compuestos por cementos de albañilería.

Entre sus características más importantes se tiene que fraguan rápidamente, evitan las grietas por contracción, aumentan la plasticidad y adherencia y son bastantes compactos.

3.4. Propiedades de los morteros

Se dividen en dos grupos: propiedades en estado plástico y en estado endurecido. La evaluación de las propiedades que tienen los morteros puede considerarse como una medida de control de calidad. Por lo regular, si un mortero cumple con las características especificadas, fraguará y endurecerá dentro del tiempo y resistencia esperados para su uso.

3.4.1. Propiedades en estado plástico

Propiedades que lo hacen trabajable, deformable plásticamente bajo la acción de pequeños esfuerzos. Determinan las condiciones de uso del mortero. En estado plástico el mortero presenta una serie de propiedades que además de regular su comportamiento, son de gran importancia e incidencia en sus características en estado endurecido.

3.4.1.1. Trabajabilidad

También llamada fluidez, es la propiedad más importante del mortero en estado plástico, en virtud de la influencia ejerce sobre otras propiedades. Se define como el grado de fluidez del mortero fresco que depende fundamentalmente de la fase líquida, contenido y características de los componentes sólidos del mortero. Se considera que las propiedades afectadas por la trabajabilidad son la consistencia, fluidez, capacidad de retención de agua y tiempo de fraguado.

3.4.1.2. Masa unitaria

Por lo general, la densidad o masa unitaria de un material es un indicador de la resistencia del mismo. Si se tiene un mortero muy denso es probable que su resistencia sea alta, y ocurrirá lo contrario en el caso de morteros menos densos. Los morteros se clasifican de acuerdo a esta propiedad, como se muestra en la siguiente tabla.

Tabla VII. **Clasificación de los morteros de acuerdo a su masa unitaria**

Tipo de mortero	Masa unitaria, Kg/m ³
Liviano	1,400 – 1,600
Mediano	1,600 – 1,850
Pesado	1,850 – 2,200

Fuente: SABÁ, Carlos. *Evaluación de la incidencia de la cal en las propiedades físico-mecánicas de tres tipos de mortero de albañilería*. p. 32.

3.4.1.3. Contenido de aire

El aire incluido en un mortero puede producirse por efectos mecánicos o por medio de la aplicación de aditivos incorporadores de aire. A medida que aumenta el contenido de aire, entre un 12 % a 18 %, según la Norma NTG 41050, mejoran la trabajabilidad y la resistencia a los ciclos hielo–deshielo, de forma contraria, disminuye la resistencia mecánica, adherencia y la impermeabilidad.

3.4.1.4. Velocidad de endurecimiento

Determina el tiempo de fraguado y de endurecimiento del mortero. Los tiempos de fraguado inicial y final deben estar entre límites adecuados. Sin embargo, estos dependen de diversos factores, como las condiciones del clima, la composición de la mezcla o la mano de obra. Hoy en día los tiempos de fraguado son fácilmente controlables con el uso de aditivos para conseguir los efectos deseados.

3.4.1.5. Retención de agua

También llamado retentividad, es la capacidad del mortero de retener el agua de amasado ante sollicitaciones externas de absorción o succión por parte de las unidades de albañilería. Esto permite que el mortero mantenga su plasticidad para que las unidades puedan ser cuidadosamente alineadas y niveladas sin romper el enlace. La retención de agua adquiere mayor importancia cuando las unidades de albañilería utilizadas presentan una alta absorción, afectando la adherencia mortero–unidad.

3.4.2. Propiedades en estado endurecido

Estas propiedades generalmente se presentan a una cierta edad para adquirir resistencia mecánica, permeabilidad y adherencia en estado endurecido.

3.4.2.1. Resistencia a compresión

Generalmente se usa como el principal criterio para seleccionar el tipo de mortero a utilizar en una estructura de mampostería, ya que es fácil de medir y puede relacionarse con otras propiedades como la adherencia y la durabilidad.

Aunque la resistencia a la compresión de los muros puede incrementarse utilizando un mortero más resistente, el aumento no es proporcional a la resistencia a la compresión del mortero. Se tiene un aumento del 10 % cuando la resistencia del mortero aumenta en 130 %.

3.4.2.2. Resistencia a tensión

Aunque esta resistencia es baja, es necesario conocerla, debido a que en muchas situaciones la mampostería se ve sometida a tensiones diagonales y combinaciones de esfuerzos. Estas situaciones se pueden producir por efectos sísmicos, hundimientos diferenciales o bajo la acción de cargas gravitacionales. La resistencia a la tensión es proporcional entre el 8 % al 12 % de la resistencia a compresión.

3.4.2.3. Resistencia a flexión

No es un parámetro determinante en el diseño de la mampostería, esto como consecuencia de que el mortero es un material frágil, cuyo módulo de ruptura es muy bajo al compararlo con la resistencia a compresión.

Sin embargo, muchas veces el mortero sirve como elemento de unión entre las unidades de mampostería, haciendo que estas actúen como si fueran un elemento estructural monolítico soportando combinaciones de esfuerzos.

3.4.2.4. Adherencia

Es la propiedad más importante del mortero de albañilería en estado endurecido. Es también la más impredecible y la menos constante. El mortero tiene que desarrollar suficiente adherencia con las unidades de mampostería para resistir los esfuerzos de tracción producidos por las cargas de la estructura, terreno, sísmicas y del viento; los cambios de volumen de las unidades y los cambios de temperatura.

Esta propiedad depende de muchos factores, como: durabilidad, condiciones de curado, calidad del proceso constructivo, características de las unidades de mampostería, componentes del mortero, retención de agua del mortero, trabajabilidad del mortero y la interacción hídrica entre el mortero y la unidad.

3.4.2.5. Variaciones de volumen

El mortero experimenta variaciones de volumen, dilataciones o contracciones durante toda su vida útil por causas físicoquímicas. El tipo y la magnitud de las variaciones están afectados por las condiciones ambientales. La retracción se debe principalmente a reacciones químicas de hidratación de la pasta, sobre todo en pastas puras con una alta relación agua/cemento.

Se pueden distinguir tres tipos de variaciones de volumen: La retracción hidráulica, es la que se deriva de las condiciones de humedad. La retracción térmica, tiene por causa la temperatura. Retracción originada por la composición atmosférica (especialmente el anhídrido carbónico).

3.4.2.6. Permeabilidad

Es aquella propiedad que permite el paso de agua o de otro fluido a través de su estructura interna. El agua puede incorporarse al mortero por medio de presión hidrostática y capilaridad. Esta propiedad debe estudiarse y analizarse para el conjunto mortero-unidad.

3.4.2.7. Eflorescencia

Es la cristalización de las sales solubles y es causada por el movimiento de agua de adentro hacia fuera de la pared, afectando la estética y debilitando la mampostería. Generalmente es de color blanco y se deposita en la superficie de los materiales de una obra. Debido a que todos los materiales de mampostería contienen sales solubles en agua, que al contacto con ella se cristalizan, la cal hace al mortero menos permeable y así evita la eflorescencia.

3.4.2.8. Durabilidad

Es la resistencia que provee el mortero bajo la influencia de agentes externos provocados por las bajas temperaturas, filtración de agua, eflorescencias, agentes corrosivos o choques térmicos, entre otras causas, sin presentar en el tiempo un deterioro de sus condiciones físico-químicas.

En general, se cree que morteros de alta resistencia a la compresión tienen buena durabilidad. Sin embargo, el uso de agentes inclusores de aire es necesario para proveer mayor durabilidad en ambientes húmedos, marinos y, en general en condiciones de ambiente agresivo.

3.4.2.9. Apariencia

Un aspecto que tiene importancia en el mortero es su apariencia, especialmente en mampostería de bloques a la vista. En este caso la plasticidad de la mezcla, selección y dosificación adecuada de sus componentes son de vital importancia en la colocación y el acabado de superficies. El color y la textura pueden mejorarse con aditivos especiales.

3.5. Ensayos aplicados a morteros

Al igual que las propiedades de los morteros, los ensayos se pueden dividir en dos grandes grupos: en estado plástico y en estado endurecido. Esta división se hace debido a que los morteros presentan diferentes propiedades y comportamientos en estado plástico y endurecido.

3.5.1. Ensayo en estado plástico

Estos prueban las propiedades y comportamientos de los morteros en estado fresco, la mayoría de estos se realizan inmediatamente después de producir el mortero para evitar cambios en el mortero debido al fraguado y pérdida de humedad.

3.5.1.1. Trabajabilidad

Para su determinación en laboratorio se siguen los procedimientos y especificaciones indicados en las siguientes normas:

NTG 41011 (ASTM C230). Mesa de flujo para uso en ensayos de cemento hidráulico. Especificación. Esta norma establece los requisitos para la mesa de flujo y accesorios usados en los ensayos de flujo para la consistencia de morteros (trabajabilidad).

NTG 41003 h13 (ASTM C1437). Método de ensayo. Determinación del flujo en morteros de cemento hidráulico. Esta norma establece el método de ensayo para determinar el flujo en morteros de cemento hidráulico y de los morteros que contengan materiales cementantes que no sean cementos hidráulicos.

NTG 41051 h1 (ASTM C780). Método de ensayo. Evaluación preconstrucción y durante la construcción de los morteros de pega para mampostería simple y reforzada. Establece métodos para el muestreo y el ensayo de morteros de pega para determinar su composición y sus propiedades en estado plástico o en estado endurecido, ya sea antes o durante su uso actual en el sitio de la construcción. El método de ensayo en específico es el descrito en el Anexo A1 – Consistencia por el método de ensayo de penetración del cono.

3.5.1.2. Masa unitaria

NTG 41017h5 (ASTM C138). Método de ensayo. Determinación de la densidad aparente (masa unitaria), rendimiento (volumen de concreto producido) y contenido de aire (gravimétrico) del concreto. Este método determina la densidad aparente de concreto recién mezclado, rendimiento, el contenido de cemento y el contenido de aire. A pesar de que este ensayo es para concreto recién mezclado, puede ser adaptado para determinar la densidad o masa unitaria del mortero fresco.

3.5.1.3. Contenido de aire

Este método tiene por objeto establecer el método para la determinación del aire atrapado en morteros preparados de cemento Portland y cal hidratada. Para analizar si este se encuentra dentro de los límites permisibles que están descritos en la Norma ASTM C 270.

Las normas utilizadas son: NTG 41003 h3 (ASTM C185). Método de ensayo. Determinación del contenido de aire en los morteros de cemento hidráulico, y NTG 41050 (ASTM C270). Mortero de pega para unidades de mampostería. Especificaciones. Las normas anteriores son aplicables en laboratorios.

Para establecer esta propiedad en campo se debe usar la Norma NTG 41051 h1 (ASTM C780). Método de ensayo. Evaluación preconstrucción y durante la construcción de los morteros de pega para mampostería simple y reforzada. El método de ensayo en específico es el descrito en el Anexo A5 – Contenido de aire de los morteros de pega de unidades de mampostería

3.5.1.4. Velocidad de endurecimiento

La norma más utilizada para determinar esta propiedad es la Norma NTG 41003 h10 (ASTM C191). Método de ensayo. Determinación del tiempo de fraguado del cemento hidráulico usando la aguja de Vicat. Se dan dos métodos de ensayo: el Método A; es el de referencia y utiliza un aparato de Vicat manual, y el Método B; permite el uso de un aparato de Vicat automático, que cumpla con los requisitos de la calificación por desempeño establecida en este método

Sin embargo, en este trabajo se realizó este ensayo según la Norma ASTM C 807 – *Test Method for Time of Setting of Hydraulic Cement Mortar by Modified Vicat Needle*. Este método de ensayo cubre la determinación del tiempo de fraguado de morteros de cemento hidráulico por medio de la aguja de Vicat modificada.

Las normas anteriores son aplicables en laboratorios. Para establecer esta propiedad en campo se debe usar la Norma NTG 41051 h1 (ASTM C780). Método de ensayo. Evaluación preconstrucción y durante la construcción de los morteros de pega para mampostería simple y reforzada. El método de ensayo en específico es el descrito en el Anexo A3 – Consistencia inicial y retención de consistencia o tiempo de manejabilidad de los morteros de pega, usando un penetrómetro modificado en concreto.

3.5.1.5. Retención de agua

La Norma ASTM C 1506 *Test Method for Water Retention of Hydraulic Cement Based Mortars and Plasters*. (Método de ensayo para la retención de agua de morteros a base de cemento hidráulico y estucos); proporciona el ensayo para determinar la capacidad de los morteros de pega y de recubrimiento para retener el agua bajo succión.

Los resultados obtenidos con este ensayo para morteros de albañilería no indican necesariamente el grado de retención de agua cuando se utilizan estos morteros con unidades de mampostería, puesto que la cantidad de agua absorbida por la unidad depende de la velocidad de absorción de la unidad de mampostería.

3.5.2. Ensayos en estado endurecido

Estos prueban las propiedades y comportamientos de los morteros en estado endurecido, se realizan después de que el mortero ha fraguado. Muchos de estos ensayos se realizan a los 28 días de edad del mortero.

3.5.2.1. Resistencia a compresión

Para determinar esta resistencia se utiliza la Norma NTG 41003 h4 (ASTM C109). Determinación de la resistencia a la compresión de mortero de cemento hidráulico usando especímenes cúbicos de 50 mm (2 pulg) de lado. Este ensayo se puede usar para otros morteros. Los resultados se pueden usar para determinar si se está dando el cumplimiento con las especificaciones.

Además, este método de ensayo es citado por numerosas otras especificaciones y métodos de ensayo. Se debe tener cuidado en la utilización de los resultados de este método de ensayo para predecir la resistencia de los morteros en campo.

3.5.2.2. Resistencia a tensión

Esta prueba determina la fuerza en tensión sobre un mortero de cemento utilizando un espécimen de briqueta. La norma empleada es la ASTM C190 *Method of Test for Tensile Strength of Hydraulic Cement Mortars* (Método de ensayo para la resistencia a tensión de morteros de cemento hidráulico). Esta norma se encuentra descontinuada; sin embargo, no existe algún otro método para determinar la resistencia a tensión en morteros, razón por la cual sigue siendo un ensayo utilizado para determinar la calidad en los morteros.

3.5.2.3. Resistencia a flexión

Este ensayo provee una forma de determinar el esfuerzo flexionante de morteros de cemento hidráulico. Los valores que se determinan de esta propiedad sirven únicamente como referencia o para propósitos de investigación, no son utilizados para determinar si los morteros cumplen o no con requerimientos de especificaciones. Se recomienda usar la Norma ASTM C 348 *Test Method for Flexural Strength of Hydraulic-Cement Mortars* (Método de ensayo para la resistencia a la flexión de los morteros de cemento hidráulico). Otro ensayo utilizado para determinar esta propiedad en morteros es el ensayo a flexión e impacto para baldosas de cemento líquido, según especificaciones de FHA.

3.5.3. Adherencia

Varios métodos de ensayo están disponibles para evaluar la resistencia de adherencia del mortero de pega con las unidades de mampostería en sentido normal a las juntas de mortero. Estos métodos están descritos en las normas:

- ASTM C 952 – Método de ensayo. Determinación de la resistencia de adherencia del mortero a las unidades de mampostería.
- ASTM C 1072 – Método de ensayo. Medición de la resistencia de adherencia por flexión de la mampostería.
- ASTM C 1357 – Método de ensayo. Método para evaluar la resistencia de adherencia.
- ASTM E 518 – Método de ensayo. Método para determinar la resistencia de adherencia por flexión de la mampostería.
- ASTM E 72 – Método de ensayo. Método para realizar ensayo de resistencia de paneles para construcción de edificaciones.

3.5.4. Variaciones de volumen

Las normas aplicables para esta propiedad son:

Norma NTG 41058 (ASTM C 490). Práctica para el uso del equipo para la determinación del cambio de longitud de pasta de cemento, mortero y concreto endurecidos. Provee los requisitos estándar para el comparador de longitud y el equipo complementario, también los procedimientos estandarizados para su uso.

Norma NTG 41014 h3 (ASTM C 1038). Método de ensayo. Determinación de la expansión de barras de mortero de cemento hidráulico almacenadas en agua. Determina los cambios de longitud del mortero de cemento y del hormigón debidos a causas distintas de la aplicación de fuerzas externas y a cambios de temperatura. Es un método bastante restrictivo, y por lo tanto puede ser usado como base para ensayos de aceptación o rechazo.

3.5.5. Permeabilidad

Se puede mencionar el ensayo descrito en la Norma ASTM E 514 Penetración de agua y fugas a través de mampostería (*Water penetration and leakage through masonry*), que mide la penetración de agua a un caudal y la presión constantes aplicados por medio de una cámara en la superficie del muro.

Otro ensayo empleado es el método del tubo karsten, que no ha sido normalizado, y que consiste en la colocación de una pipeta de forma y dimensiones determinadas contra el muro en puntos elegidos de antemano.

3.5.6. Otros ensayos

Con estos no se determina una propiedad del mortero como tal sino el efecto que tienen los componentes del mortero en estado endurecido. Es poco común que se realicen, sin embargo, son necesarios para realizar un análisis completo al mortero.

3.5.6.1. Efecto de las impurezas orgánicas sobre el mortero

La norma utilizada es la ASTM C 87 (*Test Method for Effect of Organic Impurities in Fine Aggregate on Strength of Mortar*). Determina del efecto de las impurezas orgánicas en el agregado fino sobre la resistencia del mortero, cuya presencia se indica utilizando el ensayo de la Norma ASTM C 40. La comparación se hace entre resistencias a la compresión de morteros a base de agregado fino lavado y sin lavar

Este método de ensayo es aplicable a aquellas muestras que, cuando se prueba de acuerdo con el Método de Ensayo de la Norma ASTM C-40, han producido un líquido con un color más oscuro que el de la solución patrón de referencia o del color número 3 de la placa de color.

3.6. Morteros modificados con fibras

La finalidad de los morteros con fibra es mejorar las características que los morteros simples poseen. Las propiedades que son mejoradas dependen de la fibra que se utilice.

3.6.1. Definición

Es un mortero normal a base de cualquier aglomerante, al cual se le han adicionado fibras que pueden ser de acero, plástico, asbesto, naturales, entre otras. De forma general aumenta la resistencia a flexión y tensión, mejora la capacidad de deformación y se reducen las fisuras durante la contracción plástica.

3.6.2. Antecedentes

El uso de las fibras naturales como un componente más en materiales de construcción no es nuevo y se remonta varios siglos atrás. En concreto existen referencias tempranas de experimentación con un refuerzo discontinuo (clavos, segmentos de cable, ganchos) que se remontan a 1910. En los morteros se tiene referencia del uso de fibras a partir de 1960, en donde se empezaron a usar fibras de vidrio, de acero y naturales.

Históricamente las fibras han sido usadas para reforzar materiales frágiles. La paja fue utilizada para reforzar ladrillos para hornos, las crines de caballo fueron utilizadas para reforzar el yeso de enlucido y, más recientemente, fibra de asbesto (también llamado amianto), que se utilizaba para reforzar materiales compuestos a base de cemento hidráulico.

Ya situados en la época moderna, el primer material manufacturado por el hombre, conocido como material compuesto, 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 se publicaron los resultados de algunas investigaciones sobre concretos con fibras de acero, 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 ellas aún continua. 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, sisal, fique, coco, bambú, entre otras.

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), a nivel internacional puede ser considerado como uno de los trabajos más amplios y consistentes en el tema.

Los trabajos se han concentrado en el uso de fibras de sisal y del fruto de coco. A partir de estos estudios se han estudiado algunos componentes habitacionales como tejas, pilas, pequeñas cajas de agua o drenajes, producidos con construcción simplificada con matrices de cemento Portland.

En cuanto al uso de la fibra del tronco de la palma de coco para reforzar morteros o concretos, no se encontraron antecedentes; sin embargo, se tiene referencia del uso de la fibra del fruto del coco. Uno de los estudios más recientes que se asemejan a este trabajo es Caracterización físico–mecánica de morteros fibrorreforzados de matriz cementicia y fibra de coco, llevado a cabo en la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, realizado por Demis Omar Álvarez Molineros.

3.6.3. Fibras a utilizar

Las fibras a utilizar para este trabajo son: la extraída del tronco de la palma de coco, por ser relativamente de fácil acceso, y la fibra de polipropileno, que será la fibra patrón, dado que es una fibra conocida y de relativa accesibilidad en Guatemala.

4. DESARROLLO EXPERIMENTAL

4.1. Análisis de las fibras a utilizar

Como se mencionó anteriormente, las fibras que se utilizarán son la de polipropileno y la natural extraída del tronco de la palma de coco.

4.1.1. Fibra de polipropileno

La fibra de polipropileno usada es producida y distribuida por la empresa Solprosa y se encuentra comercialmente en el medio con el nombre Fibercrete, en presentaciones de bolsa con 1,3 lb de fibra, aproximadamente 600 g, que es la presentación usual de este tipo de fibras.

Figura 2. **Muestra de fibra de polipropileno usada**



Fuente: Centro de Investigaciones de Ingeniería, USAC.

Es una fibra de forma circular, con una longitud de 2,5 cm (1 pulg), de color blanco translucido, que es su color natural, se encuentran juntas en pequeños conglomerados que son fácilmente desmenuzados al ser manipulados. Tiene una absorción del 0 %. Es una fibra de polipropileno 100 % virgen.

4.1.2. Fibra natural extraída del tronco de la palma de coco

La fibra se obtuvo de 5 palmas de coco que reunieron las características apropiadas para el procesamiento de la madera de acuerdo a las referencias expuestas en la Norma ASTM D143-83 en su sección de métodos primarios. Estas palmas de coco estaban ubicadas en el kilómetro 93,5 de la carretera vieja hacia Puerto San José, en la jurisdicción de Masagua, Escuintla.

Figura 3. Tala de la palma de coco



Fuente: Kilometro 93,5, Masagua, Escuintla, antigua carretera a Puerto San José.

Es importante señalar que estas palmeras de coco ya se encontraban en su período final de producción, el cual es el momento ideal para la extracción de madera, ya que el árbol no produce más y la madera está madura y lista para su procesamiento.

Luego de talados y marcadas las secciones de las 5 palmeras, se transportaron en un camión con capacidad de 15 toneladas al aserradero, donde se inició el proceso de corte. Estos se realizaron conforme a lo especificado en la Norma ASTM D143-83. Finalmente se obtuvo la fibra de la lepa, que es el desperdicio que se obtiene al convertir el tronco en trozas de madera. Antes de la extracción se dejaron secar las lepas. La extracción se hizo manualmente.

Figura 4. **Trazo de cuadrícula de acuerdo a la Norma ASTM D143-83**



Fuente: Industrias Verdumaga, S.A., zona 7 de Guatemala.

Se observó que las fibras no tienen un largo definido y están esparcidas aleatoriamente, pero conservan un sentido paralelo al tronco de la palma. Se encontraron unas fibras dañadas por enfermedades, las cuales se descartaron y solamente se utilizaron fibras sanas.

Figura 5. **Muestra de fibra sin extraer de la corteza**



Fuente: Bárcenas, Villa Nueva.

Las fibras fueron seleccionadas y se cortaron a la misma longitud que la fibra de polipropileno, para que esta característica física fuera semejante. En la fibra del tronco de coco se percibió que hay fibras de diferentes grosores. Sin embargo, la mayoría de fibras tiene un grosor similar a la fibra de polipropileno.

Figura 6. **Muestra de fibra del tronco de la palma de coco utilizada**



Fuente: Centro de Investigaciones de Ingeniería, USAC.

4.2. Análisis del agregado fino

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

Al analizar los resultados se determina que la arena es de una calidad moderada, ya que varias características se encuentran en los límites permisibles o sobrepasan estos. A pesar de estos resultados se procedió a continuar con el diseño de morteros para representar lo mejor posible las interacciones que tendrá la fibra del tronco de la palma de coco al utilizarla en casos reales. Los resultados se describen y analizan a continuación.

Tabla VIII. **Características físicas**

Peso específico	2,46
Peso unitario compactado (kg/m ³)	1 340,00
Peso unitario suelto (kg/m ³)	1 280,00
Porcentaje de vacíos (%)	46,00
Porcentaje de absorción (%)	2,20
Contenido de materia orgánica	3
Pasa tamiz # 200 (%)	4,60
Retenido tamiz 6,35 (%)	0,00
Módulo de finura	2,11

Fuente: elaboración propia. Según resultados de ensayos, Orden de Trabajo Nro. 34950, CII-USAC.

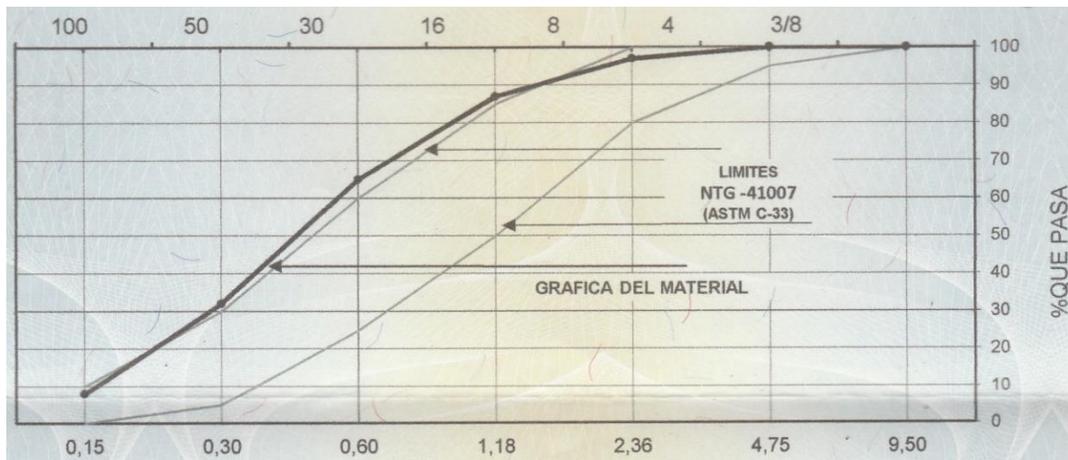
Las Normas NTG 41007 h1 especifican los límites para cada característica física del agregado fino. De los resultados que aparecen en la tabla IX se puede anotar lo siguiente:

- Con el 46 % de vacíos, el agregado muestra un contenido de vacíos alto, lo cual podría afectar la resistencia de los morteros y concretos para los que sea utilizado.
- Usualmente, el peso volumétrico del agregado fino utilizado para concreto varía de 1 200 kg/m³ a 1 750 kg/m³; mientras tanto, del análisis realizado con el peso unitario obtenido de 1 340 kg/m³ se cumple con los requerimientos establecidos.
- El porcentaje de absorción de 2,20 indica que el agregado absorbe agua moderadamente.

4.2.1. Granulometría

Es la distribución de los tamaños de las partículas que componen a los agregados, el análisis granulométrico consiste en dividir una muestra representativa del agregado en fracciones de igual tamaño de partículas; la medida de la cuantía de cada fracción se denomina como granulometría.

Figura 7. **Curva granulométrica del agregado fino**



Fuente: Informe de resultados, Orden de Trabajo Nro. 34950, CII-USAC.

Tabla IX. **Granulometría del agregado fino**

Tamiz Nro.	Porcentaje que pasa	Límites norma NTG 41007 h1
9,5 mm (3/8")	100,00	100
4,75 mm (Nro. 4)	100,00	95 a 100
2,36 mm (Nro. 8)	97,00	80 a 100
1,18 mm (Nro. 16)	87,00	50 a 85
0,60 mm (Nro. 30)	65,00	25 a 60
0,30 mm (Nro. 50)	32,00	5 a 30
0,15 mm (Nro.100)	8,00	0 a 10

Fuente: elaboración propia. Según resultados de ensayos, Orden de Trabajo Nro. 34950, CII-USAC.

- La Norma NTG 41007 h1 (ASTM C-33), para agregado fino, especifica que el porcentaje que debe pasar por el tamiz Nro. 200 no debe ser mayor al 5 %. En la prueba que se realizó el porcentaje es de 4,60 %, con el cual se cumple con las especificaciones de la norma.

- El módulo de finura, según la Norma NTG 41007 h1 (ASTM C-33), no debe ser menor a 2,3 ni mayor a 3,1. El resultado del análisis para el agregado fino es de 2,11, por lo que el agregado no cumple con las especificaciones de la norma. Se clasifica al agregado como una arena fina.
- En la curva granulométrica de la figura 7 se observa que la graduación del agregado fino no cumple con la especificación de la Norma ASTM C-136, dado que la gráfica del material se encuentra fuera de los límites estipulados en la Norma NTG 41007 h1 (ASTM C-33).

4.2.2. Impurezas orgánicas

Con relación al resultado del análisis de contenido de materia orgánica, la Norma NTG 41010 h4, establece que el máximo permisible es Nro. 3, por lo que el resultado es aceptable.

4.3. Diseños de morteros

Al igual que en el concreto, existen numerosos métodos para diseñar morteros, ya sea sobre la base de propiedades o de proporciones, sin embargo, todos ellos son de ensayo-error.

4.3.1. Diseño teórico de morteros

Como ya es sabido, la nomenclatura de las proporciones en morteros es (cemento): (cal): (arena); sin embargo, no se utilizó cal en este trabajo, ya que se considera que no es necesario para evaluar las fibras. El cemento usado fue el cemento tipo UGC, según la Norma NTG 41095. Se propuso usar las proporciones previstas en la Norma NTG 41050.

4.3.1.1. Diseño teórico de mortero sin adición de fibra

Este mortero se realizó para tener un parámetro de comparación al tener una mezcla de control a la cual no fue adicionada la fibra. Se hizo la prueba con una proporción 1:2; sin embargo, se observó que la mezcla tenía una apariencia muy pobre, lo cual podía incidir en una baja resistencia del mortero.

Al no saber si la fibra de coco afectaría negativamente la resistencia a compresión se optó por usar una mezcla más resistente, seleccionando una proporción de 1:1. Se hizo el ensayo de mesa de flujo y se encontró que la proporción de agua es de 0,42 para obtener una lectura de 110 %, utilizando en todas las mezclas la proporción: 1:1:0,42.

4.3.1.2. Diseño teórico de mortero con fibra de polipropileno

Se usó la misma proporción que en el mortero sin adición de fibra. La proporción inicial que se usó la fibra fue de 600 g/m^3 , que es la proporción recomendada para utilizar la fibra de polipropileno. Se estudiaron diferentes proporciones de fibra dependiendo del desempeño del mortero reforzado con la fibra natural extraída del tronco de coco. Esto con el fin de tener siempre un parámetro de comparación entre el desempeño de las dos fibras.

4.3.1.3. Diseño teórico de mortero con fibra natural extraída del tronco de la palma de coco

Se usó la misma proporción que en el mortero sin adición de fibra. La proporción de la fibra utilizada como punto de partida fue la misma que en el mortero con fibra de polipropileno: 600 g/m^3 . Adicionalmente, se hicieron mezclas con un 125 % y un 75 % de la proporción inicial, para tener puntos de comparación y buscar la proporción de fibra de coco que permita que el mortero tenga el mejor desempeño posible.

4.3.2. Diseño práctico de morteros

A fin de simplificar la explicación, se les denomina a las mezclas de acuerdo a la fibra utilizada y al porcentaje de fibra en esa mezcla. Para determinar el porcentaje se toma como 100 % la proporción recomendada para la fibra de polipropileno (600 g/m^3 de mezcla). Por ejemplo, se refiere como mezcla "FP 125" a la mezcla que contiene fibra de polipropileno y el 125 % de la proporción inicial de 600 g/m^3 de mezcla.

Al referirse a la fibra de coco se habla únicamente de la fibra natural extraída del tronco de la palma de coco. A continuación, se muestra una tabla con la descripción de las proporciones finales de las mezclas.

Tabla X. **Identificación y proporción de mezclas**

Identificación de mezcla	Tipo de fibra	Proporción de fibra (g/m ³)	Cemento	Arena	Agua
Control	--	0,00	1	1	0,42
FC 75	Coco	450	1	1	0,42
FC 100	Coco	600	1	1	0,42
FC 115	Coco	690	1	1	0,42
FC 125	Coco	750	1	1	0,42
FC 130	Coco	780	1	1	0,42
FP 75	Polipropileno	450	1	1	0,42
FP 100	Polipropileno	600	1	1	0,42
FP 115	Polipropileno	690	1	1	0,42
FP 125	Polipropileno	750	1	1	0,42
FP 130	Polipropileno	780	1	1	0,42

Fuente: elaboración propia.

La cantidad de material utilizada por mezcla fue de 5 kg de cemento, 5 kg de arena y 2 100 mL de agua. La fibra fue medida de acuerdo a la proporción requerida por cada mezcla.

4.3.2.1. Elaboración de probetas de ensayo

El proceso fundamental consistió en la realización de la mezcla, colocación en moldes, fraguado, desmolde y curado. La elaboración de las probetas se programó de manera que las fechas importantes, tales como el día de desencofrado y los ensayos a 3, 7 y 28 días, tomaran lugar en un día hábil.

Asimismo, en lo posible se trató de juntar la fecha de desencofrado de mezclas anteriores con la fecha de la elaboración de nuevas mezclas. Se puede observar que las mezclas con la misma cantidad de fibra se elaboraron lo más cercano posible, para que se diera comparativa cuando se ensayaran las mezclas.

Tabla XI. **Cronograma de elaboración de mezclas, desencofrado y ensayos**

Mezcla	Elaboración de mezcla	Desencofrado y ensayo a 3 días	Ensayo a 7 días	Ensayo a 28 días
Control	10/07/2015	13/07/2015	17/07/2015	07/08/2015
FP 100	13/07/2015	16/07/2015	20/07/2015	10/08/2015
FC 100	14/07/2015	17/07/2015	21/07/2015	11/08/2015
FP 125	17/07/2015	20/07/2015	24/07/2015	14/08/2015
FC 125	20/07/2015	23/07/2015	27/07/2015	17/08/2015
FP 75	21/07/2015	24/07/2015	28/07/2015	18/08/2015
FC 75	24/07/2015	27/07/2015	31/07/2015	21/08/2015
FP 130	16/10/2015	19/10/2015	23/10/2015	13/11/2015
FC 130	19/10/2015	22/10/2015	26/10/2015	16/11/2015
FP 115	02/02/2016	05/02/2016	09/02/2016	01/03/2016
FC 115	08/02/2016	11/02/2016	15/02/2016	07/03/2016

Fuente: elaboración propia.

El tiempo que se dio entre las mezclas se explica por el procedimiento que se escogió para seleccionar los porcentajes de fibra a usar, el cual se detalla a continuación. Se realizaron primero las mezclas de control y las mezclas con un 100 %, 125 % y 75 % de la proporción inicial de fibra. Al comparar los resultados se observó que se mejora el desempeño al aumentar la cantidad de fibra, por lo que se decidió utilizar una proporción de 130 %.

Cuando se compararon los resultados de esta fibra con los de las anteriores, se observó que se disminuía el desempeño del mortero, por lo cual se decidió usar una proporción mayor al 100 % y menor al 125 %, eligiendo 115 %.

Antes de la realización de las mezclas para las probetas de ensayo se prepararon los componentes. Para evitar en lo posible el error humano durante el mezclado, se utilizó una mezcladora en vez de una batea para mezclado manual, para que se pudiera proveer uniformidad y consistencia para toda la pasta durante el amasado.

Figura 8. **Materiales a usar en la mezcla patrón**



Fuente: Centro de Investigaciones de Ingeniería, USAC.

El proceso de elaboración de cada una de las mezclas se puede resumir en los siguientes pasos: primero se comenzó pesando el cemento, la arena y las fibras, y también se midió la cantidad de agua necesaria de acuerdo a la proporción dada.

El cemento utilizado es UGC de 4 000 psi y el agua utilizada proveniente de la red de suministro de la Universidad de San Carlos de Guatemala. Luego se colocó en la mezcladora parte del cemento y la arena, para empezar a combinar los componentes secos del mortero.

Para mejores resultados, a la mezcla se agregó una porción de agua al inicio y el resto se agregó conforme se realizaba el mezclado. Después de agregar toda el agua se adicionó la fibra, gradualmente a manera de evitar los grumos y obtener mejor uniformidad.

Por consiguiente, se amasó la mezcla durante 5 min hasta obtener una consistencia homogénea. Durante el mezclado, las fibras quedaron distribuidas en todas las direcciones del elemento conformando un refuerzo multidireccional y dando un comportamiento isotrópico. La distribución de las fibras al azar facilita la colocación o inclusión de las mismas en la mezcla, aprovechando que son fibras relativamente cortas.

Por último, se verificó que no hubieran quedado grumos o material sin mezclar al fondo o en las orillas del recipiente de la mezcladora, y se volvió a mezclar por 1 min más. Durante el diseño de cada mezcla se observó que la trabajabilidad se ve afectada y disminuye a medida que se agrega la fibra.

Una vez que estuvo la mezcla lista se procedió con la elaboración de las probetas de ensayo según normas correspondientes. Para la elaboración de las probetas de ensayo se tomó en cuenta que se estaba trabajando con una mezcla de mortero, ya que no se utilizó agregado grueso. Por lo tanto, se utilizaron briquetas de acuerdo a la Norma ASTM C 190 para el ensayo de tensión y cubos de acuerdo a la Norma NTG 41003 h4 para el ensayo de compresión.

En lo que respecta al ensayo de flexión se fabricaron planchas de 30 x 30 cm con espesor de 1 pulg, de acuerdo a las especificaciones promedio de las baldosas de cemento líquido.

Figura 9. **Moldes de probetas a utilizar**



Fuente: Centro de Investigaciones de Ingeniería, USAC.

Antes de la colocación del mortero en los moldes, estos se prepararon con un recubrimiento de aceite mineral, para evitar que la mezcla se adhiera al molde y se facilitará la extracción de las probetas.

Debido a que la resistencia aumentó rápidamente en los primeros días, se mantuvo una humedad adecuada desde el inicio y se conservó de esta manera hasta el día del ensayo, para que no existiera variación alguna como consecuencia del curado.

El curado empleado fue el normal o estándar en laboratorio, y consistió en sumergir las probetas en agua a temperatura ambiente, en una cámara de humedad, excepto las baldosas, ya que estas fueron colocadas en las piletas de curado, donde se colocan los cilindros de concreto, en condición saturada.

Asimismo, una vez desencofrada cada probeta de ensayo, fue identificada colocándole FC, si se usó fibra de coco, o FP, si se usó fibra de polipropileno, y el porcentaje de proporción de fibra utilizada, con excepción de la de control, que fue denominada control.

5. RESULTADOS

5.1. Resultados de ensayos en estado plástico

Estos se obtienen al medir las características y propiedades de los morteros en estado plástico. En esta investigación se realizaron los ensayos de trabajabilidad y tiempo de fraguado.

- Trabajabilidad o flujo

La ejecución de este ensayo se hace de acuerdo a la Norma NTG 41003 h13 (ASTM C 1437) y el procedimiento es el siguiente: limpiar y secar la mesa de flujo, luego ubicar el cono truncado al centro de la mesa de flujo. Después colocar en el cono truncado una capa de mortero de cerca de 2,5 cm (1 pulg) de espesor y se golpea uniformemente 20 veces con el apisonador. Luego llenar el cono truncado con mortero y apisonar como se especifica en la primera capa. Se enrasa el cono truncado hasta tener una superficie plana con el borde superior del mismo. Limpiar y secar la mesa de flujo, para remover cualquier humedad que hubiera alrededor del molde flujo.

Dejar reposar por 1 min y levantar el molde del mortero, inmediatamente, después dejar caer la mesa 25 veces en 15 s. Tomar la lectura del flujo con un calibrador, midiendo el diámetro a lo largo de las cuatro líneas grabadas en la mesa de flujo.

- Tiempo de fraguado

Este ensayo se realizó de acuerdo a la Norma ASTM C 807. El procedimiento se describe a continuación: llenar el molde con la mezcla, colocar el molde sobre la placa plana no absorbente, dejar reposar en la cama húmeda por media hora.

Luego utilizando la aguja modificada Vicat se determina la penetración que la aguja tiene durante 30 s. Se toma la lectura de penetración cada 30 min hasta que se obtenga una lectura de 25 mm de penetración. Después se toma lectura de penetración cada 10 min, hasta que se obtenga una lectura de 10 mm o menos de penetración. Se deben dejar 10 mm de distancia entre cada penetración y el borde.

Se guardan los resultados de todas las penetraciones y por interpolación determinar el tiempo de fraguado cuando se obtenga una penetración de 10 mm. La diferencia en minutos entre el tiempo de contacto entre el cemento y el agua y el tiempo para obtener la penetración de 10 mm es el tiempo de fraguado. El tiempo fraguado empieza cuando el cemento y el agua tienen contacto.

5.1.1. Mortero sin adición de fibra

Estos son los morteros más conocidos y usados, como indica su nombre no están reforzados con ningún tipo de fibra. En esta investigación se refiere al mortero de control.

- Mezcla de control

Tiempo de fraguado (min.) 175

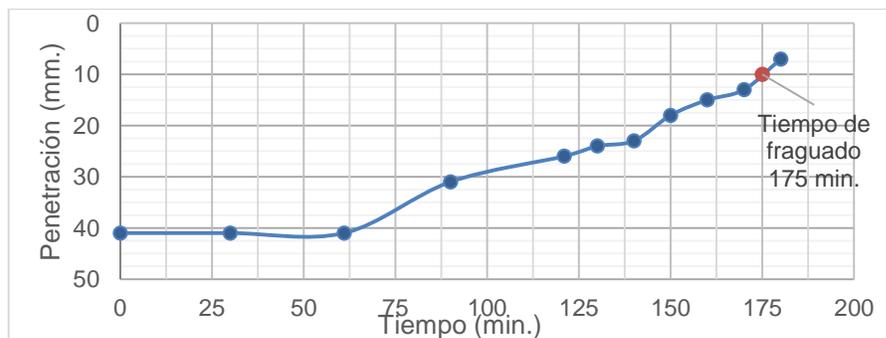
Trabajabilidad (%) 109

Tabla XII. **Datos ensayo de tiempo de fraguado de mezcla de control**

Tiempo (min.)	Penetración (mm)
0	41
30	41
61	41
90	31
121	26
130	24
140	23
150	18
160	15
170	13
180	7

Fuente: Laboratorio de agregados, concretos y morteros. CII/USAC.

Figura 10. **Velocidad de endurecimiento de mezcla de control**



Fuente: elaboración propia, según resultado de prueba.

5.1.2. Mortero con fibra de polipropileno

Los resultados se muestran siguiendo el orden con que fueron realizadas las mezclas.

- Mezcla con 100 % de polipropileno.

Tiempo de fraguado (min.) 215

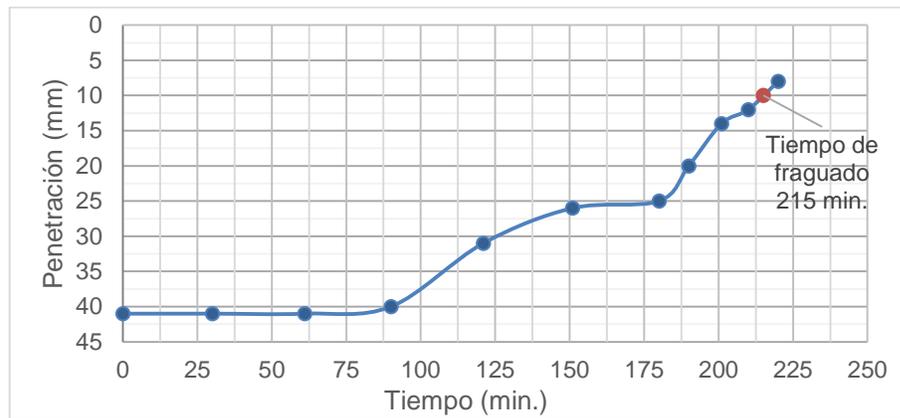
Trabajabilidad (%) 107

Tabla XIII. Datos ensayo de tiempo de fraguado de FP – 100

Tiempo (min)	Penetración (mm)
0	41
30	41
61	41
90	40
121	31
151	26
180	25
190	20
201	14
210	12
220	8

Fuente: Laboratorio de agregados, concretos y morteros. CII/USAC.

Figura 11. **Velocidad de endurecimiento de mezcla FP – 100**



Fuente: elaboración propia, según resultado de prueba.

- Mezcla con 125 % de polipropileno

Tiempo de fraguado (min.) 201

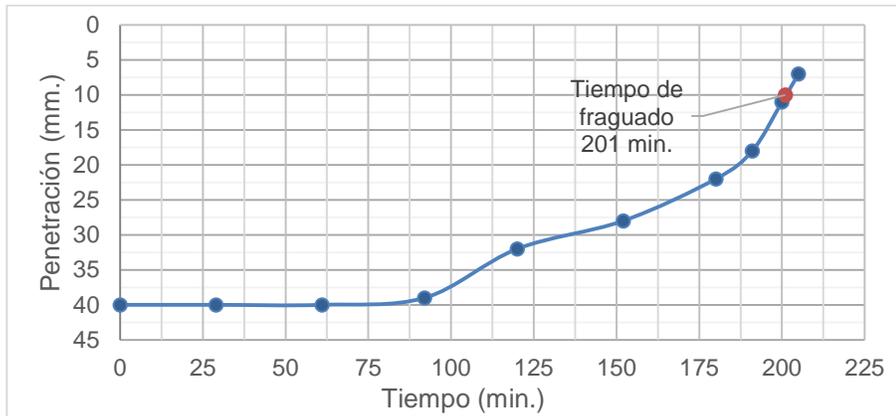
Trabajabilidad (%) 101

Tabla XIV. **Datos ensayo de tiempo de fraguado de FP – 125**

Tiempo (min)	Penetración (mm)
0	40
29	40
61	40
92	39
120	32
152	28
180	22
191	18
200	11
205	7

Fuente: Laboratorio de agregados, concretos y morteros. CII/USAC.

Figura 12. **Velocidad de endurecimiento de mezcla FP – 125**



Fuente: elaboración propia, según resultado de prueba.

- Mezcla con 75 % de polipropileno

Tiempo de fraguado (min.) 189

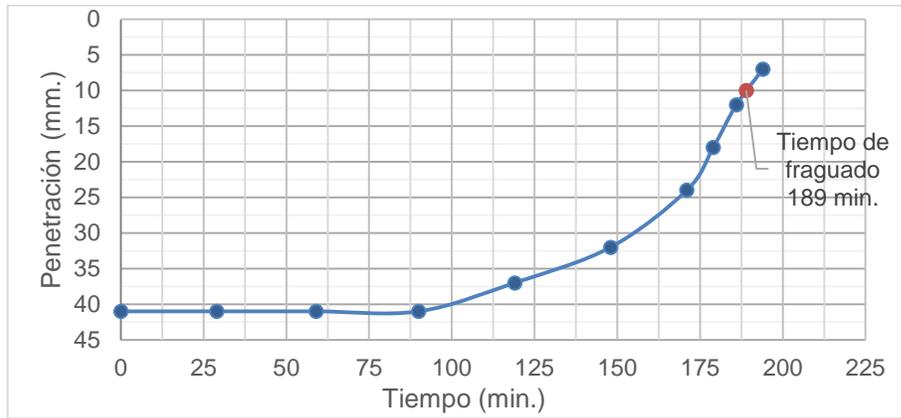
Trabajabilidad (%) 103

Tabla XV. **Datos ensayo de tiempo de fraguado de FP – 75**

Tiempo (min)	Penetración (mm)
0	41
29	41
59	41
90	41
119	37
148	32
171	24
179	18
186	12
194	7

Fuente: Laboratorio de agregados, concretos y morteros. CII/USAC.

Figura 13. **Velocidad de endurecimiento de mezcla FP – 75**



Fuente: elaboración propia, según resultado de prueba.

- Mezcla con 130 % de polipropileno.

Tiempo de fraguado (min.) 200

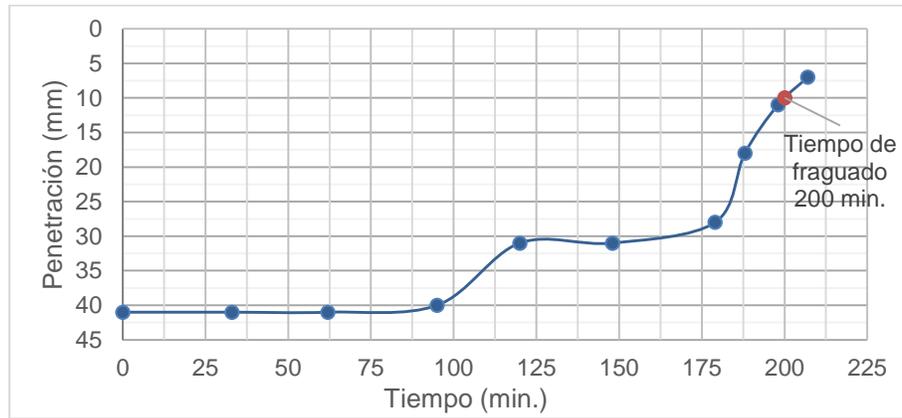
Trabajabilidad (%) 101

Tabla XVI. **Datos ensayo de tiempo de fraguado de FP – 130**

Tiempo (min)	Penetración (mm)
0	41
33	41
62	41
95	40
120	31
148	31
179	28
188	18
198	11
207	7

Fuente: Laboratorio de agregados, concretos y morteros. CII/USAC.

Figura 14. **Velocidad de endurecimiento de mezcla FP – 130**



Fuente: elaboración propia, según resultado de prueba.

- Mezcla con 115 % de polipropileno.

Tiempo de fraguado (min.) 210

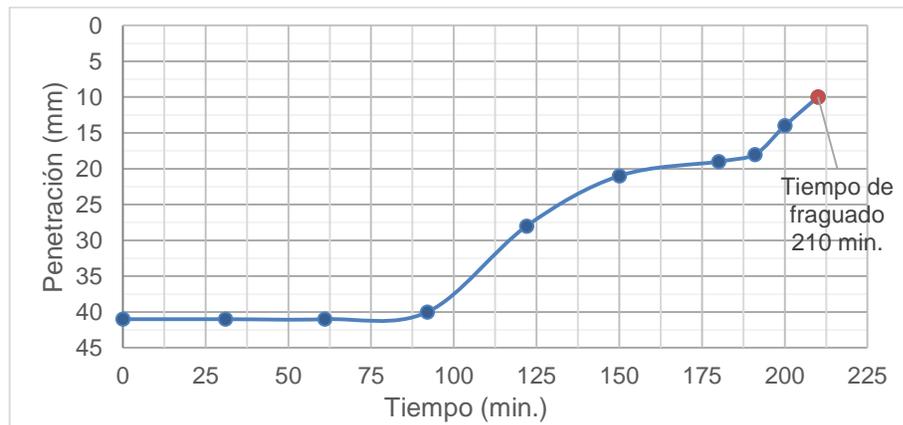
Trabajabilidad (%) 101

Tabla XVII. **Datos ensayo de tiempo de fraguado de FP – 115**

Tiempo (min)	Penetración (mm)
0	41
31	41
61	41
92	40
122	28
150	21
180	19
191	18
200	14
210	10

Fuente: Laboratorio de agregados, concretos y morteros. CII/USAC.

Figura 15. **Velocidad de endurecimiento de mezcla FP – 115**



Fuente: elaboración propia, según resultado de prueba.

5.1.3. **Mortero con fibra natural extraída del tronco de la palma de coco**

Los resultados se muestran siguiendo el orden con que fueron realizadas las mezclas.

- Mezcla con 100 % de coco

Tiempo de fraguado (min.) 214

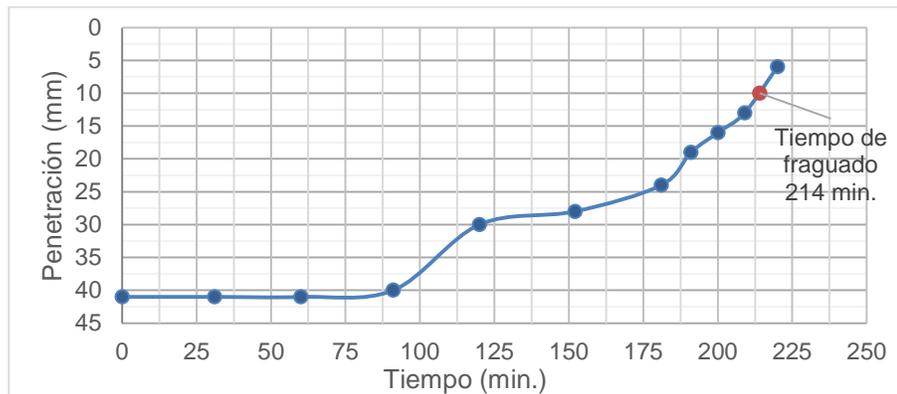
Trabajabilidad (%) 107

Tabla XVIII. **Datos ensayo de tiempo de fraguado de FC – 100**

Tiempo (min)	Penetración (mm)
0	41
31	41
60	41
91	40
120	30
152	28
181	24
191	19
200	16
209	13
220	6

Fuente: Laboratorio de agregados, concretos y morteros. CII/USAC.

Figura 16. **Velocidad de endurecimiento de mezcla FC – 100**



Fuente: elaboración propia, según resultado de prueba.

- Mezcla con 125 % de coco

Tiempo de fraguado (min.) 186

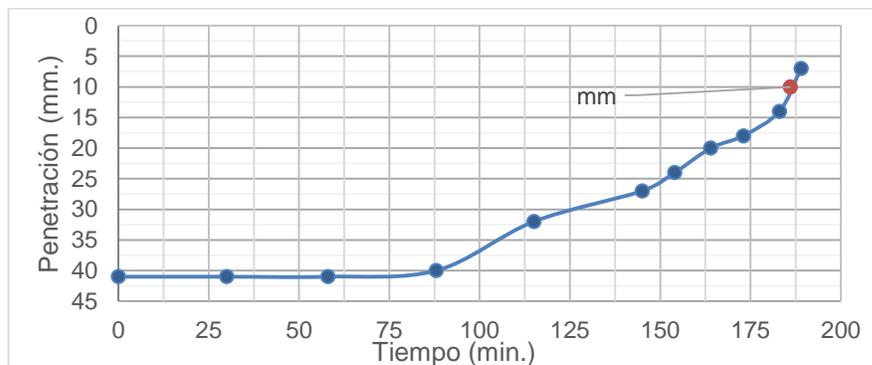
Trabajabilidad (%) 103

Tabla XIX. **Datos ensayo de tiempo de fraguado de FC – 125**

Tiempo (min)	Penetración (mm)
0	41
30	41
58	41
88	40
115	32
145	27
154	24
164	20
173	18
183	14
189	7

Fuente: Laboratorio de agregados, concretos y morteros. CII/USAC.

Figura 17. **Velocidad de endurecimiento de mezcla FC – 125**



Fuente: elaboración propia, según resultado de prueba.

- Mezcla con 75 % de coco

Tiempo de fraguado (min.) 196

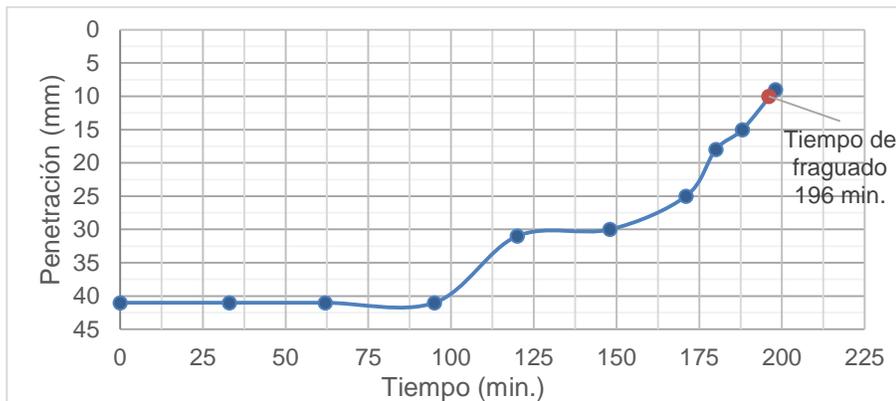
Trabajabilidad (%) 104

Tabla XX. Datos ensayo de tiempo de fraguado de FC – 75

Tiempo (min)	Penetración (mm)
0	41
33	41
62	41
95	41
120	31
148	30
171	25
180	18
188	15

Fuente: Laboratorio de agregados, concretos y morteros. CII/USAC.

Figura 18. Velocidad de endurecimiento de mezcla FC – 75



Fuente: elaboración propia, según resultado de prueba.

- Mezcla con 130 % de coco

Tiempo de fraguado (min.) 233

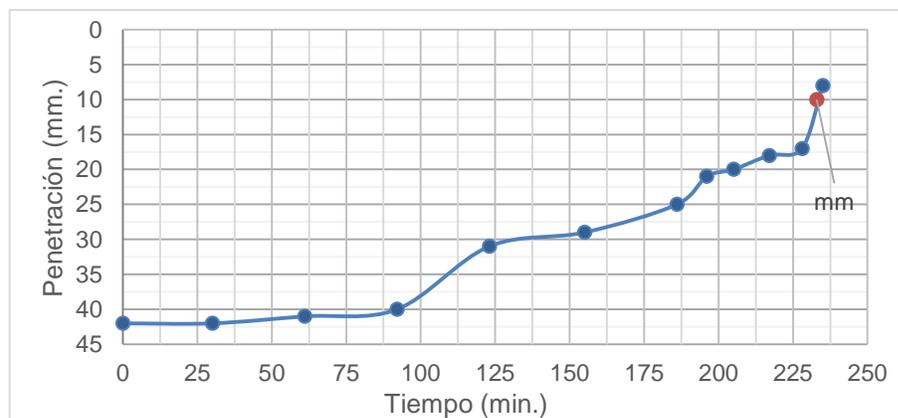
Trabajabilidad (%) 102

Tabla XXI. **Datos ensayo de tiempo de fraguado de FC – 130**

Tiempo (min)	Penetración (mm)
0	42
30	42
61	41
92	40
123	31
155	29
186	25
196	21
205	20
217	18
228	17
235	8

Fuente: Laboratorio de agregados, concretos y morteros. CII/USAC.

Figura 19. **Velocidad de endurecimiento de mezcla FC – 130**



Fuente: elaboración propia, según resultado de prueba.

- Mezcla con 115 % de coco

Tiempo de fraguado (min.) 198

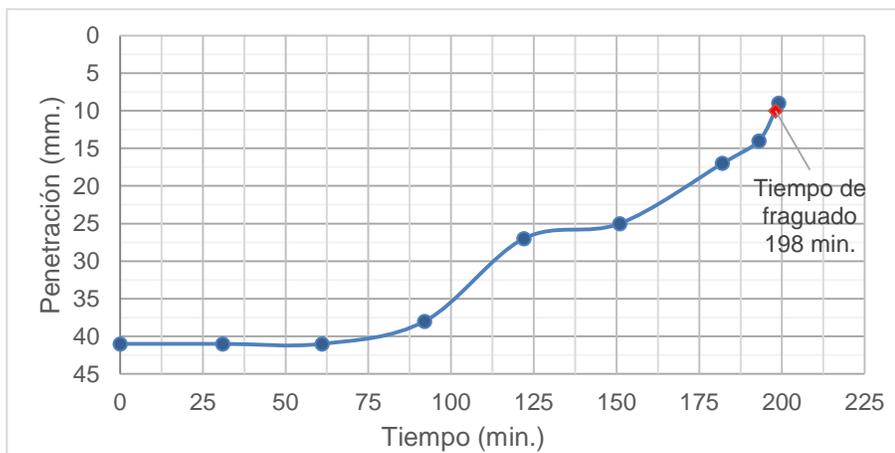
Trabajabilidad (%) 102

Tabla XXII. Datos ensayo de tiempo de fraguado de FC – 115

Tiempo (min)	Penetración (mm)
0	41
31	41
61	41
92	38
122	27
151	25
182	17
193	14
199	9

Fuente: Laboratorio de agregados, concretos y morteros. CII/USAC.

Figura 20. Velocidad de endurecimiento de mezcla FC – 115



Fuente: elaboración propia, según resultado de prueba.

Tabla XXIII. **Resumen de trabajabilidad y tiempo de fraguado**

Mezcla	Trabajabilidad (%)	Tiempo de fraguado (min.)
Control	109	175
FP 75	103	189
FC 75	104	196
FP 100	107	215
FC 100	107	214
FP 115	101	210
FC 115	102	198
FP 125	101	201
FC 125	103	186
FP 130	101	200
FC 130	102	233

Fuente: elaboración propia, según resultados de pruebas.

5.2. Resultados de ensayos en estado endurecido

Estos se obtienen al medir las características y propiedades de los morteros en estado endurecido. En esta investigación se realizaron los ensayos de resistencia a compresión, tensión y flexión.

5.2.1. Resistencia a compresión

Para determinar esta resistencia se utilizó la Norma NTG 41003 h4 (ASTM C109). Determinación de la resistencia a la compresión de mortero de cemento hidráulico usando especímenes cúbicos de 50 mm (2 pulg) de lado. Los resultados se muestran siguiendo el orden con que fueron realizadas las mezclas.

Tabla XXIV. **Resultados a compresión de mezcla control**

Mezcla – Control				
Edad	Área (cm ²)	Carga (lb)	Resistencia (Kg/cm ²)	Resistencia (lb/plg ²)
3 días	26,42	14 500	248,95	3 540
	26,06	15 200	264,57	3 760
	26,29	14 500	250,18	3 560
7 días	25,98	19 200	335,22	4 770
	26,29	19 500	336,45	4 790
	26,27	18 700	322,89	4 590
28 días	26,03	24 300	423,45	6 020
	26,34	26 100	449,47	6 390
	26,09	26 100	453,77	6 460

Fuente: Laboratorio de agregados, concretos y morteros. CII/USAC.

Tabla XXV. **Resultados a compresión de mezcla con 100 % de polipropileno**

Mezcla – FP 100				
Edad	Área (cm ²)	Carga (lb)	Resistencia (Kg/cm ²)	Resistencia (lb/plg ²)
3 días	26,01	15 700	273,80	3 890
	26,32	14 900	256,79	3 650
	26,96	15 500	260,79	3 710
7 días	26,24	19 400	335,36	4 770
	26,16	19 200	332,92	4 740
	26,32	19 500	336,06	4 780
28 días	26,24	25 800	445,99	6 340
	26,21	26 000	449,97	6 400
	26,16	27 000	468,17	6 660

Fuente: Laboratorio de agregados, concretos y morteros. CII/USAC.

Tabla XXVI. **Resultados a compresión de mezcla con 100 % de coco**

Mezcla – FC 100				
Edad	Área (cm ²)	Carga (lb)	Resistencia (Kg/cm ²)	Resistencia (lb/plg ²)
3 días	26,09	13 500	234,71	3 340
	26,04	14 200	247,35	3 520
	26,11	13 500	234,53	3 340
7 días	25,68	17 500	309,11	4 400
	26,06	18 500	322,01	4 580
	26,21	18 500	320,17	4 550
28 días	26,52	24 500	419,05	5 960
	26,29	25 600	441,69	6 280
	26,27	25 000	431,67	6 140

Fuente: Laboratorio de agregados, concretos y morteros. CII/USAC.

Tabla XXVII. **Resultados a compresión de mezcla con 125 % de polipropileno**

Mezcla – FP 125				
Edad	Área (cm ²)	Carga (lb)	Resistencia (Kg/cm ²)	Resistencia (lb/plg ²)
3 días	26,29	15 000	258,81	3 680
	26,47	16 300	279,32	3 970
	26,16	17 500	303,44	4 320
7 días	25,88	19 500	341,78	4 860
	26,04	19 000	330,97	4 710
	26,24	19 200	331,90	4 720
28 días	26,16	26 000	450,83	6 410
	26,06	26 500	461,26	6 560
	26,16	26 700	462,96	6 590

Fuente: Laboratorio de agregados, concretos y morteros. CII/USAC.

Tabla XXVIII. **Resultados a compresión de mezcla con 125 % de coco**

Mezcla – FC 125				
Edad	Área (cm ²)	Carga (lb)	Resistencia (Kg/cm ²)	Resistencia (lb/plg ²)
3 días	26,16	16 300	282,63	4 020
	26,24	16 400	283,50	4 030
	26,26	16 200	279,83	3 980
7 días	26,04	19 100	332,71	4 730
	26,21	18 500	320,17	4 550
	26,29	17 000	293,31	4 170
28 días	25,98	25 200	439,98	6 260
	26,19	25 000	432,99	6 160
	26,26	25 400	438,74	6 240

Fuente: Laboratorio de agregados, concretos y morteros. CII/USAC.

Tabla XXIX. **Resultados a compresión de mezcla con 75 % de polipropileno**

Mezcla – FP 75				
Edad	Área (cm ²)	Carga (lb)	Resistencia (Kg/cm ²)	Resistencia (lb/plg ²)
3 días	26,91	14 200	239,36	3 410
	27,07	15 600	261,40	3 720
	26,29	15 700	270,88	3 850
7 días	26,83	18 900	319,53	4 550
	26,65	21 600	367,65	5 230
	26,73	20 900	354,67	5 050
28 días	26,06	23 400	407,30	5 790
	26,21	23 500	406,70	5 790
	26,29	23 700	408,91	5 820

Fuente: Laboratorio de agregados, concretos y morteros. CII/USAC.

Tabla XXX. **Resultados a compresión de mezcla con 75 % de coco**

Mezcla – FC 75				
Edad	Área (cm ²)	Carga (lb)	Resistencia (Kg/cm ²)	Resistencia (lb/plg ²)
3 días	26,06	14 400	250,65	3 570
	26,04	14 900	259,55	3 690
	26,16	15 100	261,83	3 720
7 días	25,86	19 500	342,04	4 870
	25,43	18 800	335,34	4 770
	26,04	19 600	341,42	4 860
28 días	26,01	23 800	415,06	5 900
	26,26	23 300	402,47	5 730
	26,16	23 900	414,41	5 900

Fuente: Laboratorio de agregados, concretos y morteros. CII/USAC.

Tabla XXXI. **Resultados a compresión de mezcla con 130 % de polipropileno**

Mezcla – FP 130				
Edad	Área (cm ²)	Carga (lb)	Resistencia (Kg/cm ²)	Resistencia (lb/plg ²)
3 días	26,37	13 200	227,06	3 230
	26,78	11 500	194,79	2 770
	26,01	11 000	191,83	2 730
7 días	26,04	15 700	273,48	3 890
	26,21	17 300	299,40	4 260
	26,29	15 800	272,61	3 880
28 días	25,98	20 500	357,92	5 090
	26,19	21 000	363,71	5 170
	26,26	22 000	380,02	5 410

Fuente: Laboratorio de agregados, concretos y morteros. CII/USAC.

Tabla XXXII. **Resultados a compresión de mezcla con 130 % de coco**

Mezcla – FC 130				
Edad	Área (cm ²)	Carga (lb)	Resistencia (Kg/cm ²)	Resistencia (lb/plg ²)
3 días	26,37	14 000	240,82	3 430
	26,78	15 600	264,23	3 760
	26,01	13 900	242,41	3 450
7 días	26,04	17 000	296,13	4 210
	26,21	17 300	299,40	4 260
	26,29	16 800	289,86	4 120
28 días	25,98	20 500	357,92	5 090
	26,19	20 300	351,59	5 000
	26,26	19 500	336,83	4 790

Fuente: Laboratorio de agregados, concretos y morteros. CII/USAC.

Tabla XXXIII. **Resultados a compresión de mezcla con 115 % de polipropileno**

Mezcla – FP 115				
Edad	Área (cm ²)	Carga (lb)	Resistencia (Kg/cm ²)	Resistencia (lb/plg ²)
3 días	26,78	11 800	199,87	2 840
	26,01	12 200	212,76	3 030
	26,11	13 100	227,58	3 240
7 días	25,91	15 500	271,35	3 860
	26,04	15 000	261,29	3 720
	26,09	15 600	271,22	3 860
28 días	25,98	17 000	296,81	4 220
	26,32	19 200	330,89	4 710
	26,34	22 000	378,86	5 390

Fuente: Laboratorio de agregados, concretos y morteros. CII/USAC.

Tabla XXXIV. **Resultados a compresión de mezcla con 115 % de coco**

Mezcla – FC 115				
Edad	Área (cm ²)	Carga (lb)	Resistencia (Kg/cm ²)	Resistencia (lb/plg ²)
3 días	26,57	11 500	196,33	2 790
	26,32	10 200	175,79	2 500
	26,37	10 000	172,01	2 450
7 días	26,83	18 100	306,01	4 350
	26,52	17 400	297,61	4 230
	26,42	17 100	293,59	4 180
28 días	25,80	23 500	413,16	5 880
	25,98	21 600	377,13	5 360
	26,29	23 800	410,64	5 840

Fuente: Laboratorio de agregados, concretos y morteros. CII/USAC.

5.2.2. Resistencia a tensión

La norma empleada fue la ASTM C190 *Method of Test for Tensile Strength of Hydraulic Cement Mortars* (Método de ensayo para la resistencia a tensión de morteros de cemento hidráulico). Los resultados se muestran siguiendo el orden con que fueron realizadas las mezclas.

Tabla XXXV. **Resultados a tensión de mezcla de control**

Mezcla - Control				
Edad	Área (cm ²)	Carga (lb)	Resistencia (kg/cm ²)	Resistencia (lb/pulg ²)
3 días	6,45	375	26,37	380,00
7 días	6,45	490	34,45	490,00
28 días	6,45	645	45,35	650,00

Fuente: Laboratorio de agregados, concretos y morteros. CII/USAC.

Tabla XXXVI. **Resultados a tensión de mezcla con 100 % de polipropileno**

Mezcla – FP 100				
Edad	Área (cm ²)	Carga (lb)	Resistencia (kg/cm ²)	Resistencia (lb/pulg ²)
3 días	6,45	320	22,50	320,00
7 días	6,45	500	35,15	500,00
28 días	6,45	645	45,35	650,00

Fuente: Laboratorio de agregados, concretos y morteros. CII/USAC.

Tabla XXXVII. **Resultados a tensión de mezcla con 100 % de coco**

Mezcla – FC 100				
Edad	Área (cm ²)	Carga (lb)	Resistencia (kg/cm ²)	Resistencia (lb/pulg ²)
3 días	6,45	395,00	27,77	400,00
	6,45	420,00	29,53	420,00
7 días	6,45	500	35,15	500,00
	6,45	455	31,99	460,00
28 días	6,45	700	49,22	700,00
	6,45	685	48,16	690,00

Fuente: Laboratorio de agregados, concretos y morteros. CII/USAC.

Tabla XXXVIII. **Resultados a tensión de mezcla con 125 % de polipropileno**

Mezcla – FP 125				
Edad	Área (cm ²)	Carga (lb)	Resistencia (kg/cm ²)	Resistencia (lb/pulg ²)
3 días	6,45	445,00	31,29	450,00
	6,45	490,00	34,45	490,00
7 días	6,45	490	34,45	490,00
	6,45	485	34,10	490,00
28 días	6,45	660	46,4	660,00
	6,45	605	42,54	610,00

Fuente: Laboratorio de agregados, concretos y morteros. CII/USAC.

Tabla XXXIX. **Resultados a tensión de mezcla con 125 % de coco**

Mezcla – FC 125				
Edad	Área (cm ²)	Carga (lb)	Resistencia (kg/cm ²)	Resistencia (lb/pulg ²)
3 días	6,45	350,00	24,61	350,00
	6,45	355,00	24,96	360,00
7 días	6,45	470	33,04	470,00
	6,45	485	34,10	490,00
28 días	6,45	650	45,7	650,00
	6,45	665	46,75	670,00

Fuente: Laboratorio de agregados, concretos y morteros. CII/USAC.

Tabla XL. **Resultados a tensión de mezcla con 75 % de polipropileno**

Mezcla – FP 75				
Edad	Área (cm ²)	Carga (lb)	Resistencia (kg/cm ²)	Resistencia (lb/pulg ²)
3 días	6,45	380,00	26,72	380,00
	6,45	410,00	28,83	410,00
7 días	6,45	490	34,45	490,00
	6,45	540	37,97	540,00
28 días	6,45	550	38,67	550,00
	6,45	615	43,24	620,00

Fuente: Laboratorio de agregados, concretos y morteros. CII/USAC.

Tabla XLI. **Resultados a tensión de mezcla con 75 % de coco**

Mezcla – FC 75				
Edad	Área (cm ²)	Carga (lb)	Resistencia (kg/cm ²)	Resistencia (lb/pulg ²)
3 días	6,45	385,00	27,07	390,00
	6,45	385,00	27,07	390,00
7 días	6,45	500	35,15	500,00
	6,45	515	36,21	520,00
28 días	6,45	655	46,05	660,00
	6,45	660	46,40	660,00

Fuente: Laboratorio de agregados, concretos y morteros. CII/USAC.

Tabla XLII. **Resultados a tensión de mezcla con 130 % de polipropileno**

Mezcla – FP 130				
Edad	Área (cm ²)	Carga (lb)	Resistencia (kg/cm ²)	Resistencia (lb/pulg ²)
3 días	6,45	390,00	27,42	390,00
	6,45	385,00	27,07	390,00
7 días	6,45	435	30,58	440,00
	6,45	450	31,64	450,00
28 días	6,45	665	46,75	670,00
	6,45	700	49,22	700,00

Fuente: Laboratorio de agregados, concretos y morteros. CII/USAC.

Tabla XLIII. **Resultados a tensión de mezcla con 130 % de coco**

Mezcla – FC 130				
Edad	Área (cm ²)	Carga (lb)	Resistencia (kg/cm ²)	Resistencia (lb/pulg ²)
3 días	6,45	510,00	35,86	510,00
	6,45	465,00	32,69	470,00
7 días	6,45	520	36,56	520,00
	6,45	530	37,26	530,00
28 días	6,45	600	42,18	600,00
	6,45	650	45,70	650,00

Fuente: Laboratorio de agregados, concretos y morteros. CII/USAC.

Tabla XLIV. **Resultados a tensión de mezcla con 115 % de polipropileno**

Mezcla – FP 115				
Edad	Área (cm ²)	Carga (lb)	Resistencia (kg/cm ²)	Resistencia (lb/pulg ²)
3 días	6,45	405,00	28,47	400,00
	6,45	380,00	26,72	380,00
7 días	6,45	490	34,45	490,00
	6,45	435	30,58	440,00
28 días	6,45	610	42,89	610,00
	6,45	565	39,72	570,00

Fuente: Laboratorio de agregados, concretos y morteros. CII/USAC.

Tabla XLV. **Resultados a tensión de mezcla con 115 % de coco**

Mezcla – FC 115				
Edad	Área (cm ²)	Carga (lb)	Resistencia (kg/cm ²)	Resistencia (lb/pulg ²)
3 días	6,45	485	34,10	490
	6,45	470	33,04	470
7 días	6,45	510	35,86	510
	6,45	500	35,15	500
28 días	6,45	695	48,86	700
	6,45	665	46,75	670

Fuente: Laboratorio de agregados, concretos y morteros. CII/USAC.

5.2.3. Resistencia a flexión

El ensayo utilizado para determinar esta propiedad fue el ensayo a flexión para baldosas de cemento líquido, según especificaciones de FHA. Para esta prueba solamente se ensayó una plancha a los 28 días, para obtener un parámetro de comparación entre la resistencia a flexión de las diferentes mezclas.

Tabla XLVI. Resultados de flexión a 28 días de las mezclas

Mezcla	Ancho (cm)	Alto (cm)	Luz entre apoyos (cm)	Carga de ruptura (lb)	Esfuerzo (kg/cm)	Esfuerzo (lb/pulg)
Control	30,1	2,6	22	1 200	88,28	1 260
FP – 100	30	2,6	22	1 200	88,28	1 260
FC – 100	29,9	2,6	22	1 300	96,27	1 370
FP – 125	29,9	2,6	22	1 500	111,09	1 580
FC – 125	30	2,6	22	1 400	98,82	1 360
FP – 75	29,9	2,5	22	1 300	104,13	1 480
FC – 75	30,1	2,6	22	1 200	88,28	1 260
FP – 130	30	2,7	22	1 400	95,82	1 360
FC – 130	30	2,7	22	1 500	102,67	1 460
FP – 115	30	2,7	22	1 400	103,33	1 470
FC – 115	30	2,7	22	1 400	95,82	1 360

Fuente: Laboratorio de agregados, concretos y morteros. CII/USAC.

6. COMPARACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

Para realizar las comparaciones se tomaron los valores promedio de cada edad de las mezclas, para simplificar el análisis de los datos. Como ya se explicó anteriormente, la proporción utilizada fue 1:1:0,42. Se realizó la mezcla control, la cual fue elaborada sin adición de fibra, para tener una mezcla tradicional y realizar la comparación de las mezclas reforzadas con fibras. Para las otras mezclas se utilizaron 2 tipos de fibras, las cuales ya se especificaron. En estas mezclas únicamente varío la cantidad y la fibra utilizada.

6.1. Mortero sin adición de fibra

Esta es la mezcla control. Por medio de los resultados de este diseño se pueden hacer las comparaciones de las otras mezclas con adición de fibra y analizar si se presenta una mejora en las propiedades mecánicas.

Tabla XLVII. **Resultados promedio de la mezcla control**

Edad	Resistencia (kg/cm ²)	Resistencia (lb/pulg ²)
Resistencia a compresión de mezcla control		
3	254,57	3 620,00
7	331,52	4 720,00
28	442,23	6 290,00
Resistencia a tensión de mezcla control		
3	26,37	380,00
7	34,45	490,00
28	45,35	650,00
Resistencia a flexión de control		
28	88,28	1 260,00

Fuente: elaboración propia.

6.2. Mortero con fibra de polipropileno

Las mezclas con adición de fibras de polipropileno se realizaron con 5 porcentajes distintos de fibras: 75 %, 100 %, 115 %, 125 % y 130 %. Todos estos porcentajes tomaron como referencia la proporción recomendada para utilizar la fibra de polipropileno. Los datos promedio son los siguientes:

Tabla XLVIII. **Resultados promedio de mezclas con fibra de polipropileno**

Resistencia a compresión						
Edad (días)	Control	FP 75	FP 100	FP 115	FP 125	FP 130
	kg/cm ²					
3	254,57	257,21	263,79	213,40	280,52	204,56
7	331,52	347,28	334,78	267,95	334,88	281,83
28	442,23	407,64	454,71	335,52	458,35	367,22
Resistencia a tensión						
Edad (días)	Control	FP 75	FP 100	FP 115	FP 125	FP 130
	kg/cm ²					
3	26,37	27,78	22,50	27,60	32,87	27,25
7	34,45	36,21	35,15	32,52	34,28	31,11
28	45,35	40,96	45,35	41,31	44,47	47,99
Resistencia a flexión						
Edad (días)	Control	FP 75	FP 100	FP 115	FP 125	FP 130
	kg/cm ²					
28	88,28	104,13	88,28	103,33	111,09	95,82

Fuente: elaboración propia.

6.3. Mortero con fibra natural extraída del tronco de la palma de coco

El diseño de las mezclas reforzadas con fibra del tronco de la palma de coco se realizó bajo las mismas condiciones que las mezclas reforzadas con polipropileno.

Tabla XLIX. **Resultados promedio de mezclas con fibra del tronco de la palma de coco**

Resistencia a compresión						
Edad (días)	Control	FC 75	FC 100	FC 115	FC 125	FC 130
	kg/cm ²					
3	254,57	257,34	238,86	181,38	281,99	249,15
7	331,52	339,60	317,10	299,07	315,40	295,13
28	442,23	410,65	430,80	400,31	437,24	348,78
Resistencia a tensión						
Edad (días)	Control	FC 75	FC 100	FC 115	FC 125	FC 130
	kg/cm ²					
3	26,37	27,07	28,65	33,57	24,79	34,28
7	34,45	35,68	33,57	35,51	33,57	36,91
28	45,35	46,23	48,69	47,81	46,23	43,94
Resistencia a flexión						
Edad (días)	Control	FC 75	FC 100	FC 115	FC 125	FC 130
	kg/cm ²					
28	88,28	88,28	96,27	95,82	95,82	102,67

Fuente: elaboración propia.

6.4. Comparación de la relación costo-resistencia entre las diferentes fibras usadas

Esta comparación tiene por objeto saber qué tan rentable es utilizar la fibra natural extraída del tronco de la palma de coco como sustituto de la fibra de polipropileno. Se hizo por medio de estimaciones, ya que no se tienen datos reales de los costos y cantidad de la materia prima de la fibra del tronco de la palma de coco.

El precio de la lepa, para extraer la fibra del tronco de la palma de coco, fue de Q. 100,00 por 300 kg. Sin embargo, como se mencionó anteriormente, se presentaron piezas que tenían daños, por lo cual no se pudo extraer fibra de todas las piezas. También se encontraron conjuntos de fibras enfermas. Por todo esto se extrajo poca fibra de toda la materia prima.

Después de seleccionar, limpiar y cortar la fibra se obtuvo 90 g de fibra del tronco de la palma de coco. También hay que tomar en cuenta las horas-hombre trabajadas para extraer la fibra, las cuales fueron 20 horas (en dos días y medio). Si se toma como base el salario mínimo se tiene un costo aproximado de Q. 200,00 por esta labor.

Tabla L. Comparación de costos de las fibras utilizadas

Tipo de fibra	Polipropileno	Del tronco de la palma de coco
Cantidad de fibra	600 g	90 g
Costo total	Q. 45,00	Q. 300,00
Costo unitario	0,075 Q./g	3,33 Q./g

Fuente: elaboración propia.

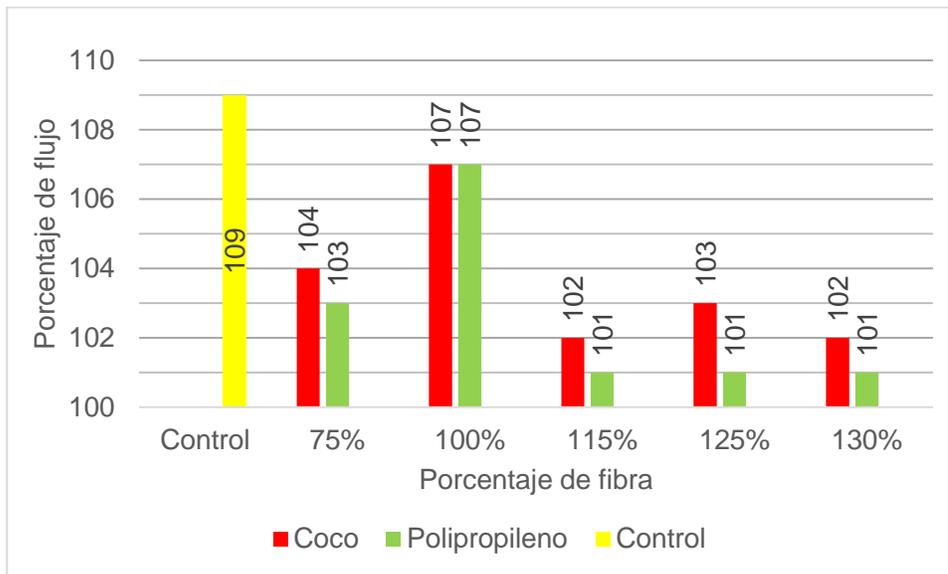
La fibra de polipropileno empleada tuvo un costo de Q 45,00 la bolsa de 600 g. El costo de la fibra de polipropileno es fijo, ya que es un material industrial al que se tiene relativamente fácil acceso económico.

Al comparar los costos se evidencia que la fibra del tronco de la palma de coco es económicamente poco conveniente, en especial cuando se puede optar por una fibra ya procesada y a un menor precio. También incide la inversión de tiempo necesaria para extraer y procesar la fibra del tronco de la palma de coco. Sin embargo, se pueden reducir los costos drásticamente al obtener el material de manera local y no necesitar transportarlo, como en este caso, y al mejorar los procesos de extracción de la fibra, lo cual reduciría el tiempo necesario y facilitaría el trabajo.

6.5. Interpretación de resultados

Cuando se analizaron los resultados de los ensayos realizados a las mezclas, como se puede observar en las gráficas mostradas a continuación, algunas mezclas al compararlas con la mezcla control presentaron un bajo rendimiento en las características físicas, como se describe a continuación.

Figura 21. **Comparación de la trabajabilidad de los morteros**



Fuente: elaboración propia. Según resultados de ensayos.

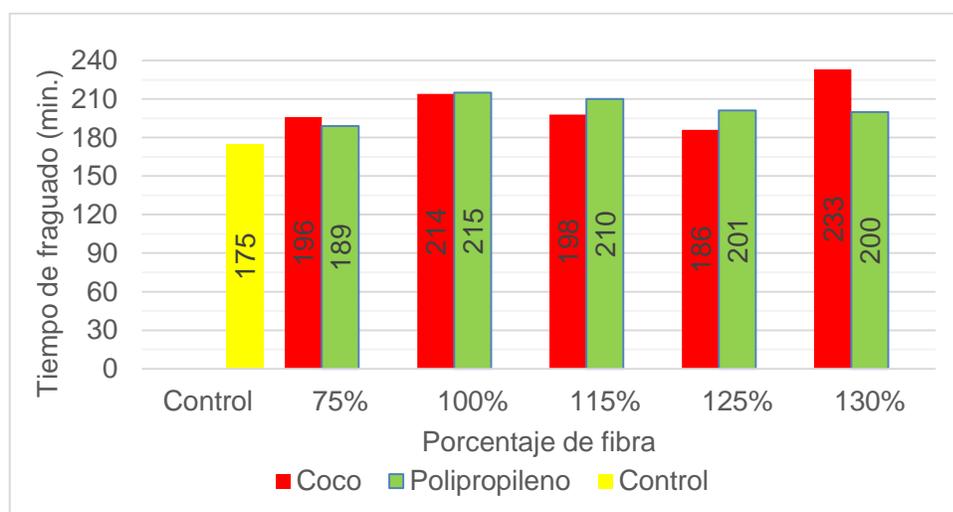
Al analizar la figura 21, se observa una disminución considerable de la trabajabilidad, por debajo de los límites aceptables ($110 \% \pm 5 \%$), cuando se utiliza una proporción de fibra diferente a 600 g/m^3 , que es la proporción recomendada por el fabricante de la fibra. Aun usando la proporción recomendada en las mezclas FC 100 y FP 100, se ve un poco afectada la trabajabilidad, pero dentro de los rangos recomendados.

De todas las mezclas, las que están dentro de los límites aceptables ($110 \% \pm 5 \%$) son las mezclas Control, FC 100 y FP 100, caso contrario a las mezclas FC 75, FP 75, FC 115, FP 115, FC 125, FP 125, FC 130 y FP 130, que no cumplen con estos límites aceptables de la Norma NTG 41003 h13. Se da una disminución importante en la trabajabilidad al aumentar la proporción de fibra más allá de 600 g/m^3 (proporción recomendada).

Lo anteriormente descrito se confirmó al trabajar las mezclas con fibras. Al realizar las probetas se presentaron cúmulos de fibra, en especial en las mezclas en que se aumentó la proporción de la misma, lo cual se hizo más notorio en las mezclas con fibra del tronco de la palma de coco. Esto posiblemente fue a causa de la sequedad de la fibra del tronco de la palma de coco, lo que provocó que la fibra absorbiera agua de la mezcla y disminuyera la hidratación del cemento.

El acabado que presentó el mortero en estado endurecido no se vio afectado por las fibras, ya que se observó poca presencia de las fibras en su superficie. Sin embargo, cuando las probetas fueron ensayadas y presentaron falla, se observó en la parte interna que las fibras no siempre se encontraban bien distribuidas. Esto se hizo más evidente en los morteros reforzados con fibra de la palma de coco y en los morteros reforzados con una proporción alta de fibra de polipropileno.

Figura 22. **Comparación de los tiempos de fraguado de los morteros**



Fuente: elaboración propia. Según resultados de ensayos.

La mezcla control fue la que tuvo un tiempo de fraguado menor. Todas las mezclas reforzadas con fibra presentaron un aumento en su tiempo de fraguado. Estos aumentos fueron de 11 hasta 58 min respecto a la mezcla control. Al analizar la figura 22 no se observa una relación entre el aumento de los tiempos de fraguado y el aumento de las proporciones de fibra.

Las mezclas con una proporción del 75 % de fibra de polipropileno y 125 % de fibra del tronco de la palma de coco; fueron las que presentaron un aumento menor respecto a la mezcla control. Este aumento fue de 14 y 11 min, respectivamente, siendo aceptable.

Por el contrario, las mezclas con una proporción del 100 % de fibra de polipropileno y 130 % de fibra del tronco de la palma de coco fueron las que tuvieron un aumento considerable respecto a la mezcla control. Este fue de 40 y 58 min, respectivamente, y llegó a tener un tiempo de fraguado cercano a las 4 horas, lo cual puede afectar negativamente al realizar una fundición de volumen considerable.

Al momento de ocurrir la falla, los morteros reforzados con fibras permanecían unidos, por lo que se puede deducir que existió una buena adherencia de la fibra con la matriz, lo cual impidió que las grietas progresaran en el material y lo hicieran más frágil.

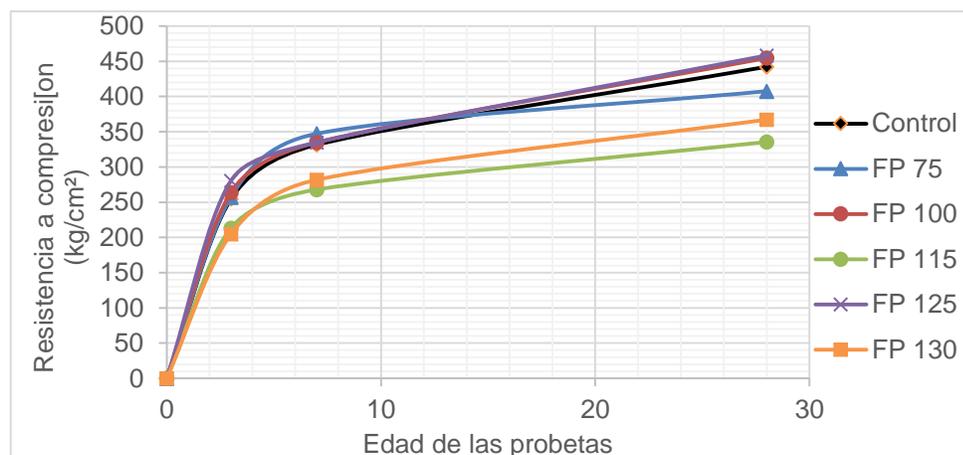
Se comprobó, según las observaciones y la bibliografía consultada, que los refuerzos de fibra mejoraron de cierta forma la tenacidad de los morteros, ya que las grietas que pudieron aparecer en la matriz son transmitidas a las fibras, absorbiendo la energía y no permiten que las grietas se siguen propagando.

Los análisis de las propiedades mecánicas fueron realizados por separado para facilitar las comparaciones y los análisis. Para simplificar los análisis se realizaron con los resultados a 28 días, ya que es cuando los materiales a base de cemento alcanzan la resistencia esperada. Se sabe que la resistencia aún puede aumentar después de los 28 días, pero no es un aumento relevante.

6.5.1. Análisis de la resistencia a compresión

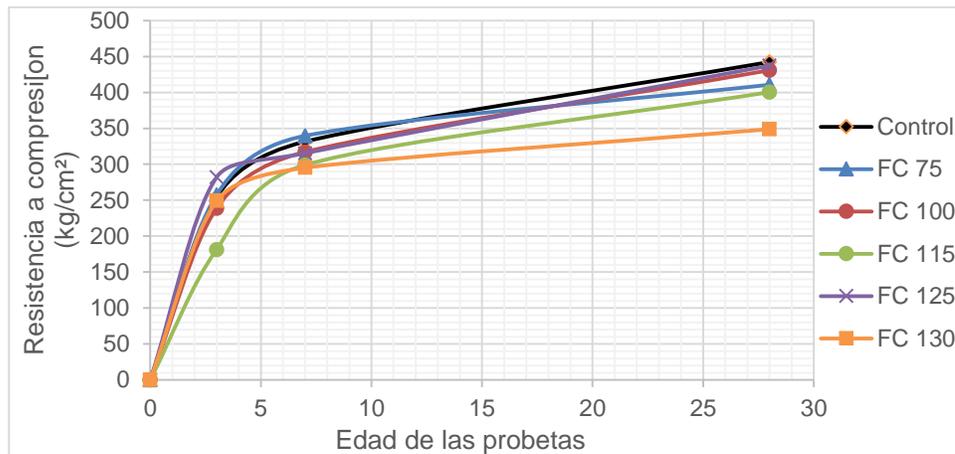
Al analizar las siguientes gráficas se observa en casi todas las mezclas una reducción de la resistencia a compresión, ya que los resultados disminuyeron respecto a la mezcla control. Las mezclas FP 125 y FP 100 presentaron un aumento en relación con la mezcla control del 4 % y del 3 %, respectivamente. Unos aumentos mínimos comparándolos con las disminuciones de las resistencias a compresión de las otras mezclas, que varían entre 7 % y 24 %.

Figura 23. Comparación de la resistencia a compresión, control y fibra de polipropileno



Fuente: elaboración propia. Según resultados de ensayos.

Figura 24. **Comparación de la resistencia a compresión, control y fibra natural del tronco de la palma de coco**



Fuente: elaboración propia. Según resultados de ensayos.

Tabla LI. **Variación en porcentaje de la resistencia a compresión**

MEZCLA	3 día	7 días	28 días
Control	0 %	0 %	0 %
FP 75	1 %	5 %	-8 %
FP 100	4 %	1 %	3 %
FP 115	-16 %	-19 %	-24 %
FP 125	10 %	1 %	4 %
FP 130	-20 %	-15 %	-17 %
FC 75	1 %	2 %	-7 %
FC 100	-6 %	-4 %	-3 %
FC 115	-29 %	-10 %	-9 %
FC 125	11 %	-5 %	-1 %
FC 130	-2 %	-11 %	-21 %

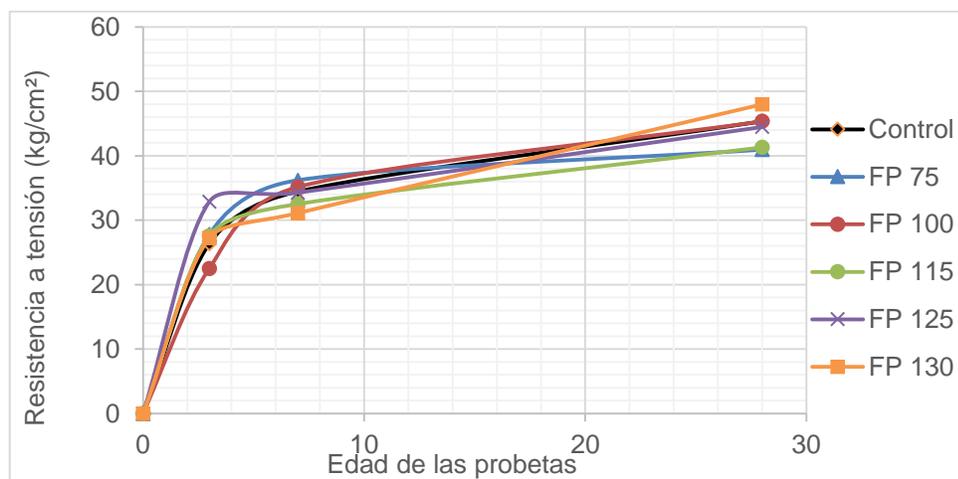
Fuente: elaboración propia.

Al examinar las figuras 23 y 24 y las tablas XLVII, XLVIII y XLIX se observa que de forma general la resistencia disminuye al aumentar la cantidad de fibra. Sin embargo, esto no condiciona un patrón, ya que la mezcla FC 125 fue la que presentó mejores resultados de compresión a 28 días, con tan solo una diferencia de 5 kg/cm² respecto a la mezcla control. Una disminución aceptable y mínima comparándola con la disminución de 88 kg/cm² que obtuvo la mezcla FC 130, la mezcla con mayor cantidad de fibra adicionada.

6.5.2. Análisis de la resistencia a tensión

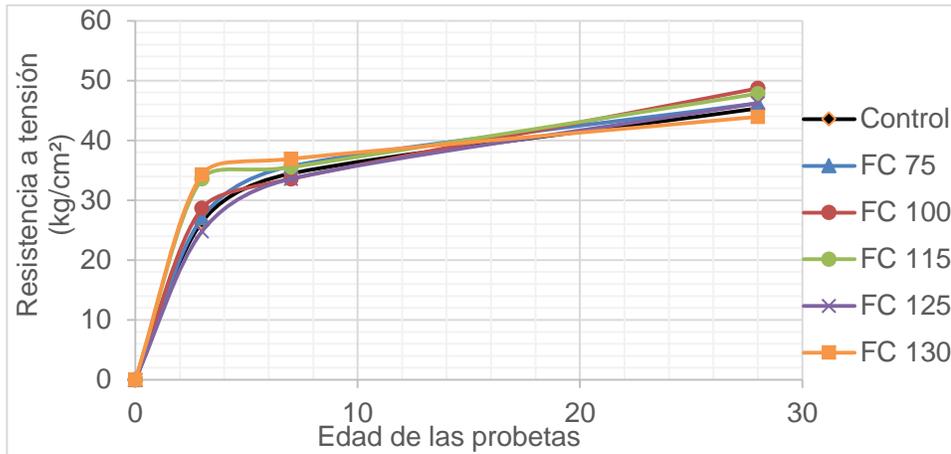
Las probetas ensayadas a tensión presentaron una mejora en la resistencia al adicionar las fibras, ya que los resultados fueron mayores a los obtenidos en la mezcla de control, en especial al usar la fibra del tronco de la palma de coco.

Figura 25. Comparación de la resistencia a tensión, control y fibra de polipropileno



Fuente: elaboración propia. Según resultados de ensayos.

Figura 26. **Comparación de la resistencia a tensión, control y fibra natural del tronco de la palma de coco**



Fuente: elaboración propia. Según resultados de ensayos.

Tabla LII. **Variación en porcentaje de la resistencia a tensión**

MEZCLA	3 día	7 días	28 días
Control	0 %	0 %	0 %
FP 75	5 %	5 %	-10 %
FP 100	-15 %	2 %	0 %
FP 115	5 %	-6 %	-9 %
FP 125	25 %	-1 %	-2 %
FP 130	3 %	-10 %	6 %
FC 75	3 %	4 %	2 %
FC 100	9 %	-3 %	7 %
FC 115	27 %	3 %	5 %
FC 125	-6 %	-3 %	2 %
FC 130	30 %	7 %	-3 %

Fuente: elaboración propia.

La mezcla con fibra de polipropileno que presentó el mejor desempeño a los 28 días fue la FP 130, que es la única mezcla con fibra de polipropileno que superó a la mezcla control. La mezcla FP 100 igualó a la mezcla patrón. Las demás mezclas de polipropileno presentaron una disminución pequeña de la resistencia, que va desde 0,88 kg/cm² hasta 4,50 kg/cm².

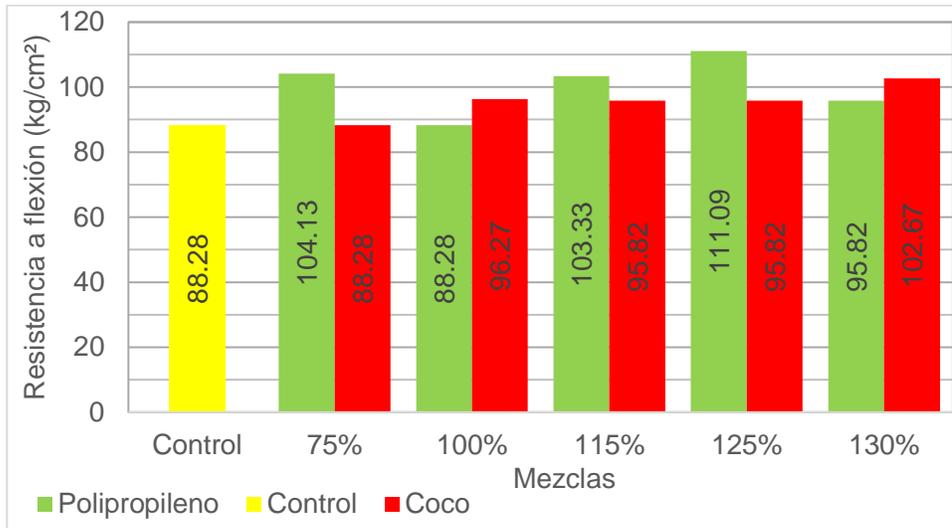
A diferencia de las mezclas reforzadas con fibra de polipropileno, las mezclas reforzadas con fibra del tronco de la palma de coco presentaron mejores resultados en la resistencia a tensión. Los aumentos en esta resistencia van desde 3,5 kg/cm² hasta 0,88 kg/cm². Las mezclas con mejores resultados fueron la FC 100 y FC 115. La mezcla FC 130 fue la única que presentó una disminución respecto a la mezcla control.

Al analizar las gráficas y los resultados se nota que las diferencias de las resistencias a tensión entre las mezclas fueron pequeñas en comparación con las diferencias presentadas en las resistencias a compresión y flexión. Sin embargo, se observa que los resultados son muy cercanos a la mezcla control. No existe una relación entre el aumento de la resistencia y el aumento en la cantidad de fibra adicionada. Esto indica que para mejorar la resistencia a tensión es más relevante la adición de fibras que la proporción en que se agregarán estas fibras.

6.5.3. Análisis de la resistencia a flexión

Esta propiedad mecánica fue la única que mostró una mejoría en todas las mezclas ensayadas, también fue la que obtuvo una mejora superior a comparación de las otras propiedades. El comportamiento que tuvieron las mezclas fue una mejora con una resistencia igual o mayor respecto a la mezcla control.

Figura 27. Comparación de la resistencia de flexión a los 28 días



Fuente: elaboración propia. Según resultados de ensayos.

Tabla LIII. Variación en porcentaje de la resistencia a flexión

MEZCLA	28 días
Control	0 %
FP 75	18 %
FP 100	0 %
FP 115	17 %
FP 125	26 %
FP 130	9 %
FC 75	0 %
FC 100	9 %
FC 115	9 %
FC 125	9 %
FC 130	16 %

Fuente: elaboración propia.

La mezcla FP 125 fue la mezcla que presentó el mayor aumento (25 %) respecto a la mezcla control. La mezcla FP 100 obtuvo una resistencia igual a la mezcla control. Esto llamó la atención, ya que se esperaba un mejor rendimiento de esta mezcla por ser la que usó la proporción recomendada (600 g/m³) para utilizar la fibra de polipropileno.

Entre las mezclas que fueron reforzadas con la fibra del tronco de la palma de coco se hizo notar la mezcla FC 130, ya que presentó un mayor aumento, de cerca de 15 kg/cm² respecto a la mezcla control. La mezcla FC 75 presentó una resistencia igual a la mezcla control. Las demás mezclas (FC 100, FC 115 y FC 125) tuvieron resultados similares, de cerca de 96 kg/cm². Al igual que en la resistencia a tensión, no se presentó una relación directa entre el aumento de resistencia con la cantidad y el tipo de fibra utilizada.

CONCLUSIONES

1. No se observa un comportamiento de tendencia entre el aumento de fibra en la mezcla y cambios de la resistencia a compresión, tensión y flexión, por lo cual no se determinó una relación entre estos parámetros.
2. Se confirma que la mejor proporción para utilizar la fibra de polipropileno es la recomendada por el distribuidor de la fibra, 600 g/m^3 . Presenta un equilibrio en las características físicas y propiedades mecánicas, en comparación con las demás mezclas.
3. La fibra de polipropileno provoca un aumento en la resistencia a flexión cuando se adiciona entre las proporciones de 450 y 780 g/m^3 . Por otro lado, las resistencias de compresión y tensión dependen de la proporción de fibra seleccionada para mostrar un aumento o disminución.
4. Las fibras extraídas del tronco de la palma de coco mejoran la resistencia a flexión y a tensión. Caso contrario con la compresión, ya que causa una disminución de esta. Lo anterior se cumple dentro de las proporciones analizadas: 450 a 780 g/m^3 .
5. La proporción de 750 g/m^3 de fibra del tronco de la palma de coco presenta el mejor equilibrio entre resistencia a compresión, flexión y tensión. Sin embargo, si el mortero reforzado trabajará a tensión se sugiere usar la proporción de 600 g/ m^3 ; si estará sometido a esfuerzos flexionantes se aconseja usar la proporción de 780 g/ m^3 .

6. Las fibras analizadas afectan negativamente la trabajabilidad y aumentan el tiempo de fraguado, en especial cuando se adicionan en proporciones diferentes a la proporción recomendada de la fibra de polipropileno, 600 g/m³.

RECOMENDACIONES

1. Realizar ensayos y evaluar el comportamiento de mezclas de concreto reforzadas con las fibras analizadas, considerando la adición de aditivo para mejorar el desempeño de las mezclas.
2. Utilizar la fibra de polipropileno en la proporción recomendada por el distribuidor.
3. Realizar ensayos de mezclas con fibra de polipropileno, ampliando los rangos de proporción estudiados y otros diseños de mezclas para determinar si la fibra de polipropileno mantiene la contribución mecánica que genera a flexión.
4. Investigar si las propiedades mecánicas de los morteros reforzados con la fibra natural extraída del tronco de la palma de coco se ven afectadas a mayores edades.
5. Evaluar aplicaciones para morteros reforzados con fibra de la palma de coco con las proporciones recomendadas.
6. Remojar las fibras extraídas del tronco de la palma de coco por 24 horas y dejarlas escurrir antes de adicionarlas a las mezclas, para evitar que, debido a sequedad de las fibras, estas absorban agua de la mezcla y afecten la trabajabilidad y la hidratación del cemento.

BIBLIOGRAFÍA

1. ALVAREZ MOLINEROS, Demis Omar. *Caracterización físico – mecánica de morteros fibrorreforzados de matriz cementicia y fibra de coco*. Trabajo de graduación de Ing. Civil. Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala, 2008.
2. Comisión Guatemalteca de Normas, Ministerio de Economía. *Catálogo de normas técnicas guatemaltecas*. Guatemala: COGUANOR, 2010.
3. KOSMATKA, Steven H. et al. *Diseño y control de mezclas de concreto*. Skokie, Illinois, EE.UU: Portland Cement Association, 2004.
4. LEÓN, Jorge. *Botánica de los cultivos tropicales*. Instituto interamericano de cooperación para la agricultura. Segunda edición. San José, Costa Rica. 1987.
5. LIZANO, Medardo. *Guía técnica del cultivo de coco*. Ministerio de agricultura y ganadería. Primera edición. San Salvador, El Salvador. 2005.
6. LÓPEZ CRUZ, José Alberto. *Propiedades mecánicas del concreto modificado a base de fibras de nylon y polipropileno para su uso en elementos estructurales*. Trabajo de graduación de Ing. Civil. Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala, 2014.

ANEXOS

Anexo 1. Informes del Centro de Investigaciones de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala.



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



INFORME DE TIEMPO DE FRAGUADO
NORMA ASTM C-807-03
INFORME SACM - 360
HOJA 1/1

No. 08231

O.T. No. 34952

INTERESADO:

PROYECTO:

DIRECCIÓN:

EMISIÓN DE INFORME:

Paúl Emanuel Monzón Tezó Camé No. 2011-14239

Tesis "Comparación de las características físicas y propiedades mecánicas en morteros reforzados con fibra natural extraída del tronco de palma de coco y fibra de polipropileno"

Ciudad de Guatemala

6 de septiembre de 2016

Mezcla	Proporción	Fibra	Tiempo de fraguado (minutos)
Mezcla control	1: 1: 0,42	Sin fibra	175
Mezcla FP-100	1: 1: 0,42	Polipropileno 600 g/m ³	215
Mezcla FC-100	1:1:0,42	fibra de tronco de palma 600 g/m ³	214
FP-125	1:1:0,42	Polipropileno 750 g/m ³	201
FC-125	1:1:0,42	Fibra de tronco de palma 750 g/m ³	186
FP-75	1:1:0,42	Polipropileno 450 g/m ³	189
FC-75	1:1:0,42	Fibra de tronco de palma 450 g/m ³	196
FP-130	1:1:0,42	Polipropileno 780 g/m ³	200
FC-130	1:1:0,42	Fibra de tronco de palma de coco 180 g/m ³	233
FP-115	1:1:0,42	Polipropileno 690 g/m ³	210
FC-115	1:1:0,42	Fibra de tronco de palma de coco 690 g/m ³	198

Flujo de 109, mezcla control

flujo de 107, mezclas FP-100 y FC-100

Flujo de 103, mezclas FC-125, FP-75 y FP-130

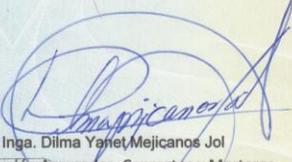
Flujo de 102, mezclas FC-115 y FC-130

Flujo de 101, mezclas FP-115 y FP-125

Flujo de 104 mezcla FC-75

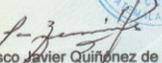
El presente informe unicamente para las muestras identificadas.
Se prohíbe la reproducción parcial o total sin autorización.

ATENTAMENTE,



Inga. Dilma Yajet Mejicanos Jol
Jefa Sección Agregados, Concretos y Morteros



Vo.Bo. 
Ing. Francisco Javier Quiñonez de la Cruz
Director CII/USAC



SECCION DE AGREGADOS
CONCRETOS Y MORTEROS
CII / USAC

FACULTAD DE INGENIERÍA – USAC –
Edificio T-5, Ciudad Universitaria zona 12
Teléfono directo: 2418-9115, Planta: 2418-8000 Exts. 86209 y 86221 Fax: 2418-9121

ER

Continuación del anexo 1.

	CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERIA FACULTAD DE INGENIERIA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA					
INFORME DE ENSAYO A COMPRESIÓN DE MORTEROS		No. 00410				
NTG 41003 h4 (ASTM C-109)						
O.T. No. 34951	INFORME SACM - 501					
	HOJA 1/22					
INTERESADO:	PAÚL EMANUEL MONZÓN TEZÓ. Camé No. 2011 - 14239					
PROYECTO:	Tesis "COMPARACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS Y PROPIEDADES MECÁNICAS EN MORTEROS REFORZADOS, CON FIBRA NATURAL EXTRAÍDA DEL TRONCO DE LA PALMA DE COCO Y FIBRA DE POLIPROPILENO"					
DIRECCIÓN:	Ciudad de Guatemala					
FECHA:	9 de noviembre de 2016					
RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN						
No. CUBO	FECHA DE ELABORACIÓN	EDAD en días	Área [cm ²]	Carga [lb]	RESISTENCIA Mpa	RESISTENCIA lb/plg ²
1	10/07/2015	3	26,420	14 500	24,40	3 540
2	10/07/2015	3	26,055	15 200	25,90	3 760
3	10/07/2015	3	26,291	14 500	24,50	3 550
4	10/07/2015	7	25,985	19 200	32,90	4 770
5	10/07/2015	7	26,291	19 500	33,00	4 790
6	10/07/2015	7	26,265	18 700	31,70	4 600
7	10/07/2015	28	26,035	24 300	41,50	6 020
8	10/07/2015	28	26,341	26 100	44,10	6 400
9	10/07/2015	28	26,087	26 100	44,50	6 460
OBSERVACIONES:						
a) Diseño de mezcla de mortero, bajo condiciones de laboratorio.						
b) Muestras ensayadas en maquina de compresión RIEHLE Testing Machine División con capacidad de 300 000 lbs.						
c) Dial utilizado para lectura de cargas: 60 000 lbs.						
d) Flujo de la mezcla: 109			El presente informe únicamente es para las muestras identificadas en el mismo. Se prohíbe la reproducción parcial o total sin autorización.			
e) Proporción de la mezcla: 1 : 1 : 0,42.						
f) No se adicióno ninguna fibra.						
g) Mezcla identificada como: Mezcla 1 - control						
			ic			
			FACULTAD DE INGENIERÍA —USAC— Edificio T-5, Ciudad Universitaria zona 12 Teléfono directo: 2418-9115, Planta: 2418-8000 Exts. 86209 y 86221 Fax: 2418-9121 Página web: http://cii.usac.edu.gt			

Continuación del anexo 1.

	CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERIA FACULTAD DE INGENIERIA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA																													
INFORME DE ENSAYO A TENSIÓN DE MORTEROS		No. 09411																												
NORMA ASTM C-190																														
O.T. No. 34951	INFORME SACM - 501																													
	HOJA 2/22																													
INTERESADO:	PAÚL EMANUEL MONZÓN TEZÓ, Carné No. 2011 - 14239																													
PROYECTO:	Tesis "COMPARACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS Y PROPIEDADES MECÁNICAS EN MORTEROS REFORZADOS, CON FIBRA NATURAL EXTRAÍDA DEL TRONCO DE LA PALMA DE COCO Y FIBRA DE POLIPROPILENO"																													
DIRECCIÓN:	Ciudad de Guatemala																													
FECHA:	9 de noviembre de 2016																													
RESISTENCIA A LA TENSIÓN																														
<table border="1"><thead><tr><th>No. BRIGUETA</th><th>FECHA DE ELABORACIÓN</th><th>EDAD en días</th><th>Área [cm²]</th><th>Carga [lb]</th><th>RESISTENCIA Mpa</th><th>RESISTENCIA lb/plg²</th></tr></thead><tbody><tr><td>1</td><td>10/07/2015</td><td>3</td><td>6,452</td><td>375</td><td>2,60</td><td>380</td></tr><tr><td>2</td><td>10/07/2015</td><td>7</td><td>6,452</td><td>490</td><td>3,40</td><td>490</td></tr><tr><td>3</td><td>10/07/2015</td><td>28</td><td>6,452</td><td>645</td><td>4,40</td><td>640</td></tr></tbody></table>	No. BRIGUETA	FECHA DE ELABORACIÓN	EDAD en días	Área [cm ²]	Carga [lb]	RESISTENCIA Mpa	RESISTENCIA lb/plg ²	1	10/07/2015	3	6,452	375	2,60	380	2	10/07/2015	7	6,452	490	3,40	490	3	10/07/2015	28	6,452	645	4,40	640		
No. BRIGUETA	FECHA DE ELABORACIÓN	EDAD en días	Área [cm ²]	Carga [lb]	RESISTENCIA Mpa	RESISTENCIA lb/plg ²																								
1	10/07/2015	3	6,452	375	2,60	380																								
2	10/07/2015	7	6,452	490	3,40	490																								
3	10/07/2015	28	6,452	645	4,40	640																								
OBSERVACIONES:																														
a) Diseño de mezcla de mortero, bajo condiciones de laboratorio.																														
b) Muestras ensayadas a tensión en maquina RIEHLE Testing Machine División con capacidad de 1 000 lbs.																														
c) Flujo de la mezcla: 109 .																														
d) Proporción de la mezcla: 1 : 1 : 0,42.																														
e) No se adiciono ninguna fibra.																														
f) Resistencia a flexión a 28 días de 8,7 Mpa (1260 lb/plg ²). Según norma FHA, ensayo a flexión para baldosas de cemento líquido.																														
g) Mezcla identificada como: Mezcla 1 - control.																														
	El presente informe unicamente es para las muestras identificadas en el mismo. Se prohíbe la reproducción parcial o total sin autorización.																													
FACULTAD DE INGENIERÍA – USAC – Edificio T-5, Ciudad Universitaria zona 12 Teléfono directo: 2418-9115, Planta: 2418-8000 Exts. 86209 y 86221 Fax: 2418-9121 Página web: http://cii.usac.edu.gt																														

Continuación del anexo 1.

	CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERIA FACULTAD DE INGENIERIA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA					
INFORME DE ENSAYO A COMPRESIÓN DE MORTEROS		No. 08412				
NTG 41003 h4 (ASTM C-109)						
O.T. No. 34951	INFORME SACM - 501					
	HOJA 3/22					
INTERESADO:	PAÚL EMANUEL MONZÓN TEZÓ. Carné No. 2011 - 14239					
PROYECTO:	Tesis "COMPARACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS Y PROPIEDADES MECÁNICAS EN MORTEROS REFORZADOS, CON FIBRA NATURAL EXTRAÍDA DEL TRONCO DE LA PALMA DE COCO Y FIBRA DE POLIPROPILENO"					
DIRECCIÓN:	Ciudad de Guatemala					
FECHA:	9 de noviembre de 2016					
RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN						
No. CUBO	FECHA DE ELABORACIÓN	EDAD en días	Área [cm ²]	Carga [lb]	RESISTENCIA Mpa	RESISTENCIA lb/plg ²
1	13/07/2015	3	26,010	15 700	26,80	3 890
2	13/07/2015	3	26,317	14 900	25,20	3 660
3	13/07/2015	3	26,961	15 500	25,60	3 710
4	13/07/2015	7	26,240	19 400	32,90	4 770
5	13/07/2015	7	26,162	19 200	32,60	4 730
6	13/07/2015	7	26,317	19 500	33,00	4 790
7	13/07/2015	28	26,239	25 800	43,70	6 340
8	13/07/2015	28	26,213	26 000	44,10	6 400
9	13/07/2015	28	26,163	27 000	45,90	6 660
OBSERVACIONES:						
a) Diseño de mezcla de mortero, bajo condiciones de laboratorio.						
b) Muestras ensayadas en maquina de compresión RIEHLE Testing Machine División con capacidad de 300 000 lbs.						
c) Dial utilizado para lectura de cargas: 60 000 lbs.						
d) Flujo de la mezcla: 107.						
e) Proporción de la mezcla: 1 : 1 : 0,42.						
f) Proporción de la fibra 600 g/m ² , fibra de polipropileno.						
g) Mezcla identificada como: Mezcla 2 FP-100						
			El presente informe únicamente es para las muestras identificadas en el mismo. Se prohíbe la reproducción parcial o total sin autorización.			
			10			
			FACULTAD DE INGENIERIA --USAC-- Edificio T-5, Ciudad Universitaria zona 12 Teléfono directo: 2418-9115, Planta: 2418-8000 Exts. 86209 y 86221 Fax: 2418-9121 Página web: http://cii.usac.edu.gt			

Continuación del anexo 1.

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

	INFORME DE ENSAYO A TENSIÓN DE MORTEROS	No. 00413
	NORMA ASTM C-190	
O.T. No. 34951	INFORME SACM - 501	
	HOJA 4/22	

INTERESADO: PAÚL EMANUEL MONZÓN TEZÓ. Carné No. 2011 - 14239

PROYECTO: Tesis "COMPARACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS Y PROPIEDADES MECÁNICAS EN MORTEROS REFORZADOS, CON FIBRA NATURAL EXTRAÍDA DEL TRONCO DE LA PALMA DE COCO Y FIBRA DE POLIPROPILENO"

DIRECCIÓN: Ciudad de Guatemala

FECHA: 9 de noviembre de 2016

RESISTENCIA A LA TENSIÓN

No. BRIQUETA	FECHA DE ELABORACIÓN	EDAD en días	Área [cm ²]	Carga [lb]	RESISTENCIA Mpa	RESISTENCIA lb/plg ²
1	13/07/2015	3	6,452	320	2,20	320
2	13/07/2015	7	6,452	500	3,40	490
3	13/07/2015	28	6,452	645	4,40	640

OBSERVACIONES:

- a) Diseño de mezcla de mortero, bajo condiciones de laboratorio.
- b) Muestras ensayadas a tensión en maquina RIEHLE Testing Machine División con capacidad de 1 000 lbs.
- c) Flujo de la mezcla: **107**.
- d) Proporción de la mezcla: 1 : 1 : 0,42.
- e) Proporción de la fibra 600 g/m², fibra de polipropileno.
- f) Resistencia a flexión a 28 días de 8,7 Mpa (1260 lb/plg²). Según norma FHA, ensayo a flexión para baldosas de cemento líquido.
- g) Mezcla identificada como: Mezcla 2 FP-100

El presente informe únicamente es para las muestras identificadas en el mismo.
Se prohíbe la reproducción parcial o total sin autorización.

FACULTAD DE INGENIERÍA –USAC–
Edificio T-5, Ciudad Universitaria zona 12
Teléfono directo: 2418-9115, Planta: 2418-8000 Exts. 86209 y 86221 Fax: 2418-9121
Página web: <http://ci.usac.edu.gt>

Continuación del anexo 1.

	CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERIA FACULTAD DE INGENIERIA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA					
INFORME DE ENSAYO A COMPRESIÓN DE MORTEROS		No. 08414				
NTG 41003 h4 (ASTM C-109)						
O.T. No. 34951	INFORME SACM - 501					
	HOJA 5/22					
INTERESADO:	PAÚL EMANUEL MONZÓN TEZÓ. Carné No. 2011 - 14239					
PROYECTO:	Tesis "COMPARACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS Y PROPIEDADES MECÁNICAS EN MORTEROS REFORZADOS, CON FIBRA NATURAL EXTRAÍDA DEL TRONCO DE LA PALMA DE COCO Y FIBRA DE POLIPROPILENO"					
DIRECCIÓN:	Ciudad de Guatemala					
FECHA:	9 de noviembre de 2016					
RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN						
No. CUBO	FECHA DE ELABORACIÓN	EDAD en días	Área [cm ²]	Carga [lb]	RESISTENCIA Mpa	RESISTENCIA lb/plg ²
1	14/07/2015	3	26.085	13 500	23,00	3 340
2	14/07/2015	3	26.035	14 200	24,30	3 530
3	14/07/2015	3	26.111	13 500	23,00	3 340
4	14/07/2015	7	25.876	17 500	30,30	4 400
5	14/07/2015	7	26.061	18 500	31,60	4 590
6	14/07/2015	7	26.214	18 500	31,40	4 560
7	14/07/2015	28	26.522	24 500	41,10	5 960
8	14/07/2015	28	26.291	25 600	43,30	6 280
9	14/07/2015	28	26.266	25 000	42,30	6 140
OBSERVACIONES:						
a) Diseño de mezcla de mortero, bajo condiciones de laboratorio.						
b) Muestras ensayadas en maquina de compresión RIEHLE Testing Machine División con capacidad de 300 000 lbs.						
c) Dial utilizado para lectura de cargas: 60 000 lbs.						
d) Flujo de la mezcla: 107			El presente informe únicamente es para las muestras identificadas en el mismo. Se prohíbe la reproducción parcial o total sin autorización.			
e) Proporción de la mezcla: 1 : 1 : 0,42.						
f) Proporción de la fibra 600 g/m ² , fibra natural del tronco de la palma de coco.						
g) Mezcla identificada como: FC-100						
FACULTAD DE INGENIERÍA – USAC – Edificio T-5, Ciudad Universitaria zona 12 Teléfono directo: 2418-9115, Planta: 2418-8000 Exts. 86209 y 86221 Fax: 2418-9121 Página web: http://ci.usac.edu.gt						

Continuación del anexo 1.



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



**INFORME DE ENSAYO A TENSIÓN DE MORTEROS
NORMA ASTM C-190**

No. 08415

O.T. No. 34951

INFORME SACM - 501

HOJA 6/22

INTERESADO: PAÚL EMANUEL MONZÓN TEZÓ. Carné No. 2011 - 14239
PROYECTO: Tesis "COMPARACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS Y PROPIEDADES MECÁNICAS EN MORTEROS REFORZADOS, CON FIBRA NATURAL EXTRAÍDA DEL TRONCO DE LA PALMA DE COCO Y FIBRA DE POLIPROPILENO"
DIRECCIÓN: Ciudad de Guatemala
FECHA: 9 de noviembre de 2016

RESISTENCIA A LA TENSIÓN

No. BRIQUETA	FECHA DE ELABORACIÓN	EDAD en días	Área [cm ²]	Carga [lb]	RESISTENCIA Mpa	RESISTENCIA lb/plg ²
1	10/07/2015	3	6,452	395	2,70	390
2	10/07/2015	3	6,452	420	2,90	420
3	10/07/2015	7	6,452	500	3,40	490
4	10/07/2015	7	6,452	455	3,10	450
5	10/07/2015	28	6,452	700	4,80	700
6	10/07/2015	28	6,452	685	4,70	680

OBSERVACIONES:

- Diseño de mezcla de mortero, bajo condiciones de laboratorio.
- Muestras ensayadas a tensión en maquina RIEHLE Testing Machine División con capacidad de 1 000 lbs.
- Flujo de la mezcla: **107**.
- Proporción de la mezcla: 1 : 1 : 0,42.
- Proporción de la fibra 600 g/m³, fibra natural del tronco de la palma de coco.
- Resistencia a flexión a 28 días de 9,4 Mpa (1370 lb/plg²). Según norma FHA, ensayo a flexión para baldosas de cemento líquido.
- Mezcla identificada como: Mezcla 3 FC-100

El presente informe únicamente es para las muestras identificadas en el mismo.
Se prohíbe la reproducción parcial o total sin autorización.

Continuación del anexo 1.



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



INFORME DE ENSAYO A COMPRESIÓN DE MORTEROS
NTG 41003 h4 (ASTM C-109)

No. **08416**

O.T. No. 34951

INFORME SACM - 501

HOJA 7/22

INTERESADO: PAÚL EMANUEL MONZÓN TEZÓ. Carné No. 2011 - 14239

PROYECTO: Tesis "COMPARACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS Y PROPIEDADES MECÁNICAS EN MORTEROS REFORZADOS, CON FIBRA NATURAL EXTRAÍDA DEL TRONCO DE LA PALMA DE COCO Y FIBRA DE POLIPROPILENO"

DIRECCIÓN: Ciudad de Guatemala

FECHA: 9 de noviembre de 2016

RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN

No. CUBO	FECHA DE ELABORACIÓN	EDAD en días	Área [cm ²]	Carga [lb]	RESISTENCIA Mpa	RESISTENCIA lb/plg ²
1	17/07/2015	3	26.291	15 000	25,40	3 690
2	17/07/2015	3	26.469	16 300	27,40	3 980
3	17/07/2015	3	26.163	17 500	29,70	4 310
4	17/07/2015	7	25.883	19 500	33,50	4 860
5	17/07/2015	7	26.036	19 000	32,50	4 720
6	17/07/2015	7	26.239	19 200	32,50	4 720
7	17/07/2015	28	26.163	26 000	44,20	6 410
8	17/07/2015	28	26.061	26 500	45,20	6 560
9	17/07/2015	28	26.163	26 700	45,40	6 590

OBSERVACIONES:

- Diseño de mezcla de mortero, bajo condiciones de laboratorio.
- Muestras ensayadas en maquina de compresión RIEHLE Testing Machine División con capacidad de 300 000 lbs.
- Dial utilizado para lectura de cargas: 60 000 lbs.
- Flujo de la mezcla: 101.
- Proporción de la mezcla: 1 : 1 : 0,42.
- Proporción de la fibra 750 g/m², fibra de polipropileno.
- Mezcla identificada como: FP-125

El presente informe únicamente es para las muestras identificadas en el mismo.
Se prohíbe la reproducción parcial o total sin autorización.

Continuación del anexo 1.



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



INFORME DE ENSAYO A TENSIÓN DE MORTEROS

No. **08417**

NORMA ASTM C-190

O.T. No. **34951**

INFORME SACM - 501

HOJA 8/22

INTERESADO: PAÚL EMANUEL MONZÓN TEZÓ. Carné No. 2011 - 14239

PROYECTO: Tesis "COMPARACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS Y PROPIEDADES MECÁNICAS EN MORTEROS REFORZADOS, CON FIBRA NATURAL EXTRAÍDA DEL TRONCO DE LA PALMA DE COCO Y FIBRA DE POLIPROPILENO"

DIRECCIÓN: Ciudad de Guatemala

FECHA: 9 de noviembre de 2016

RESISTENCIA A LA TENSIÓN

No. BRIQUETA	FECHA DE ELABORACIÓN	EDAD en días	Área [cm ²]	Carga [lb]	RESISTENCIA Mpa	RESISTENCIA lb/plg ²
1	17/07/2015	3	6,452	445	3,10	450
2	17/07/2015	3	6,452	490	3,40	490
3	17/07/2015	7	6,452	490	3,40	490
4	17/07/2015	7	6,452	485	3,30	480
5	17/07/2015	28	6,452	660	4,50	650
6	17/07/2015	28	6,452	605	4,20	610

OBSERVACIONES:

- Diseño de mezcla de mortero, bajo condiciones de laboratorio.
- Muestras ensayadas a tensión en maquina RIEHLE Testing Machine División con capacidad de 1 000 lbs.
- Flujo de la mezcla: **101**.
- Proporción de la mezcla: 1 : 1 : 0,42.
- Proporción de la fibra 750 g/m³, fibra de polipropileno.
- Resistencia a flexión a 28 días de 10,9 Mpa (1580 lb/plg²). Según norma FHA, ensayo a flexión para baldosas de cemento líquido.
- Mezcla identificada como: Mezcla 4 FP-125

El presente informe únicamente es para las muestras identificadas en el mismo.
Se prohíbe la reproducción parcial o total sin autorización.

Continuación del anexo 1.

	CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERIA FACULTAD DE INGENIERIA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA					
INFORME DE ENSAYO A COMPRESIÓN DE MORTEROS		No. 08418				
NTG 41003 h4 (ASTM C-109)						
O.T. No. 34951	INFORME SACM - 501					
	HOJA 9/22					
INTERESADO:	PAÚL EMANUEL MONZÓN TEZÓ. Carné No. 2011 - 14239					
PROYECTO:	Tesis "COMPARACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS Y PROPIEDADES MECÁNICAS EN MORTEROS REFORZADOS, CON FIBRA NATURAL EXTRAÍDA DEL TRONCO DE LA PALMA DE COCO Y FIBRA DE POLIPROPILENO"					
DIRECCIÓN:	Ciudad de Guatemala					
FECHA:	9 de noviembre de 2016					
RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN						
No. CUBO	FECHA DE ELABORACIÓN	EDAD en días	Área [cm ²]	Carga [lb]	RESISTENCIA Mpa	RESISTENCIA lb/plg ²
1	20/07/2015	3	26,162	16 300	27,70	4 020
2	20/07/2015	3	26,240	16 400	27,80	4 030
3	20/07/2015	3	26,264	16 200	27,40	3 980
4	20/07/2015	7	26,036	19 100	32,60	4 730
5	20/07/2015	7	26,213	18 500	31,40	4 560
6	20/07/2015	7	26,291	17 000	28,80	4 180
7	20/07/2015	28	26,983	25 200	43,10	6 250
8	20/07/2015	28	26,188	25 000	42,50	6 170
9	20/07/2015	28	26,265	25 400	43,00	6 240
OBSERVACIONES:						
a) Diseño de mezcla de mortero, bajo condiciones de laboratorio.						
b) Muestras ensayadas en maquina de compresión RIEHLE Testing Machine División con capacidad de 300 000 lbs.						
c) Dial utilizado para lectura de cargas: 60 000 lbs.						
d) Flujo de la mezcla: 103.			El presente informe únicamente es para las muestras identificadas en el mismo. Se prohíbe la reproducción parcial o total sin autorización.			
e) Proporción de la mezcla: 1 : 1 : 0,42.						
f) Proporción de la fibra 750 g/m ³ , fibra natural del tronco de la palma de coco.						
g) Mezcla identificada como: FC-125						
FACULTAD DE INGENIERÍA — USAC — Edificio T-5, Ciudad Universitaria zona 12 Teléfono directo: 2418-9115, Planta: 2418-8000 Exts. 86209 y 86221 Fax: 2418-9121 Página web: http://cii.usac.edu.gt						

Continuación del anexo 1.

	CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERIA FACULTAD DE INGENIERIA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA					
INFORME DE ENSAYO A TENSIÓN DE MORTEROS		No. 09419				
O.T. No. 34951	NORMA ASTM C-190 INFORME SACM - 501 HOJA 10/22					
INTERESADO:	PAÚL EMANUEL MONZÓN TEZÓ. Carné No. 2011 - 14239					
PROYECTO:	Tesis "COMPARACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS Y PROPIEDADES MECÁNICAS EN MORTEROS REFORZADOS, CON FIBRA NATURAL EXTRAÍDA DEL TRONCO DE LA PALMA DE COCO Y FIBRA DE POLIPROPILENO"					
DIRECCIÓN:	Ciudad de Guatemala					
FECHA:	9 de noviembre de 2016					
RESISTENCIA A LA TENSIÓN						
No. BRIQUETA	FECHA DE ELABORACIÓN	EDAD en días	Área [cm ²]	Carga [lb]	RESISTENCIA Mpa	RESISTENCIA lb/plg ²
1	20/07/2015	3	6,452	350	2,40	350
2	20/07/2015	3	6,452	355	2,40	350
3	20/07/2015	7	6,452	470	3,20	460
4	20/07/2015	7	6,452	485	3,30	480
5	20/07/2015	28	6,452	650	4,50	650
6	20/07/2015	28	6,452	665	4,60	670
OBSERVACIONES:						
a) Diseño de mezcla de mortero, bajo condiciones de laboratorio.						
b) Muestras ensayadas a tensión en maquina RIEHLE Testing Machine División con capacidad de 1 000 lbs.						
c) Flujo de la mezcla: 103 .						
d) Proporción de la mezcla: 1 : 1 : 0,42.						
e) Proporción de la fibra 750 g/m ³ , fibra natural del tronco de la palma de coco.						
f) Resistencia a flexión a 28 días de 9,4 Mpa (1360 lb/plg ²). Según norma FHA, ensayo a flexión para baldosas de cemento líquido.						
g) Mezcla identificada como: Mezcla 4 FC-125			El presente informe únicamente es para las muestras identificadas en el mismo. Se prohíbe la reproducción parcial o total sin autorización.			
FACULTAD DE INGENIERIA – USAC – Edificio T-5, Ciudad Universitaria zona 12 Teléfono directo: 2418-9115, Planta: 2418-8000 Exts. 86209 y 86221 Fax: 2418-9121 Página web: http://oi.usac.edu.gt						

Continuación del anexo 1.

	CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERIA FACULTAD DE INGENIERIA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA					
INFORME DE ENSAYO A COMPRESIÓN DE MORTEROS		No. 08420				
NTG 41003 h4 (ASTM C-109)						
O.T. No. 34951	INFORME SACM - 501					
	HOJA 11/22					
INTERESADO:	PAÚL EMANUEL MONZÓN TEZÓ. Carné No. 2011 - 14239					
PROYECTO:	Tesis "COMPARACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS Y PROPIEDADES MECÁNICAS EN MORTEROS REFORZADOS, CON FIBRA NATURAL EXTRAÍDA DEL TRONCO DE LA PALMA DE COCO Y FIBRA DE POLIPROPILENO"					
DIRECCIÓN:	Ciudad de Guatemala					
FECHA:	9 de noviembre de 2016					
RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN						
No. CUBO	FECHA DE ELABORACIÓN	EDAD en días	Área [cm ²]	Carga [lb]	RESISTENCIA Mpa	RESISTENCIA lb/plg ²
1	21/07/2015	3	26.910	14 200	23,50	3 410
2	21/07/2015	3	27.066	15 600	25,60	3 710
3	21/07/2015	3	26.291	15 700	26,60	3 860
4	21/07/2015	7	26.828	18 900	31,30	4 540
5	21/07/2015	7	26.651	21 600	36,00	5 220
6	21/07/2015	7	26.729	20 900	34,80	5 050
7	21/07/2015	28	26.061	23 400	39,90	5 790
8	21/07/2015	28	26.214	23 500	39,90	5 790
9	21/07/2015	28	26.291	23 700	40,10	5 820
OBSERVACIONES:						
a) Diseño de mezcla de mortero, bajo condiciones de laboratorio.						
b) Muestras ensayadas en maquina de compresión RIEHLE Testing Machine División con capacidad de 300 000 lbs.						
c) Dial utilizado para lectura de cargas: 60 000 lbs.						
d) Flujo de la mezcla: 103.			El presente informe unicamente es para las muestras identificadas en el mismo. Se prohíbe la reproducción parcial o total sin autorización.			
e) Proporción de la mezcla: 1 : 1 : 0,42.						
f) Proporción de la fibra 450 g/m ² , fibra de polipropileno.						
g) Mezcla identificada como: FP-75						
FACULTAD DE INGENIERÍA – USAC – Edificio T-5, Ciudad Universitaria zona 12 Teléfono directo: 2418-9115, Planta: 2418-8000 Exts. 86209 y 86221 Fax: 2418-9121 Página web: http://oi.usac.edu.gt						

Continuación del anexo 1.

	CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERIA FACULTAD DE INGENIERIA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA																																																		
INFORME DE ENSAYO A TENSIÓN DE MORTEROS		No. 08421																																																	
NORMA ASTM C-190																																																			
O.T. No. 34951		INFORME SACM - 501 HOJA 12/22																																																	
INTERESADO:	PAÚL EMANUEL MONZÓN TEZÓ. Carné No. 2011 - 14239																																																		
PROYECTO:	Tesis "COMPARACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS Y PROPIEDADES MECÁNICAS EN MORTEROS REFORZADOS, CON FIBRA NATURAL EXTRAÍDA DEL TRONCO DE LA PALMA DE COCO Y FIBRA DE POLIPROPILENO"																																																		
DIRECCIÓN:	Ciudad de Guatemala																																																		
FECHA:	9 de noviembre de 2016																																																		
RESISTENCIA A LA TENSIÓN																																																			
<table border="1"><thead><tr><th>No. BRIQUETA</th><th>FECHA DE ELABORACIÓN</th><th>EDAD en días</th><th>Área [cm²]</th><th>Carga [lb]</th><th>RESISTENCIA Mpa</th><th>RESISTENCIA lb/plg²</th></tr></thead><tbody><tr><td>1</td><td>21/07/2015</td><td>3</td><td>6,452</td><td>380</td><td>2,60</td><td>380</td></tr><tr><td>2</td><td>21/07/2015</td><td>3</td><td>6,452</td><td>410</td><td>2,80</td><td>410</td></tr><tr><td>3</td><td>21/07/2015</td><td>7</td><td>6,452</td><td>490</td><td>3,40</td><td>490</td></tr><tr><td>4</td><td>21/07/2015</td><td>7</td><td>6,452</td><td>540</td><td>3,70</td><td>540</td></tr><tr><td>5</td><td>21/07/2015</td><td>28</td><td>6,452</td><td>550</td><td>3,80</td><td>550</td></tr><tr><td>6</td><td>21/07/2015</td><td>28</td><td>6,452</td><td>615</td><td>4,20</td><td>610</td></tr></tbody></table>	No. BRIQUETA	FECHA DE ELABORACIÓN	EDAD en días	Área [cm ²]	Carga [lb]	RESISTENCIA Mpa	RESISTENCIA lb/plg ²	1	21/07/2015	3	6,452	380	2,60	380	2	21/07/2015	3	6,452	410	2,80	410	3	21/07/2015	7	6,452	490	3,40	490	4	21/07/2015	7	6,452	540	3,70	540	5	21/07/2015	28	6,452	550	3,80	550	6	21/07/2015	28	6,452	615	4,20	610		
No. BRIQUETA	FECHA DE ELABORACIÓN	EDAD en días	Área [cm ²]	Carga [lb]	RESISTENCIA Mpa	RESISTENCIA lb/plg ²																																													
1	21/07/2015	3	6,452	380	2,60	380																																													
2	21/07/2015	3	6,452	410	2,80	410																																													
3	21/07/2015	7	6,452	490	3,40	490																																													
4	21/07/2015	7	6,452	540	3,70	540																																													
5	21/07/2015	28	6,452	550	3,80	550																																													
6	21/07/2015	28	6,452	615	4,20	610																																													
OBSERVACIONES:	a) Diseño de mezcla de mortero, bajo condiciones de laboratorio. b) Muestras ensayadas a tensión en maquina RIEHLE Testing Machine División con capacidad de 1 000 lbs. c) Flujo de la mezcla: 103 . d) Proporción de la mezcla: 1 : 1 : 0,42. e) Proporción de la fibra 450 g/m ³ , fibra de polipropileno. f) Resistencia a flexión a 28 días de 10,2 Mpa (1480 lb/plg ²). Según norma FHA, ensayo a flexión para baldosas de cemento líquido. g) Mezcla identificada como: Mezcla 6 FP-75																																																		
	<small>El presente informe únicamente es para las muestras identificadas en el mismo. Se prohíbe la reproducción parcial o total sin autorización.</small>																																																		
<small>FACULTAD DE INGENIERIA – USAC – Edificio T-5, Ciudad Universitaria zona 12 Teléfono directo: 2418-9115, Planta: 2418-8000 Exts. 86209 y 86221 Fax: 2418-9121 Página web: http://ci.usac.edu.gt</small>																																																			

Continuación del anexo 1.

	CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERIA FACULTAD DE INGENIERIA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA					
INFORME DE ENSAYO A COMPRESIÓN DE MORTEROS		No. 08422				
NTG 41003 h4 (ASTM C-109)						
O.T. No. 34951	INFORME SACM - 501					
	HOJA 13/22					
INTERESADO:	PAÚL EMANUEL MONZÓN TEZÓ. Carné No. 2011 - 14239					
PROYECTO:	Tesis "COMPARACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS Y PROPIEDADES MECÁNICAS EN MORTEROS REFORZADOS, CON FIBRA NATURAL EXTRAÍDA DEL TRONCO DE LA PALMA DE COCO Y FIBRA DE POLIPROPILENO"					
DIRECCIÓN:	Ciudad de Guatemala					
FECHA:	9 de noviembre de 2016					
RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN						
No. CUBO	FECHA DE ELABORACIÓN	EDAD en días	Área [cm ²]	Carga [lb]	RESISTENCIA Mpa	RESISTENCIA lb/plg ²
1	24/07/2015	3	26,061	14 400	24,60	3 570
2	24/07/2015	3	26,036	14 900	25,50	3 700
3	24/07/2015	3	26,162	15 100	25,70	3 730
4	24/07/2015	7	25,857	19 500	33,50	4 860
5	24/07/2015	7	25,426	18 800	32,90	4 770
6	24/07/2015	7	26,035	19 600	33,50	4 860
7	24/07/2015	28	26,010	23 800	40,70	5 910
8	24/07/2015	28	26,264	23 300	39,50	5 730
9	24/07/2015	28	26,163	23 900	40,60	5 890
OBSERVACIONES:						
a) Diseño de mezcla de mortero, bajo condiciones de laboratorio.						
b) Muestras ensayadas en maquina de compresión RIEHLE Testing Machine División con capacidad de 300 000 lbs.						
c) Dial utilizado para lectura de cargas: 60 000 lbs.						
d) Flujo de la mezcla: 104.			El presente informe unicamente es para las muestras identificadas en el mismo. Se prohíbe la reproducción parcial o total sin autorización.			
e) Proporción de la mezcla: 1 : 1 : 0,42.						
f) Proporción de la fibra 450 g/m ³ , fibra natural del tronco de la palma de coco.						
g) Mezcla identificada como: FC-75						
FACULTAD DE INGENIERÍA — USAC — Edificio T-5, Ciudad Universitaria zona 12 Teléfono directo: 2418-9115, Planta: 2418-8000 Exts. 86209 y 86221 Fax: 2418-9121 Página web: http://cii.usac.edu.gt						

Continuación del anexo 1.

	CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERIA FACULTAD DE INGENIERIA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA					
INFORME DE ENSAYO A TENSIÓN DE MORTEROS		No. 08423				
NORMA ASTM C-190						
O.T. No. 34951	INFORME SACM - 501 HOJA 14/22					
INTERESADO:	PAÚL EMANUEL MONZÓN TEZÓ. Carné No. 2011 - 14239					
PROYECTO:	Tesis "COMPARACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS Y PROPIEDADES MECÁNICAS EN MORTEROS REFORZADOS, CON FIBRA NATURAL EXTRAÍDA DEL TRONCO DE LA PALMA DE COCO Y FIBRA DE POLIPROPILENO"					
DIRECCIÓN:	Ciudad de Guatemala					
FECHA:	9 de noviembre de 2016					
RESISTENCIA A LA TENSIÓN						
No. BRIQUETA	FECHA DE ELABORACIÓN	EDAD en días	Área [cm ²]	Carga [lb]	RESISTENCIA Mpa	RESISTENCIA lb/plg*
1	20/07/2015	3	6,452	385	2,70	390
2	20/07/2015	3	6,452	385	2,70	390
3	20/07/2015	7	6,452	500	3,40	490
4	20/07/2015	7	6,452	515	3,50	510
5	20/07/2015	28	6,452	655	4,50	650
6	20/07/2015	28	6,452	660	4,50	650
OBSERVACIONES:						
a) Diseño de mezcla de mortero, bajo condiciones de laboratorio.						
b) Muestras ensayadas a tensión en maquina RIEHLE Testing Machine División con capacidad de 1 000 lbs.						
c) Flujo de la mezcla: 104 .						
d) Proporción de la mezcla: 1 : 1 : 0,42.						
e) Proporción de la fibra 450 g/m ³ , fibra natural del tronco de la palma de coco.						
f) Resistencia a flexión a 28 días de 8,7 Mpa (1260 lb/plg ²). Según norma FHA, ensayo a flexión para baldosas de cemento líquido.						
g) Mezcla identificada como: Mezcla 7 FC-75						
			El presente informe únicamente es para las muestras identificadas en el mismo. Se prohíbe la reproducción parcial o total sin autorización.			
FACULTAD DE INGENIERÍA --USAC-- Edificio T-5, Ciudad Universitaria zona 12 Teléfono directo: 2418-9115, Planta: 2418-8000 Exts. 86209 y 86221 Fax: 2418-9121 Página web: http://cii.usac.edu.gt						

Continuación del anexo 1.

	CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERIA FACULTAD DE INGENIERIA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA					
INFORME DE ENSAYO A COMPRESIÓN DE MORTEROS		No. 00424				
NTG 41003 h4 (ASTM C-109)						
O.T. No. 34951	INFORME SACM - 501					
	HOJA 15/22					
INTERESADO:	PAÚL EMANUEL MONZÓN TEZÓ. Carné No. 2011 - 14239					
PROYECTO:	Tesis "COMPARACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS Y PROPIEDADES MECÁNICAS EN MORTEROS REFORZADOS, CON FIBRA NATURAL EXTRAÍDA DEL TRONCO DE LA PALMA DE COCO Y FIBRA DE POLIPROPILENO"					
DIRECCIÓN:	Ciudad de Guatemala					
FECHA:	9 de noviembre de 2016					
RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN						
No. CUBO	FECHA DE ELABORACIÓN	EDAD en días	Área [cm ²]	Carga [lb]	RESISTENCIA Mpa	RESISTENCIA lb/plg ²
1	16/10/2015	3	26,367	13 200	22,30	3 240
2	16/10/2015	3	26,780	11 500	19,10	2 770
3	16/10/2015	3	26,010	11 000	18,80	2 730
4	16/10/2015	7	26,036	15 700	26,80	3 890
5	16/10/2015	7	26,213	17 300	29,30	4 250
6	16/10/2015	7	26,291	15 800	26,70	3 870
7	16/10/2015	28	25,983	20 500	35,10	5 090
8	16/10/2015	28	26,188	21 000	35,70	5 180
9	16/10/2015	28	26,265	22 000	37,20	5 400
OBSERVACIONES:						
a) Diseño de mezcla de mortero, bajo condiciones de laboratorio.						
b) Muestras ensayadas en maquina de compresión RIEHLE Testing Machine División con capacidad de 300 000 lbs.						
c) Dial utilizado para lectura de cargas: 60 000 lbs.						
d) Flujo de la mezcla: 101.			El presente informe unicamente es para las muestras identificadas en el mismo. Se prohíbe la reproducción parcial o total sin autorización.			
e) Proporción de la mezcla: 1 : 1 : 0,42.						
f) Proporción de la fibra 780 g/m ² , fibra de polipropileno.						
g) Mezcla identificada como: FP-130						
FACULTAD DE INGENIERIA --USAC-- Edificio T-5, Ciudad Universitaria zona 12 Teléfono directo: 2418-9115, Planta: 2418-8000 Exts. 86209 y 86221 Fax: 2418-9121 Página web: http://oi.usac.edu.gt						

Continuación del anexo 1.

	CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERIA FACULTAD DE INGENIERIA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA					
INFORME DE ENSAYO A TENSIÓN DE MORTEROS		No. 00425				
NORMA ASTM C-190						
O.T. No. 34951	INFORME SACM - 501					
	HOJA 16/22					
INTERESADO:	PAÚL EMANUEL MONZÓN TEZÓ. Carné No. 2011 - 14239					
PROYECTO:	Tesis "COMPARACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS Y PROPIEDADES MECÁNICAS EN MORTEROS REFORZADOS, CON FIBRA NATURAL EXTRAÍDA DEL TRONCO DE LA PALMA DE COCO Y FIBRA DE POLIPROPILENO"					
DIRECCIÓN:	Ciudad de Guatemala					
FECHA:	9 de noviembre de 2016					
RESISTENCIA A LA TENSIÓN						
No. BRIQUETA	FECHA DE ELABORACIÓN	EDAD en días	Área [cm ²]	Carga [lb]	RESISTENCIA Mpa	RESISTENCIA lb/plg ²
1	16/10/2015	3	6,452	390	2,70	390
2	16/10/2015	3	6,452	385	2,70	390
3	16/10/2015	7	6,452	435	3,00	440
4	16/10/2015	7	6,452	450	3,10	450
5	16/10/2015	28	6,452	665	4,60	670
6	16/10/2015	28	6,452	700	4,80	700
OBSERVACIONES:						
a) Diseño de mezcla de mortero, bajo condiciones de laboratorio.						
b) Muestras ensayadas a tensión en maquina RIEHLE Testing Machine División con capacidad de 1 000 lbs.						
c) Flujo de la mezcla: 101 .						
d) Proporción de la mezcla: 1 : 1 : 0,42.						
e) Proporción de la fibra 780 g/m ² , fibra de polipropileno.						
f) Resistencia a flexión a 28 días de 9,4 Mpa (1360 lb/plg ²). Según norma FHA, ensayo a flexión para baldosas de cemento líquido.						
g) Mezcla identificada como: Mezcla 8 FP-130						
			El presente informe únicamente es para las muestras identificadas en el mismo. Se prohíbe la reproducción parcial o total sin autorización.			
FACULTAD DE INGENIERÍA – USAC – Edificio T-5, Ciudad Universitaria zona 12 Teléfono directo: 2418-9115, Planta: 2418-8000 Exts. 86209 y 86221 Fax: 2418-9121 Página web: http://cii.usac.edu.gt						

Continuación del anexo 1.

	CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERIA FACULTAD DE INGENIERIA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA					
INFORME DE ENSAYO A COMPRESIÓN DE MORTEROS		No. 08426				
NTG 41003 h4 (ASTM C-109)						
O.T. No. 34951	INFORME SACM - 501					
	HOJA 17/22					
INTERESADO:	PAÚL EMANUEL MONZÓN TEZÓ. Carné No. 2011 - 14239					
PROYECTO:	Tesis "COMPARACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS Y PROPIEDADES MECÁNICAS EN MORTEROS REFORZADOS, CON FIBRA NATURAL EXTRAÍDA DEL TRONCO DE LA PALMA DE COCO Y FIBRA DE POLIPROPILENO"					
DIRECCIÓN:	Ciudad de Guatemala					
FECHA:	9 de noviembre de 2016					
RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN						
No. CUBO	FECHA DE ELABORACIÓN	EDAD en días	Área [cm ²]	Carga [lb]	RESISTENCIA Mpa	RESISTENCIA lb/plg ²
1	19/10/2015	3	26,367	14 000	23,60	3 420
2	19/10/2015	3	26,780	15 600	25,90	3 760
3	19/10/2015	3	26,010	13 900	23,80	3 450
4	19/10/2015	7	26,036	17 000	29,00	4 210
5	19/10/2015	7	26,213	17 300	29,30	4 250
6	19/10/2015	7	26,291	16 800	28,40	4 120
7	19/10/2015	28	25,983	20 500	35,10	5 090
8	19/10/2015	28	26,166	20 300	34,50	5 010
9	19/10/2015	28	26,265	19 500	33,00	4 790
OBSERVACIONES:						
a) Diseño de mezcla de mortero, bajo condiciones de laboratorio.						
b) Muestras ensayadas en máquina de compresión RIEHLE Testing Machine División con capacidad de 300 000 lbs.						
c) Dial utilizado para lectura de cargas: 60 000 lbs.						
d) Flujo de la mezcla: 102.			El presente informe únicamente es para las muestras identificadas en el mismo. Se prohíbe la reproducción parcial o total sin autorización.			
e) Proporción de la mezcla: 1 : 1 : 0,42.						
f) Proporción de la fibra 760 g/m ² , fibra natural del tronco de la palma de coco.						
g) Mezcla identificada como: FC-130						
FACULTAD DE INGENIERÍA —USAC— Edificio T-5, Ciudad Universitaria zona 12 Teléfono directo: 2418-9115, Planta: 2418-8000 Exts. 86209 y 86221 Fax: 2418-9121 Página web: http://ci.usac.edu.gt						

Continuación del anexo 1.

	CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERIA FACULTAD DE INGENIERIA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA																																																		
INFORME DE ENSAYO A TENSIÓN DE MORTEROS		No. 08427																																																	
NORMA ASTM C-190																																																			
O.T. No. 34951	INFORME SACM - 501 HOJA 18/22																																																		
INTERESADO:	PAÚL EMANUEL MONZÓN TEZÓ. Carné No. 2011 - 14239																																																		
PROYECTO:	Tesis "COMPARACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS Y PROPIEDADES MECÁNICAS EN MORTEROS REFORZADOS, CON FIBRA NATURAL EXTRAÍDA DEL TRONCO DE LA PALMA DE COCO Y FIBRA DE POLIPROPILENO".																																																		
DIRECCIÓN:	Ciudad de Guatemala																																																		
FECHA:	9 de noviembre de 2016																																																		
RESISTENCIA A LA TENSIÓN																																																			
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"><thead><tr><th>No. BRIQUETA</th><th>FECHA DE ELABORACIÓN</th><th>EDAD en días</th><th>Área [cm²]</th><th>Carga [lb]</th><th>RESISTENCIA Mpa</th><th>RESISTENCIA lb/plg²</th></tr></thead><tbody><tr><td>1</td><td>19/10/2015</td><td>3</td><td>6,452</td><td>510</td><td>3,50</td><td>510</td></tr><tr><td>2</td><td>19/10/2015</td><td>3</td><td>6,452</td><td>465</td><td>3,20</td><td>460</td></tr><tr><td>3</td><td>19/10/2015</td><td>7</td><td>6,452</td><td>520</td><td>3,60</td><td>520</td></tr><tr><td>4</td><td>19/10/2015</td><td>7</td><td>6,452</td><td>530</td><td>3,70</td><td>540</td></tr><tr><td>5</td><td>19/10/2015</td><td>28</td><td>6,452</td><td>600</td><td>4,10</td><td>590</td></tr><tr><td>6</td><td>19/10/2015</td><td>28</td><td>6,452</td><td>650</td><td>4,50</td><td>650</td></tr></tbody></table>	No. BRIQUETA	FECHA DE ELABORACIÓN	EDAD en días	Área [cm ²]	Carga [lb]	RESISTENCIA Mpa	RESISTENCIA lb/plg ²	1	19/10/2015	3	6,452	510	3,50	510	2	19/10/2015	3	6,452	465	3,20	460	3	19/10/2015	7	6,452	520	3,60	520	4	19/10/2015	7	6,452	530	3,70	540	5	19/10/2015	28	6,452	600	4,10	590	6	19/10/2015	28	6,452	650	4,50	650		
No. BRIQUETA	FECHA DE ELABORACIÓN	EDAD en días	Área [cm ²]	Carga [lb]	RESISTENCIA Mpa	RESISTENCIA lb/plg ²																																													
1	19/10/2015	3	6,452	510	3,50	510																																													
2	19/10/2015	3	6,452	465	3,20	460																																													
3	19/10/2015	7	6,452	520	3,60	520																																													
4	19/10/2015	7	6,452	530	3,70	540																																													
5	19/10/2015	28	6,452	600	4,10	590																																													
6	19/10/2015	28	6,452	650	4,50	650																																													
OBSERVACIONES:	a) Diseño de mezcla de mortero, bajo condiciones de laboratorio. b) Muestras ensayadas a tensión en maquina RIEHLE Testing Machine División con capacidad de 1 000 lbs. c) Flujo de la mezcla: 102 . d) Proporción de la mezcla: 1 : 1 : 0,42. e) Proporción de la fibra 780 g/m ² , fibra natural del tronco de la palma de coco. f) Resistencia a flexión a 28 días de 10,1 Mpa (1460 lb/plg ²). Según norma FHA, ensayo a flexión para baldosas de gres. Mezcla utilizada como: Mezcla 9 FC-130																																																		
	<small>El presente informe únicamente es para las muestras identificadas en el mismo. Se prohíbe la reproducción parcial o total sin autorización.</small>																																																		
<small>FACULTAD DE INGENIERÍA –USAC– Edificio T-5, Ciudad Universitaria zona 12 Teléfono directo: 2418-9115, Planta: 2418-8000 Exts. 86209 y 86221 Fax: 2418-9121 Página web: http://cii.usac.edu.gt</small>																																																			

Continuación del anexo 1.



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



INFORME DE ENSAYO A COMPRESIÓN DE MORTEROS
NTG 41003 h4 (ASTM C-109)

No. **08428**

O.T. No. 34951

INFORME SACM - 501
HOJA 19/22

INTERESADO: PAÚL EMANUEL MONZÓN TEZÓ. Carné No. 2011 - 14239

PROYECTO: Tesis "COMPARACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS Y PROPIEDADES MECÁNICAS EN MORTEROS REFORZADOS, CON FIBRA NATURAL EXTRAÍDA DEL TRONCO DE LA PALMA DE COCO Y FIBRA DE POLIPROPILENO"

DIRECCIÓN: Ciudad de Guatemala

FECHA: 9 de noviembre de 2016

RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN

No. CUBO	FECHA DE ELABORACIÓN	EDAD en días	Área [cm ²]	Carga [lb]	RESISTENCIA Mpa	RESISTENCIA lb/plg ²
1	02/02/2016	3	26,780	11 800	19,60	2 840
2	02/02/2016	3	26,010	12 200	20,90	3 030
3	02/02/2016	3	26,106	13 100	22,30	3 240
4	02/02/2016	7	25,908	15 500	26,60	3 860
5	02/02/2016	7	26,035	15 000	25,60	3 710
6	02/02/2016	7	26,086	15 600	26,60	3 860
7	02/02/2016	28	25,985	17 000	29,10	4 220
8	02/02/2016	28	26,317	19 200	32,40	4 700
9	02/02/2016	28	26,342	22 000	37,10	5 380

OBSERVACIONES:

- Diseño de mezcla de mortero, bajo condiciones de laboratorio.
- Muestras ensayadas en maquina de compresión RIEHLE Testing Machine División con capacidad de 300 000 lbs.
- Dial utilizado para lectura de cargas: 60 000 lbs.
- Flujo de la mezcla: 101.
- Proporción de la mezcla: 1 : 1 : 0,42.
- Proporción de la fibra 690 g/m², fibra de polipropileno.
- Mezcla identificada como: FB-115

El presente informe únicamente es para las muestras identificadas en el mismo.
Se prohíbe la reproducción parcial o total sin autorización.

Continuación del anexo 1.

	CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERIA FACULTAD DE INGENIERIA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA																																																		
INFORME DE ENSAYO A TENSIÓN DE MORTEROS		No. 08429																																																	
O.T. No. 34951	NORMA ASTM C-190 INFORME SACM - 501 HOJA 20/22																																																		
INTERESADO:	PAÚL EMANUEL MONZÓN TEZÓ. Carné No. 2011 - 14239																																																		
PROYECTO:	Tesis "COMPARACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS Y PROPIEDADES MECÁNICAS EN MORTEROS REFORZADOS, CON FIBRA NATURAL EXTRAÍDA DEL TRONCO DE LA PALMA DE COCO Y FIBRA DE POLIPROPILENO"																																																		
DIRECCIÓN:	Ciudad de Guatemala																																																		
FECHA:	9 de noviembre de 2016																																																		
RESISTENCIA A LA TENSIÓN																																																			
<table border="1"><thead><tr><th>No. BRIQUETA</th><th>FECHA DE ELABORACIÓN</th><th>EDAD en días</th><th>Área [cm²]</th><th>Carga [lb]</th><th>RESISTENCIA Mpa</th><th>RESISTENCIA lb/plg²</th></tr></thead><tbody><tr><td>1</td><td>02/02/2016</td><td>3</td><td>6,452</td><td>405</td><td>2,80</td><td>410</td></tr><tr><td>2</td><td>02/02/2016</td><td>3</td><td>6,452</td><td>380</td><td>2,60</td><td>380</td></tr><tr><td>3</td><td>02/02/2016</td><td>7</td><td>6,452</td><td>490</td><td>3,40</td><td>490</td></tr><tr><td>4</td><td>02/02/2016</td><td>7</td><td>6,452</td><td>435</td><td>3,00</td><td>440</td></tr><tr><td>5</td><td>02/02/2016</td><td>28</td><td>6,452</td><td>610</td><td>4,20</td><td>610</td></tr><tr><td>6</td><td>02/02/2016</td><td>28</td><td>6,452</td><td>565</td><td>3,90</td><td>570</td></tr></tbody></table>	No. BRIQUETA	FECHA DE ELABORACIÓN	EDAD en días	Área [cm ²]	Carga [lb]	RESISTENCIA Mpa	RESISTENCIA lb/plg ²	1	02/02/2016	3	6,452	405	2,80	410	2	02/02/2016	3	6,452	380	2,60	380	3	02/02/2016	7	6,452	490	3,40	490	4	02/02/2016	7	6,452	435	3,00	440	5	02/02/2016	28	6,452	610	4,20	610	6	02/02/2016	28	6,452	565	3,90	570		
No. BRIQUETA	FECHA DE ELABORACIÓN	EDAD en días	Área [cm ²]	Carga [lb]	RESISTENCIA Mpa	RESISTENCIA lb/plg ²																																													
1	02/02/2016	3	6,452	405	2,80	410																																													
2	02/02/2016	3	6,452	380	2,60	380																																													
3	02/02/2016	7	6,452	490	3,40	490																																													
4	02/02/2016	7	6,452	435	3,00	440																																													
5	02/02/2016	28	6,452	610	4,20	610																																													
6	02/02/2016	28	6,452	565	3,90	570																																													
OBSERVACIONES:																																																			
a) Diseño de mezcla de mortero, bajo condiciones de laboratorio.																																																			
b) Muestras ensayadas a tensión en maquina RIEHLE Testing Machine División con capacidad de 1 000 lbs.																																																			
c) Flujo de la mezcla: 101 .																																																			
d) Proporción de la mezcla: 1 : 1 : 0,42.																																																			
e) Proporción de la fibra 690 g/m ² , fibra de polipropileno.																																																			
f) Resistencia a flexión a 28 días de 10,1 Mpa (1470 lb/plg ²). Según norma FHA, ensayo a flexión para baldosas de cemento líquido.																																																			
g) Mezcla identificada como: Mezcla 10 FB-115																																																			
	El presente informe únicamente es para las muestras identificadas en el mismo. Se prohíbe la reproducción parcial o total sin autorización.																																																		
<small>FACULTAD DE INGENIERÍA – USAC – Edificio T-5, Ciudad Universitaria zona 12 Teléfono directo: 2418-9116, Planta: 2418-8000 Exts. 86209 y 86221 Fax: 2418-9121 Página web: http://cii.usac.edu.gt</small>																																																			

Continuación del anexo 1.



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



INFORME DE ENSAYO A COMPRESIÓN DE MORTEROS
NTG 41003 h4 (ASTM C-109)

No. **08430**

O.T. No. 34951

INFORME SACM - 501
HOJA 21/22

INTERESADO: PAÚL EMANUEL MONZÓN TEZÓ. Carné No. 2011 - 14239
PROYECTO: Tesis "COMPARACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS Y PROPIEDADES MECÁNICAS EN MORTEROS REFORZADOS. CON FIBRA NATURAL EXTRAÍDA DEL TRONCO DE LA PALMA DE COCO Y FIBRA DE POLIPROPILENO"
DIRECCIÓN: Ciudad de Guatemala
FECHA: 9 de noviembre de 2016

RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN

No. CUBO	FECHA DE ELABORACIÓN	EDAD en días	Área [cm ²]	Carga [lb]	RESISTENCIA Mpa	RESISTENCIA lb/plg ²
1	08/02/2016	3	26,572	11 500	19,20	2 790
2	08/02/2016	3	26,316	10 200	17,20	2 500
3	08/02/2016	3	26,365	10 000	16,90	2 450
4	08/02/2016	7	26,830	18 100	30,00	4 350
5	08/02/2016	7	26,518	17 400	29,20	4 240
6	08/02/2016	7	26,419	17 100	28,80	4 180
7	08/02/2016	28	25,803	23 500	40,50	5 680
8	08/02/2016	28	25,984	21 600	37,00	5 370
9	08/02/2016	28	26,287	23 800	40,30	5 850

OBSERVACIONES:

- Diseño de mezcla de mortero, bajo condiciones de laboratorio.
- Muestras ensayadas en maquina de compresión RIEHLE Testing Machine División con capacidad de 300 000 lbs.
- Dial utilizado para lectura de cargas: 60 000 lbs.
- Flujo de la mezcla: 102.
- Proporción de la mezcla: 1 : 1 : 0,42.
- Proporción de la fibra 690 g/m², fibra natural del tronco de la palma de coco.
- Mezcla identificada como: FC-115

El presente informe únicamente es para las muestras identificadas en el mismo.
Se prohíbe la reproducción parcial o total sin autorización.

Continuación del anexo 1.



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



INFORME DE ENSAYO A TENSIÓN DE MORTEROS
NORMA ASTM C-190
INFORME SACM - 501
HOJA 22/22

No. 09431

O.T. No. 34951

INTERESADO: PAÚL EMANUEL MONZÓN TEZÓ. Carné No. 2011 - 14239

PROYECTO: Tesis "COMPARACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS Y PROPIEDADES MECÁNICAS EN MORTEROS REFORZADOS, CON FIBRA NATURAL EXTRAÍDA DEL TRONCO DE LA PALMA DE COCO Y FIBRA DE POLIPROPILENO"

DIRECCIÓN: Ciudad de Guatemala

FECHA: 9 de noviembre de 2016

RESISTENCIA A LA TENSIÓN

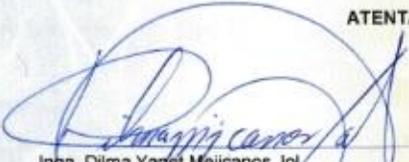
No. BRIQUETA	FECHA DE ELABORACIÓN	EDAD en días	Área [cm ²]	Carga [lb]	RESISTENCIA Mpa	RESISTENCIA lb/plg ²
1	08/02/2016	3	6,452	485	3,30	480
2	08/02/2016	3	6,452	470	3,20	460
3	08/02/2016	7	6,452	510	3,50	510
4	08/02/2016	7	6,452	500	3,40	490
5	08/02/2016	28	6,452	695	4,80	700
6	08/02/2016	28	6,452	665	4,60	670

OBSERVACIONES:

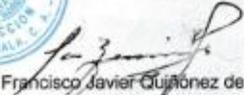
- Diseño de mezcla de mortero, bajo condiciones de laboratorio.
- Muestras ensayadas a tensión en maquina RIEHLE Testing Machine División con capacidad de 1 000 lbs.
- Flujo de la mezcla: **102**.
- Proporción de la mezcla: 1 : 1 : 0,42.
- Proporción de la fibra 690 g/m², fibra natural del tronco de la palma de coco.
- Resistencia a flexión a 28 días de 9,4 Mpa (1360 lb/plg²). Según norma FHA, ensayo a flexión para baldosas de cemento líquido.
- Mezcla identificada como: Mezcla 11 FC-115

El presente informe únicamente es para las muestras identificadas en el mismo. Se prohíbe la reproducción parcial o total sin autorización.

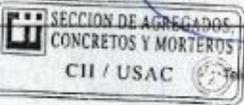
ATENTAMENTE,



Inga Dilma Yanet Mejicanos Jol
Jefa Sección de Agregados, Concretos y Morteros

Ing. Francisco Javier Quiñonez de la Cruz
Director CII/USAC



FACULTAD DE INGENIERIA - USAC -
Edificio T-5, Ciudad Universitaria zona 12
Teléfono directo: 2418-9115, Planta: 2418-8000 Exts. 86209 y 86221 Fax: 2418-9121
Página web: <http://cii.usac.edu.gt>

Fuente: Informe de resultados, Orden de Trabajo No. 34951, CII-USAC.

