



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

**ANÁLISIS COMPARATIVO DEL CONCRETO MODIFICADO CON POLIPROPILENO  
RECICLADO Y LA FIBRA DE POLIPROPILENO COMERCIAL**

**Nery Rigoberto Velásquez Robledo**

Asesorado por el Ing. Luis Mariano Alvarez Muralles

Guatemala, julio de 2017

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**ANÁLISIS COMPARATIVO DEL CONCRETO MODIFICADO CON POLIPROPILENO  
RECICLADO Y LA FIBRA DE POLIPROPILENO COMERCIAL**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA  
FACULTAD DE INGENIERÍA

POR

**NERY RIGOBERTO VELÁSQUEZ ROBLEDO**

ASESORADO POR EL ING. LUIS MARIANO ALVAREZ MURALLES

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

**INGENIERO CIVIL**

GUATEMALA, JULIO DE 2017

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE INGENIERÍA



**NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA**

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

**TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO**

DECANO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
EXAMINADOR	Ing. Nicolás de Jesús Guzmán Sáenz
EXAMINADOR	Ing. Alan Geovani Cosillo Pinto
EXAMINADOR	Ing. José Mauricio Arriola Donis
SECRETARIA	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:

### **ANÁLISIS COMPARATIVO DEL CONCRETO MODIFICADO CON POLIPROPILENO RECICLADO Y LA FIBRA DE POLIPROPILENO COMERCIAL**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Civil, con fecha 07 de octubre de 2015.

**Nery Rigoberto Velásquez Robledo**

Guatemala, 20 de abril de 2017

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

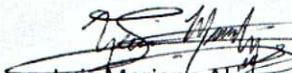
Ingeniero Ordoñez

Por este medio me dirijo a usted para informarle que he revisado el trabajo de graduación **ANÁLISIS COMPARATIVO DEL CONCRETO MODIFICADO CON POLIPROPILENO RECICLADO Y LA FIBRA DE POLIPROPILENO COMERCIAL**, elaborado por el estudiante **Nery Rigoberto Velásquez Robledo**, quien contó con la asesoría del suscrito.

Considerando que el trabajo desarrollado por el estudiante Velásquez Robledo satisface los requisitos exigidos en el reglamento de graduación, por lo que recomiendo su aprobación.

Atentamente,

**"ID Y ENSEÑAD A TODOS"**

  
Ing. Luis Mariano Álvarez Muralles  
Colegiado 10253  
Asesor

*Luis Mariano Álvarez Muralles*  
INGENIERO CIVIL  
Colegiado No. 10253



**USAC**  
**TRICENTENARIA**  
 Universidad de San Carlos de Guatemala  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**

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

**ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL**



Guatemala,  
 17 de mayo 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 **ANÁLISIS COMPARATIVO DEL CONCRETO MODIFICADO CON POLIPROPILENO RECICLADO Y LA FIBRA DE POLIPROPILENO COMERCIAL** desarrollado por el estudiante de Ingeniería Civil Nery Rigoberto Velásquez Robledo quien contó con la asesoría del Ing. Luis Mariano Álvarez Muralles.

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

Atentamente,

ID Y ENSEÑAD A TODOS

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

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



/mrrm.





**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 Asesor Ing. Luis Mariano Alvarez Muralles y del Coordinador del Departamento de Materiales y Construcciones Civiles Ing. José Gabriel Ordóñez Morales, al trabajo de graduación del estudiante Nery Rigoberto Velásquez Robledo **ANÁLISIS COMPARATIVO DEL CONCRETO MODIFICADO CON POLIPROPILENO RECICLADO Y LA FIBRA DE POLIPROPILENO COMERCIAL** da por este medio su aprobación a dicho trabajo.

  
 Ing. Hugo Leonel Montenegro Franco



Guatemala, junio 2017

/mrrm.



*Mas de 136 años de Trabajo y Mejora Continua*

Universidad de San Carlos  
de Guatemala

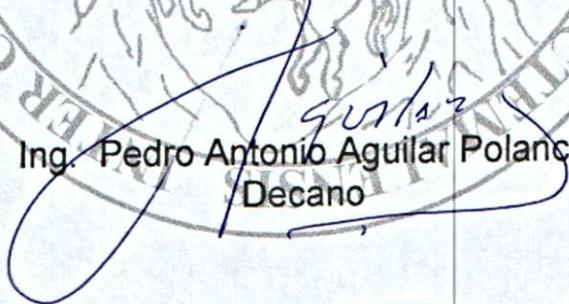


Facultad de Ingeniería  
Decanato

Ref.DTG.D.276.2017

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: **ANÁLISIS COMPARATIVO DEL CONCRETO MODIFICADO CON POLIPROPILENO RECICLADO Y LA FIBRA DE POLIPROPILENO COMERCIAL**, presentado por el estudiante universitario: **Nery Rigoberto Velásquez Robledo**, 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



/cc

## **ACTO QUE DEDICO A:**

### **Dios**

Por darme esta felicidad, y poder honrarte a ti y a las personas que me ayudaron en la Universidad.

### **Mis padres**

Leticia Elizabeth Robledo y Marcos Rigoberto Velásquez. Por dar todo su esfuerzo para que tenga una profesión universitaria, por darme lo que pudieron, de acuerdo con sus posibilidades, y de ahora en adelante les retribuiré todo lo que hicieron por mí.

### **Mi cuñado**

César Augusto de Paz Barrientos. Por estar pendiente de mí además de mis padres, sin esperar nada a cambio, es una bendición que estés en mi vida y todo el apoyo que me diste te será devuelto en todas las expresiones posibles.

## **AGRADECIMIENTOS A:**

<b>La Universidad de San Carlos de Guatemala</b>	Por ser la única que me abrió sus puertas para seguir estudiando y a la cual considero la mejor universidad de Guatemala.
<b>Facultad de Ingeniería</b>	Por ser la que elegí desde que tengo uso de razón, siempre fuiste como yo te imaginaba y me diste todos tus conocimientos inigualables.
<b>Mis amigos de la Facultad</b>	Por darme su amistad tanto dentro como fuera de la facultad, gracias a Dios son muchos y a todos los llevo en el corazón.
<b>AI CII</b>	Centro de Investigaciones de Ingeniería. Por permitirme desarrollar mis ensayos experimentales y de investigación para el presente trabajo.
<b>Mi asesor</b>	Ing. Luis Mariano Alvarez Muralles. Por brindarme sus asesorías y su tiempo para que este trabajo sea un aporte y referencia a los estudiantes.

## ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	VII
LISTA DE SÍMBOLOS.....	XI
GLOSARIO.....	XIII
RESUMEN.....	XV
OBJETIVOS.....	XVII
INTRODUCCIÓN.....	XIX
1. POLÍMEROS.....	1
1.1. Definición.....	1
1.2. Producción de los polímeros.....	2
1.2.1. Polimerización en cadena.....	2
1.2.2. Polímeros de reacciones por pasos.....	4
1.3. Clasificación de los polímeros.....	5
1.3.1. Por su estructura química.....	6
1.3.1.1. Polímeros de cadena carbónica.....	6
1.3.1.2. Polímeros de cadena heterogénea.....	7
1.3.2. Por su comportamiento mecánico.....	7
1.3.2.1. Ensayos de flexión.....	8
1.3.2.2. Ensayos de compresión.....	8
1.3.2.3. Ensayos de impacto.....	9
1.3.3. Por su desempeño mecánico.....	9
1.3.3.1. Termoplásticos.....	10
1.3.3.2. Termoplásticos de altas prestaciones (o plásticos ingenieriles).....	10
1.3.3.3. Termoestables.....	11

2.	RECICLAJE DE POLÍMEROS .....	13
2.1.	Definición .....	13
2.2.	Antecedentes .....	13
2.2.1.	El proceso de reciclaje en la ciudad de Guatemala.....	15
2.3.	Origen de los materiales reciclados.....	19
2.4.	Clasificación de los polímeros .....	19
2.4.1.	Plásticos postindustriales .....	19
2.4.2.	Plásticos postconsumidor .....	20
2.5.	Polímeros reciclados .....	20
2.5.1.	PET-Tereftalato de Polietileno .....	20
2.5.2.	HDPE-Polietileno de Alta Densidad .....	21
2.5.3.	LDPE-Polietileno de baja densidad .....	24
2.5.4.	PP-Polipropileno.....	26
2.5.5.	PS-Poliestireno.....	28
3.	CONCRETO MODIFICADO CON FIBRAS SINTÉTICAS .....	31
3.1.	Definición .....	31
3.2.	Fibras sintéticas utilizadas en las mezclas de concreto.....	31
3.2.1.	Nylon .....	34
3.2.2.	Polipropileno.....	35
3.2.3.	Polietileno.....	36
3.2.4.	Poliéster .....	36
3.3.	Fibra a utilizar en el concreto .....	39
3.3.1.	Polipropileno.....	39
3.4.	Material sintético a utilizar experimentalmente en el concreto .....	39
3.4.1.	Polipropileno reciclado .....	39

4.	DESARROLLO EXPERIMENTAL .....	45
4.1.	Normas y ensayos aplicados al diseño de mezcla .....	45
4.1.1.	Norma NTG- 41 007. Especificación estándar de agregados para concreto (ASTM C-33) .....	45
4.1.1.1.	Objeto .....	46
4.1.2.	Norma NTG-41 052. Método de prueba estándar para asentamiento del concreto (ASTM C-143) .....	46
4.1.2.1.	Significación y utilización.....	47
4.1.2.2.	Procedimiento .....	47
4.1.3.	Norma NTG-41 053. Método de prueba estándar para la medición de la temperatura del concreto hidráulico recién mezclado (ASTM C-1 064) .....	49
4.1.3.1.	Procedimiento .....	49
4.1.4.	Norma NTG-41017h7. Método de prueba estándar para el contenido de aire del concreto recién mezclado por el método de presión (ASTM C-231).....	50
4.1.4.1.	Significado y utilización .....	50
4.1.4.2.	Procedimiento .....	51
4.1.5.	Norma NTG- 41017h5. Método de prueba estándar para determinar el peso unitario del concreto (ASTM C-138) .....	53
4.1.5.1.	Procedimiento .....	54
4.1.6.	Norma NTG-41 060. Práctica estándar para preparación y curado de especímenes de ensayo de concreto en laboratorio (ASTM C-192) ..	56
4.1.6.1.	Procedimiento .....	56
4.1.7.	Norma NTG-41017h12. Método de prueba estándar para el tiempo de fraguado de mezclas	

	de concreto por resistencia a la penetración (ASTM C-403) .....	59
	4.1.7.1. Significación y uso .....	60
	4.1.7.2. Procedimiento.....	60
4.1.8.	Norma NTG-41017h1. Método de prueba estándar para la resistencia a la compresión de especímenes cilíndricos de concreto .....	62
	4.1.8.1. Importancia y uso .....	62
	4.1.8.2. Procedimiento.....	63
4.1.9.	Norma NTG-41017h2. Método de prueba estándar para la resistencia a la flexión del concreto utilizando una viga simplemente soportada con cargas a tercios de la luz (ASTM C-78) .....	66
	4.1.9.1. Significado y uso.....	67
	4.1.9.2. Procedimiento.....	67
4.1.10.	Norma NTG-41017h15. Método de prueba estándar para la resistencia a tracción indirecta de especímenes cilíndricos de concreto (ASTM C-496) .....	68
	4.1.10.1. Significado y utilización.....	69
	4.1.10.2. Procedimiento.....	69
4.2.	Resultados para el análisis completo para los agregados .....	70
	4.2.1. Agregado fino .....	70
	4.2.1.1. Granulometría ASTM C-33 .....	70
	4.2.2. Agregado grueso .....	71
	4.2.2.1. Granulometría ASTM C-33 .....	71
4.3.	Resultados de fibra sintética .....	72
	4.3.1. Fibra de polipropileno ASTM C-1 116.....	72

4.4.	Diseño de mezcla .....	73
4.4.1.	Diseño teórico de mezcla de concreto .....	73
4.4.1.1.	Diseño teórico de mezcla con fibra de polipropileno.....	74
4.4.1.2.	Diseño teórico de mezcla de concreto con polipropileno reciclado ....	75
4.4.2.	Diseño práctico de la mezcla .....	76
4.4.2.1.	Pesaje de los materiales .....	76
4.4.2.2.	Mezclado de los materiales .....	77
4.4.2.3.	Ensayos al concreto fresco .....	78
4.4.2.4.	Resultados de ensayos al concreto fresco .....	79
4.4.2.4.1.	Temperatura del concreto ASTM C-1064.....	79
4.4.2.4.2.	Contenido de aire ASTM C-231 .....	80
4.4.2.4.3.	Asentamiento del concreto ASTM C-143...81	
4.4.2.4.4.	Peso unitario compactado del concreto ASTM C-138...82	
4.4.2.5.	Ensayos al concreto endurecido .....	83
4.4.2.6.	Resultados de ensayos al concreto endurecido .....	83
4.4.2.6.1.	Resultado resistencia a tracción indirecta de especímenes	

		cilíndricos ASTM C-496 .....	84
	4.4.2.6.2.	Resultado resistencia a la flexión ASTM C-78 .....	87
	4.4.2.6.3.	Esfuerzo de corte a flexión .....	88
	4.4.2.6.4.	Resultado cilindros a compresión ASTM C-39 .....	90
5.	COMPARACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS.....		95
5.1.	Concreto con fibra de polipropileno .....		95
5.2.	Concreto con polipropileno reciclado.....		98
5.3.	Comparación de resultados de las distintas mezclas .....		100
5.4.	Interpretación de resultados .....		104
	5.4.1.	Cilindros a tensión indirecta.....	104
	5.4.2.	Vigas de concreto a flexión.....	105
	5.4.3.	Cilindros a compresión axial.....	105
	CONCLUSIONES .....		107
	RECOMENDACIONES .....		109
	BIBLIOGRAFÍA.....		111
	ANEXOS .....		115

## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

### FIGURAS

1.	Acumulación de plásticos .....	16
2.	Transporte de basura al relleno de la zona 3 capitalina.....	17
3.	Recolección y clasificación de plásticos .....	18
4.	Reciclaje del PET .....	21
5.	Reciclaje del polietileno de alta densidad .....	24
6.	Reciclaje del Polietileno de Baja Densidad.....	25
7.	Reciclaje del Polipropileno .....	28
8.	Reciclaje del Poliestireno .....	30
9.	Polipropileno reciclado (peletizado) .....	40
10.	Localización de la empresa Reproplast, S.A. ....	41
11.	Lugar de almacenaje de los plásticos reciclados.....	42
12.	Máquina peletizadora .....	43
13.	Esquema de los modelos de fractura típicos .....	66
14.	Fibra de polipropileno.....	72
15.	Pesaje de los materiales .....	77
16.	Mezclado de los materiales .....	78
17.	Fundición del concreto .....	78
18.	Ensayo de temperatura .....	79
19.	Ensayo de Contenido de aire .....	80
20.	Ensayo de Asentamiento .....	81
21.	Ensayo de Peso unitario del concreto .....	82
22.	Desencofrado del concreto .....	83
23.	Ensayo de cilindros a tensión indirecta .....	86
24.	Ensayo de vigas a flexión.....	89

25.	Ensayo de cilindros a compresión .....	93
-----	----------------------------------------	----

## TABLAS

I.	Tipo de fibras y sus propiedades .....	38
II.	Edades de ensayo y tolerancias admisibles.....	64
III.	Resumen de resultados de agregado fino .....	70
IV.	Granulometría de agregado fino .....	70
V.	Resumen de resultados de agregado grueso .....	71
VI.	Granulometría de agregado grueso .....	71
VII.	Datos técnicos de ficha técnica.....	72
VIII.	Datos de la mezcla .....	74
IX.	Diseño de mezcla con fibra de polipropileno a 0,8 kg/m <sup>3</sup> .....	74
X.	Diseño de mezcla con fibra de polipropileno 1 kg/m <sup>3</sup> .....	75
XI.	Diseño de mezcla con polipropileno reciclado a 0,8 kg/m <sup>3</sup> .....	75
XII.	Diseño de mezcla con polipropileno reciclado a 1 kg/m <sup>3</sup> .....	76
XIII.	Cilindros a tracción indirecta de concreto patrón .....	84
XIV.	Cilindros de concreto a tracción indirecta con fibra de polipropileno a 0,80 kg/m <sup>3</sup> .....	85
XV.	Cilindros de concreto a tracción indirecta con fibra de polipropileno a 1 kg/m <sup>3</sup> .....	85
XVI.	Cilindros de concreto a tracción indirecta con polipropileno reciclado a 0,80 kg/m <sup>3</sup> .....	85
XVII.	Cilindros de concreto a tracción indirecta con polipropileno reciclado a 1 kg/m <sup>3</sup> .....	86
XVIII.	Vigas a flexión con apoyos a tercios de luz .....	87
XIX.	Módulo de ruptura de vigas a flexión .....	88
XX.	Resultado de esfuerzo de corte a flexión .....	89
XXI.	Resultados de cilindros a compresión de concreto patrón .....	90

XXII.	Cilindros a compresión de concreto con fibra de polipropileno a 0,80 kg/m <sup>3</sup> .....	91
XXIII.	Cilindros a compresión de concreto con fibra de polipropileno a 1 kg/m <sup>3</sup> .....	91
XXIV.	Cilindros a compresión de concreto con polipropileno reciclado a 0,80 kg/m <sup>3</sup> .....	92
XXV.	Cilindros a compresión de concreto con polipropileno reciclado a 1 kg/m <sup>3</sup> .....	92
XXVI.	Comparación de cilindros a tensión indirecta con fibra de polipropileno en Mpa.....	95
XXVII.	Comparación de cilindros a tensión indirecta con fibra de polipropileno en PSI.....	96
XXVIII.	Comparación de vigas a flexión con fibra de polipropileno en Mpa.....	96
XXIX.	Comparación de vigas a flexión con fibra de polipropileno en PSI.....	96
XXX.	Comparación de cilindros a compresión con fibra de polipropileno en Mpa.....	97
XXXI.	Comparación de cilindros a compresión con fibra de polipropileno en PSI.....	97
XXXII.	Comparación de cilindros a tensión indirecta con polipropileno reciclado en Mpa.....	98
XXXIII.	Comparación de cilindros a tensión indirecta a tensión indirecta con polipropileno reciclado en PSI.....	98
XXXIV.	Comparación de vigas a flexión con polipropileno reciclado en Mpa.....	99
XXXV.	Comparación de vigas a flexión con polipropileno reciclado en PSI.....	99
XXXVI.	Comparación de cilindros a compresión con polipropileno reciclado en Mpa.....	99
XXXVII.	Comparación de cilindros a compresión con polipropileno reciclado en PSI.....	100
XXXVIII.	Comparación de los esfuerzos a tensión indirecta en Mpa.....	100

XXXIX.	Comparación de los esfuerzos a tensión indirecta en PSI .....	101
XL.	Comparación de los esfuerzos de vigas a flexión en Mpa .....	101
XLI.	Comparación de los esfuerzos de vigas a flexión en PSI.....	102
XLII.	Comparación de esfuerzos a compresión de las distintas bachadas en Mpa.....	103
XLIII.	Comparación de esfuerzos a compresión de las distintas bachadas en PSI.....	104

## LISTA DE SÍMBOLOS

<b>Símbolo</b>	<b>Significado</b>
<b>cm</b>	Centímetro
<b>FPP</b>	Fibra de polipropileno
<b>° C</b>	Grado Celsius
<b>kg</b>	Kilogramo
<b>Psi</b>	Libra por pulgada cuadrada
<b>mm</b>	Milímetro
<b>Mpa</b>	MegaPascal
<b>PS</b>	Poliestireno
<b>PP</b>	Polipropileno
<b>PPR</b>	Polipropileno reciclado
<b>%</b>	Porcentaje
<b>F´c</b>	Resistencia máxima del concreto a compresión



## GLOSARIO

<b>Agregados</b>	Materiales pétreos grava/arena, producto de la desintegración de rocas.
<b>ASTM</b>	<i>American Society for Testing Materials.</i>
<b>Bachada</b>	Mezcla de concreto preparada para fundición.
<b>Concreto</b>	Mezcla homogénea de cemento, grava, arena y agua.
<b>Contracción</b>	Proceso de acortamiento del concreto durante el endurecimiento y secado principalmente por pérdida de humedad por evaporación.
<b>Fibras sintéticas</b>	Fibra que proviene de diversos productos derivados del petróleo.
<b>Flexión</b>	Esfuerzo en el cual la sección de un material está sometida a tensión y compresión.
<b>Peletizado</b>	Proceso que consiste en la elaboración de material reciclado en forma de gránulos
<b>Polímeros</b>	Son sustancias formadas por moléculas más pequeñas denominadas monómeros.

**Polipropileno**

Material obtenido por la polimerización del propileno.

**Tensión indirecta**

Esfuerzo de compresión en el cual se aplica en el sentido más largo del elemento.

## RESUMEN

El presente informe desarrollado trata sobre el uso del polipropileno reciclado como sustituto a la fibra de polipropileno normada por la ASTM C-1116 para modificar sus propiedades mecánicas. El experimento del uso del polipropileno reciclado lleva también a la reducción de la contaminación del ambiente del material plástico aunque esto no es uno de los objetivos de dicho informe.

El material experimental se obtendrá en la empresa Reproplast, S.A, dicha empresa recolecta diversos tipos de plásticos usados, los clasifica y los peletiza en forma de gránulos para utilizarlos nuevamente. La dosificación de este material peletizado en el concreto será la misma que la que propone la ficha técnica de la fibra de polipropileno.

Se realizarán 5 diseños prácticos de mezcla de concreto para determinar la modificación de las propiedades mecánicas. Los ensayos que se realizarán son el esfuerzo a compresión, esfuerzo a flexión y esfuerzo de tensión indirecta.



# OBJETIVOS

## General

Desarrollar experimentalmente una comparación de los resultados de las propiedades mecánicas del concreto entre el uso del polipropileno reciclado y la fibra de polipropileno comercial

## Específicos

1. Evaluar el uso del polipropileno reciclado como un aditivo contra el fisuramiento durante la contracción en estado plástico y verificar si afecta en la resistencia del concreto.
2. Desarrollar experimentalmente ensayos para el concreto modificado con polipropileno reciclado y evaluar si las propiedades de dicho material ayudan en la calidad del concreto en estado fresco y endurecido.
3. Proponer la misma dosificación del polipropileno comercial recomendada de la ficha técnica al polipropileno reciclado y comparar los resultados de los ensayos del concreto.



## INTRODUCCIÓN

La necesidad de utilizar nuevos materiales en la construcción ha llevado al estudio experimental de su inclusión en el concreto. Dadas las exigencias sobre la calidad del concreto, surge la necesidad de continuar con el desarrollo de nuevos métodos para mejorar las propiedades de dicha mezcla. En la actualidad, el concreto presenta dificultades tales como fisuras y agrietamientos.

Por ello, se propone el uso del concreto modificado, el cual rompe el esquema común de agua, cemento, arena y grava, en el que se incluyen materiales innovadores para modificar sus características obteniendo otros beneficios, entre ellos, el ecológico, económico, estético y que modifique sus propiedades mecánicas.

Este desarrollo experimental tiene la finalidad realizar ensayos para determinar las propiedades físicas y mecánicas de los concretos elaborados en los diseños de mezcla con una dosificación de polipropileno reciclado y la fibra de polipropileno. Luego, se compararán los resultados.



# 1. POLÍMEROS

## 1.1. Definición

Los polímeros también llamados macromoléculas, son sustancias formadas por moléculas más pequeñas denominadas monómeros. Las macromoléculas se obtienen por la unión química de los monómeros y, el número de unidades repetidas de monómeros en una macromolécula, se llama grado de polimerización.

Se debe aclarar que es un error muy común referirse a los polímeros exclusivamente como plásticos sintéticos. Los polímeros se pueden clasificar de acuerdo con su origen, si se quiere ver así, como naturales y sintéticos. Los polímeros naturales provienen de resinas que se extraen de algunos árboles como el betún y el ámbar. Estas resinas sirven para fabricar telas impermeables. Algunos polímeros naturales pueden ser las proteínas y el almidón.

El ser humano fabrica los polímeros sintéticos y se denominan plásticos. Estos pueden moldearse según convenga. Entre las propiedades más importantes de los plásticos están su facilidad para fabricarlos, buen aislamiento eléctrico, alta resistencia a la corrosión, resistencia a la humedad y su adaptación para cualquier aplicación.

## **1.2. Producción de los polímeros**

Los polímeros, como cualquier otro material tienen fuentes de materias primas. Entre ellas están el petróleo, el carbón de hulla y el coque. Del petróleo se puede obtener el etano, propano, butano y pentano. A partir de estos se producen polímeros como el polietileno, el cloruro de polivinilo (PVC) y el polipropileno. De la destilación del carbón de hulla se producen hidrocarburos aromáticos, como el benceno, fenol, tolueno y naftaleno, que posteriormente pasan a ser plásticos como el poliestireno.

Uno de los productos de la destilación de hulla es el coque. Posteriormente, se obtiene el carburo de calcio del que, a su vez, se produce el acetileno y la cianamida cálcica, a partir de los que pueden obtenerse derivados del acetato de vinilo, acetato de celulosa y polimetilmetacrilato. Existen dos tipos de producción de polímeros: polimerización en cadena y polímeros de reacciones por pasos.

### **1.2.1. Polimerización en cadena**

“También llamado polimerización por adición, los monómeros contienen dobles enlaces, que se rompen por medio de un iniciador. De este modo, la molécula se encuentra activada y se une a otras del mismo tipo, dando lugar a un polímero generalmente lineal. Los iniciadores, en su mayoría radicales libres, son moléculas o fracciones de molécula, las cuales contienen electrones no apareados”<sup>1</sup>.

---

<sup>1</sup>BLANCO VARGAS, Rafael. Clasificación de los plásticos por su estructura y su polimerización. Primera obra de recopilación del Instituto Mexicano del Plástico Industrial. IMPI. p. 25.

“Para obtener radicales libres se pueden tratar los compuestos adecuados por calor, luz ultravioleta, descarga eléctrica u otras sustancias llamadas promotores. En la polimerización por adición existen tres tipos principales de reacciones”<sup>2</sup>.

- Reacción de iniciación
  - Reacción de propagación
  - Reacción de terminación
- 
- En la etapa de iniciación se forma el radical libre y se activan las moléculas del monómero.
  - En la etapa de propagación se efectúa la reacción entre los monómeros activados y se produce la polimerización.
  - En la etapa de terminación los radicales libres se consumen, por lo que se detiene el proceso.

“En la polimerización por adición pueden combinarse monómeros del mismo tipo, los que dan lugar a macromoléculas con idénticas unidades de repetición. El producto resultante se llama homopolímero. Si se combinan diversos monómeros, el resultado es un copolímero, que puede tener diferente estructura como: al azar, alternado o en bloque, según están situadas las diferentes unidades de repetición”<sup>3</sup>.

---

<sup>2</sup> BLANCO VARGAS, Rafael. Clasificación de los plásticos por su estructura y su polimerización. Primera obra de recopilación del Instituto Mexicano del plástico Industrial. México: IMPI. p. 25

<sup>3</sup> Ibid.

“Cada tipo de polímero tiene características diferentes y por lo general buscan combinarse las mejores propiedades de distintos monómeros, para producir un copolímero con cualidades superiores a las de los homopolímeros correspondientes. Los principales polímeros que se producen por adición son”<sup>4</sup>:

- El cloruro de polivinilo (PVC)
- El polietileno
- El poliestireno

### **1.2.2. Polímeros de reacciones por pasos**

“También llamado polimerización por condensación, los polímeros son producidos mediante reacciones químicas entre moléculas que poseen grupos funcionales orgánicos, tales como”<sup>5</sup>:

- Grupo hidroxilo
- Grupo carboxílico

“La polimerización generalmente tiene lugar en presencia de un catalizador y/o por la acción del calor. En la polimerización por condensación no existen las etapas de iniciación, propagación y terminación y el crecimiento del polímero se lleva a cabo en forma desordenada. El tipo de polímero que se obtiene depende de la funcionalidad de las moléculas reactivas”<sup>6</sup>.

---

<sup>4</sup> BLANCO VARGAS, Rafael. Clasificación de los plásticos por su estructura y su polimerización. Primera obra de recopilación del Instituto Mexicano del plástico Industrial. México: IMPI. p. 25

<sup>5</sup>Op. cit. p. 26

<sup>6</sup> Op. cit. p. 26

“Las moléculas monofuncionales, o sea aquellas que tienen un solo grupo funcional, producen polímeros de bajo peso molecular. De las moléculas bifuncionales se obtienen generalmente polímeros lineales, mientras que las moléculas polifuncionales dan lugar a entrecruzamientos. Entre los polímeros más importantes obtenidos por condensación están”<sup>7</sup>:

- Los poliésteres obtenidos por la reacción entre un alcohol o polialcohol y un ácido orgánico.
- Las poliamidas (Los *nylon*) producidos a partir de grupos aminaprimaria y carboxílicos.
- Policarbonatos obtenidos por la reacción entre polialcoholes y ácidos polibásicos.
- Poliacetales producidos por la polimerización de aldehídos.

### **1.3. Clasificación de los polímeros**

“Los polímeros pueden clasificarse de varias formas ya sea por su origen, por su configuración molecular, por sus propiedades mecánicas y también pueden subdividirse en otras”<sup>8</sup>.

Los polímeros se pueden clasificar de una forma general como la siguiente:

---

<sup>7</sup> BLANCO VARGAS, Rafael. Clasificación de los plásticos por su estructura y su polimerización. Primera obra de recopilación del Instituto Mexicano del plástico Industrial. México: IMPI. p. 26

<sup>8</sup>LÓPEZ CRUZ, José Alberto. Propiedades mecánicas del concreto modificado a base de fibras de nylon y polipropileno para su uso en elementos estructurales. p. 14

- Por su estructura química
- Por su comportamiento mecánico
- Por su desempeño mecánico

### **1.3.1. Por su estructura química**

De acuerdo con su estructura química, los polímeros pueden clasificarse por cadena carbónica y cadena heterogénea. Dicha estructura química puede variar de acuerdo con su grado de polimerización que se define por el número de unidades repetidas en la molécula, también por su configuración molecular del modo en que están enlazados los átomos que lo componen.

#### **1.3.1.1. Polímeros de cadena carbónica**

“Están formados por varios átomos de carbono originando compuestos diferentes, tiene cadenas medulares carbono-carbono, se forman a partir de monómeros vinílicos tales como resinas de poliéster; los polímeros que están dentro de esta clasificación son”<sup>9</sup>:

- Polímeros de tipo acrílicos
- Polímeros de tipo cloruros
- Polímeros de tipo fluoruros

---

<sup>9</sup>LÓPEZ CRUZ, José Alberto. Propiedades mecánicas del concreto modificado a base de fibras de nylon y polipropileno para su uso en elementos estructurales. p. 15

### **1.3.1.2. Polímeros de cadena heterogénea**

“Están formados por átomos de oxígeno, azufre y nitrógeno; los polímeros que están dentro de esta clasificación son”<sup>10</sup>:

- Poliéteres
- Poliésteres
- Policarbonato
- Siliconas

### **1.3.2. Por su comportamiento mecánico**

“Los plásticos se encuentran sometidos a diferentes estados de carga en sus distintas aplicaciones, por lo que la selección del material adecuado para cada una de ellas se basa, entre otras consideraciones, en sus propiedades mecánicas. Las propiedades mecánicas de los polímeros dependen de su composición y estructura, además el comportamiento mecánico depende de los esfuerzos a los que se someten los polímeros”<sup>11</sup>:

---

<sup>10</sup>LÓPEZ CRUZ, José Alberto. Propiedades mecánicas del concreto modificado a base de fibras de nylon y polipropileno para su uso en elementos estructurales. p. 16

<sup>11</sup>BELTRÁN RICO, Maribel y MARCILLA GOMIS, Antonio. Tecnología de polímeros, procesado y propiedades. p. 47.

### **1.3.2.1. Ensayos de flexión**

“La resistencia a la flexión de un material es su capacidad de soportar fuerzas aplicadas en su eje longitudinal. El método más empleado para realizar los ensayos de flexión consiste en un sistema en el que la probeta se coloca en dos apoyos y la carga la realiza un puntero entre los dos soportes; las fibras inferiores se someten a tensión mientras que las fibras superiores lo hacen a compresión. El uso de la fibra de polipropileno sintética tiene la función de adherirse al concreto y esto le ayuda en su zona de tensión, mientras que el plástico reciclado es más corto en su longitud puede ser menos adherente pero más grande en su sección transversal y puede ser una ventaja ante la fibra.”<sup>12</sup>

### **1.3.2.2. Ensayos de compresión**

“Los ensayos de compresión se emplean para estudiar el comportamiento del material cuando está sujeto a una carga compresiva. En muchas aplicaciones los plásticos están sujetos a cargas de compresión. En la práctica, las cargas compresivas suelen aplicarse durante periodos prolongados de tiempo, como, por ejemplo, los plásticos empleados en juntas, tacos de sillas y mesas. En aquellos polímeros que se rompen en un ensayo de compresión, la resistencia a la compresión tiene un valor definido, sin embargo, en algunos casos, los polímeros se siguen deformando hasta que resulta una lámina muy fina sin que se produzca una fractura bien definida”<sup>13</sup>.

---

<sup>12</sup>BELTRÁN RICO, Maribel y MARCILLA GOMIS, Antonio. Tecnología de polímeros, procesado y propiedades. p. 53.

<sup>13</sup> Ibid.

La máquina empleada en los ensayos de compresión es la misma que se utiliza en los ensayos de tracción, solo cambia la dirección en la que se aplica el esfuerzo.

### **1.3.2.3. Ensayos de impacto**

“Se define la resistencia al impacto como la energía absorbida por un material por unidad de área de sección transversal ante un impacto. La capacidad de absorber energía depende no sólo del material, sino también de su forma, tamaño, espesor, etc. Un plástico es más susceptible de producir fallo cuando es sometido a un impacto que cuando esa misma carga se aplica más lentamente, debido a que en el impacto el material no tiene la oportunidad de compensar el esfuerzo con movimiento molecular, es decir, no puede orientarse ni relajarse”<sup>14</sup>.

### **1.3.3. Por su desempeño mecánico**

Los polímeros se pueden clasificar según su desempeño mecánico, esto significa que dicha clasificación responde a las funciones y exigencias para las cuales fueron diseñados. De acuerdo con esta clasificación, se describen brevemente los principales tipos de plásticos, su estructura, propiedades y ejemplos de plásticos que pertenecen a cada grupo.

---

<sup>14</sup>BELTRÁN RICO, Maribel y MARCILLA GOMIS, Antonio. Tecnología de polímeros, procesado y propiedades. p. 54.

### **1.3.3.1. Termoplásticos**

“Los termoplásticos son polímeros lineales que pueden ser ramificados o no. Puesto que no se encuentran entrecruzados, son polímeros solubles en algunos disolventes orgánicos, capaces de fundir y son, por tanto, reciclables. Si los comparamos con los demás tipos de plásticos, los termoplásticos se fabrican y emplean en cantidades muy grandes y entre ellos los más frecuentes son el PE, PP, PS y PVC”<sup>15</sup>.

“Por lo general, los materiales termoplásticos presentan un buen conjunto de propiedades mecánicas, son fáciles de procesar y bastante económicos. La principal desventaja deriva del hecho de que son materiales que funden, de modo que no tienen aplicaciones a elevadas temperaturas de la del ambiente, comienzan a reblandecer con la consiguiente pérdida de propiedades mecánicas”<sup>16</sup>.

### **1.3.3.2. Termoplásticos de altas prestaciones (o plásticos ingenieriles)**

“Los plásticos de altas prestaciones son un grupo de termoplásticos que se caracterizan por poseer unas propiedades mecánicas excepcionalmente buenas. El nombre de altas prestaciones se define como los materiales que pueden sustituir satisfactoriamente a metales. Sin embargo, las propiedades de los plásticos, a diferencia de la de los metales, se ven afectadas por la temperatura, en este sentido los plásticos tienen desventaja con los metales”<sup>17</sup>.

---

<sup>15</sup>Ibid. p. 61

<sup>16</sup>BELTRÁN RICO, Maribel y MARCILLA GOMIS, Antonio. Tecnología de polímeros, procesado y propiedades. p. 62.

<sup>17</sup>Ibid

“Los plásticos presentan grandes ventajas sobre los metales, debido a su baja densidad, resistencia a muchos líquidos que corroen a los metales, se procesan más fácilmente y se pueden producir diseños más complejos que con metales. Los plásticos de altas prestaciones se obtienen por polimerización de monómeros que incorporan anillos de benceno en la cadena del polímero”<sup>18</sup>.

“Estos anillos aromáticos dan rigidez a la cadena y confieren temperaturas de fusión muy elevadas, de modo que el plástico podrá exponerse a temperaturas superiores a los 200 °C y en ocasiones a los 300 °C durante periodos prolongados de tiempo manteniendo sus propiedades mecánicas. Ejemplos de estos materiales son los plásticos de la familia de las poliimidas (PI), poliariletercetonas (PAEK), poliésteres aromáticos (APE), entre otros. Por lo general, estos materiales resultan más caros y más difíciles de procesar que el resto de los termoplásticos”<sup>19</sup>.

### **1.3.3.3. Termoestables**

“Los termoestables son materiales que adquieren un estado final entrecruzado, que los hace insolubles e incapaces de fundir. Estos materiales vienen de materia prima de bajo peso molecular de las que se obtiene, en una primera fase, un producto intermedio, muy poco o nada reticulado, todavía capaz de fundir y fluir y por tanto, rellenar un molde. Puesto que no funden son materiales que presentan muy buenas propiedades a elevadas temperaturas”<sup>20</sup>.

“Junto con su alta resistencia térmica se caracterizan por tener alta resistencia química, rigidez, dureza superficial, buena estabilidad dimensional,

---

<sup>18</sup>Ibid

<sup>19</sup>BELTRÁN RICO, Maribel y MARCILLA GOMIS, Antonio. Tecnología de polímeros, procesado y propiedades. p. 62.

<sup>20</sup>Op. cit. p. 63

entre otras ventajas sobre otros materiales. Una de las desventajas de estos materiales es que requieren métodos de transformación lentos, puesto que la reacción de polimerización se produce dentro de moldes”<sup>21</sup>.

---

<sup>21</sup> Op. cit. p. 63

## **2. RECICLAJE DE POLÍMEROS**

### **2.1. Definición**

Se define como el proceso de recolectar aquellos polímeros sintéticos que ya fueron usados para lo cual se diseñaron. Los polímeros sintéticos también llamados plásticos, se encuentran en productos de uso cotidiano como, bolsas, botellas, electrodomésticos, muebles, cajas, etc.

El reciclaje de plásticos es importante ya que estos materiales están entre los principales contaminantes para el medio ambiente. Debido a que son materiales sintéticos no se degradan y permanecen cientos de años con su misma forma y dimensión. El objetivo más relevante de dicho reciclaje es minimizar la contaminación del medio ambiente además de la reutilización del plástico para otras industrias.

### **2.2. Antecedentes**

“En la ciudad de Guatemala, este material representa el 8% del total de los residuos. La acumulación de los materiales plásticos en los vertederos trae consecuencias negativas concretas dado su carácter de productos no degradables. Por ello, y por cuestiones de índole económica se han adoptado alternativas para la reutilización de esos materiales cuando ha finalizado su periodo de vida útil”<sup>22</sup>.

---

<sup>22</sup> DE LEÓN MALDONADO, Alma. El proceso de reciclaje en la ciudad de Guatemala. p.44.

“Los plásticos presentan algunas características entre las que se encuentran el hecho de ser materiales ligeros, resistentes tanto mecánica como químicamente, no sufren corrosión, son baratos y presentan versatilidad de ser fabricados según las necesidades”<sup>23</sup>.

“Estas características han facilitado su aplicación en diferentes campos, desde los más sencillos para cubrir las necesidades de la industria del envase y embalaje, hasta las más exigentes con fines estructurales para la ingeniería, pasando por el campo de la medicina, la agricultura, la construcción, entre otras”<sup>24</sup>.

Se presentan varios tipos de plástico, tal es el caso del:

Polietileno de baja densidad (LDPE), el cual se emplea para fabricar bolsas de *nylon*, películas de envoltorio.

Polietileno de alta densidad (HDPE), resulta un material semirrígido que no se quiebra con la torsión, con él se fabrican palanganas, envases de jugos, leche y alcohol.

Polipropileno (PP), que se utiliza para fabricar vasos, platos, cubiertos desechables.

Poliestireno (PS), que se emplea para elaborar tapones, botellas de fármacos, tela de poliéster etc.

---

<sup>23</sup> DE LEÓN MALDONADO, Alma. El proceso de reciclaje en la ciudad de Guatemala. p.44.

<sup>24</sup> Ibid.

Polietileno tereftalato (PET), plástico difícil de destruir con el ciclo de la naturaleza y, actualmente, se ha incrementado su comercialización utilizándolo para embotellar las bebidas carbonatadas, empaques flexibles laminados.

### **2.2.1. El proceso de reciclaje en la ciudad de Guatemala**

“El reciclaje en la ciudad de Guatemala, se realiza teniendo tres fuentes importantes de materiales, los residuos en el relleno de la zona 3, los residuos separados en las viviendas e instituciones y los saldos de los procesos industriales. Resulta preciso diferenciar cada una de las etapas de su manejo, de esta forma se tiene: i) la generación de residuos. ii) El almacenamiento, iii) la recolección y el transporte; iv) el tratamiento y/o v) sistema de disposición final de residuos”<sup>25</sup>.

- **Generación**

“La ciudad de Guatemala, la generación de residuos es diferencial con relación al estrato social al que se pertenezca. La producción *per cápita* de la ciudad representa la mitad de lo que se genera en la ciudad de México y es una cuarta parte de lo que una persona produce en Estados Unidos; con la gran diferencia que en este último si cuenta con los recursos financieros, humanos y técnicos para el manejo adecuado de los residuos”<sup>26</sup>.

“La generación de desechos se encuentra asociada al aumento de la población, al cambio de los patrones de consumo que rigen los centros urbanos, en los que el uso de productos desechables presenta cada vez mayor predominancia, pero sobre todo a la falta de políticas nacionales, regionales y

---

<sup>25</sup> DE LEÓN MALDONADO, Alma. El proceso de reciclaje en la ciudad de Guatemala. p.31.

<sup>26</sup>Op. cit. p. 32

locales sobre los procesos de producción, empaque y mercadeo de productos”<sup>27</sup>.

“En Guatemala no se cuentan con políticas de esta naturaleza, en la ciudad de Guatemala, se produce particularmente residuos orgánicos, la mayoría de los residuos sólidos corresponden a aquellos que son inorgánicos que pueden ser susceptibles de ser reciclados, de los cuales casi nada se recupera, en forma espontánea y manual, durante la recolección a domicilio y en el relleno de la zona 3”<sup>28</sup>.

Figura 1. **Acumulación de plásticos**



Fuente: [http://www.ecoportel.net/Temas-Especiales/Basura-Residuos/El\\_Reciclado\\_de\\_Plasticos](http://www.ecoportel.net/Temas-Especiales/Basura-Residuos/El_Reciclado_de_Plasticos)  
Consulta: 25 de octubre de 2015.

- **Recolección y transporte**

“El manejo de los residuos sólidos es una responsabilidad municipal, por ello, la mayoría de los camiones que ingresan al relleno de la zona 3 proviene

---

<sup>27</sup> DE LEÓN MALDONADO, Alma. El proceso de reciclaje en la ciudad de Guatemala. p.32.

<sup>28</sup>Op. cit. p. 33

de las diferentes zonas de la ciudad. Después de ellos, los camiones provienen del municipio de Mixco, donde se incluyen los sectores de ciudad San Cristóbal, Ciudad Satélite, La Comunidad; siguiéndole Chinautla y Santa Catarina Pinula. A diferencia de otras ciudades, resulta preciso indicar que los camiones recolectores de residuos de la ciudad capital no incluyen maquinaria de compactación de residuos, por lo que los materiales ocupan mayor volumen”<sup>29</sup>.

Figura 2. **Transporte de basura al relleno de la zona 3 capitalina**



Fuente: <http://brujula.com.gt/relleno-sanitario/>

Consulta: 25 de octubre de 2015.

- Tratamiento de residuos

“Entre los sistemas de tratamiento y disposición final de residuos sólidos más generalizados se encuentran: i) la disposición libre o incontrolada; ii) la disposición controlada; iii) relleno sanitario, iv) la disposición controlada con trituración previa; v) incineración; y vi) reciclaje. Estos sistemas de tratamiento de residuos no son excluyentes, ya que por la composición de los residuos, pueden utilizarse varios a la vez”<sup>30</sup>.

---

<sup>29</sup> DE LEÓN MALDONADO, Alma. El proceso de reciclaje en la ciudad de Guatemala. p.35.

<sup>30</sup> DE LEÓN MALDONADO, Alma. El proceso de reciclaje en la ciudad de Guatemala. p.37.

“En la ciudad de Guatemala, no se ha reglamentado la separación de residuos desde el domicilio. El mayor centro de acopio para la ciudad lo constituye el relleno de la zona 3, en cuyo perímetro se desarrolla la comercialización más importante en volumen y diversidad de materiales. En términos generales el reciclaje que se lleva a cabo en el relleno de la zona 3, presenta las siguientes etapas”<sup>31</sup>:

- Recolección de residuos (en el relleno de la zona 3).
- Clasificación por tipo de material, lo apartan y lo venden.
- Comercialización (dentro o fuera del relleno de la zona 3).
- Traslado a centros de acopio (si este recolecta volúmenes considerables los lleva directamente a la fábrica donde se procesa).
- El material es vendido como materia prima a una empresa procesadora para la generación de nuevos productos.
- La segregación de residuos para venderlos, reciclarlos y/o reusarlos, se ha llevado a cabo desde que se inició en el relleno de la zona 3.

Figura 3. **Recolección y clasificación de plásticos**



Fuente: <http://noticias.emisorasunidas.com/noticias/nacionales/planta-inaugurada-reciclara-25-toneladas-plastico-dia>

Consulta: 25 de octubre de 2015.

---

<sup>31</sup>Ibid.

### **2.3. Origen de los materiales reciclados**

El origen de la gran mayoría de los plásticos reciclados proviene del relleno sanitario ubicado en la zona 3 de la ciudad de Guatemala. Los desechos provienen de hogares, comercios e industrias de la capital. Los consumidores compran productos envasados en plásticos y luego de consumirlos depositan los desechos plásticos en la basura.

Los desechos plásticos, en los recipientes de basura, se mezclan con otros materiales, como vidrio, papel, metales y otros desperdicios tóxicos para las personas. En Guatemala, esta práctica es recurrente porque la basura no se clasifica. Una vez la recogen los camiones de volteo de basura, se transporta hacia el basurero de la zona 3 capitalina donde se deposita en su totalidad.

Existe una red de recolectores que clasifican los plásticos y los venden a intermediarios y ellos, a su vez, los venden a empresas recicladoras.

### **2.4. Clasificación de los polímeros**

De acuerdo con el estado en que se encuentran después de utilizarlos, los plásticos se clasifican en plásticos postindustriales y plásticos postconsumidor.

#### **2.4.1. Plásticos postindustriales**

“Los plásticos post industriales también llamados desechos industriales no contaminados, son los que se generan en las industrias derivados de procesos

de envase y embalaje. El reciclaje de plásticos post industriales es mucho más sencillo que el reciclaje de plásticos post consumidor”<sup>32</sup>.

#### **2.4.2. Plásticos postconsumidor**

“Los plásticos postconsumidor son desechos que han tenido contacto con alguna sustancia química u orgánica, en Guatemala la mayoría de plásticos post consumidor proviene de los basureros. El reciclaje de plásticos post consumidor necesita forzosamente procesos que incluyen clasificación, triturado, lavado y peletizado”<sup>33</sup>.

### **2.5. Polímeros reciclados**

#### **2.5.1. PET-Tereftalato de Polietileno**

“El polietileno tereftalato (PET) es un poliéster de condensación producido por una reacción entre un di-ácido y un di-alcohol. El PET es un polímero de alta producción con diversas aplicaciones. La naturaleza semicristalina de este poliéster permite obtener una gran variedad de propiedades tanto físicas como mecánicas que se ajustan muy bien a la fabricación de fibras, películas, botellas y diferentes partes moldeadas”<sup>34</sup>.

“Estas partes son convertidas en productos finales tales como prendas de ropa, alfombras, empaques y bienes industriales. La mayoría de las propiedades físicas y mecánicas del PET mejoran si el peso molecular

---

<sup>32</sup> Economía y Ecología Plástica, S.A. [En línea]. Disponible en <<http://www.ecoplast.com.gt/nosotros/>> [Consulta:21 de octubre de 2015]

<sup>33</sup> Ibid.

<sup>34</sup> Tecnología del plástico. Artículo [En línea]: Propiedades térmicas y mecánicas del PET reciclado y sus mezclas. <<http://www.plastico.com/temas/Propiedades-termicas-y-mecanicas-del-PET-reciclado-y-sus-mezclas+3056093?pagina=1>>[Consulta 24 de octubre de 2015]

aumenta. El peso molecular requerido depende del uso final del poliéster. Por ello, las resinas de PET (especialmente las de grado alimenticio) se someten a una poli-condensación en estado sólido con el fin de aumentar su peso molecular”<sup>35</sup>.

“El PET es conocido por ser un material termoplástico higroscópico que absorbe la humedad con facilidad. Por lo tanto las condiciones óptimas de secado antes del procesamiento son cruciales. El contenido de humedad en el polímero promueve la degradación durante el procesamiento y conlleva a la reducción del peso molecular, que a su vez afecta las propiedades del producto final”<sup>36</sup>.

Figura 4. **Reciclaje del PET**



Fuente: <http://www.ecoplast.com.gt/producto-en-existencia/>

Consulta: 24 de octubre de 2015.

### **2.5.2. HDPE-Polietileno de Alta Densidad**

“Es un polímero sintético, termoplástico miembro de las poliolefinas obtenido a partir de la polimerización del polietileno elaborado a partir del etano, un gas natural. El polietileno de alta densidad es semicristalino (70,0-

---

<sup>35</sup>Ibid.

<sup>36</sup>Ibid.

80,0%), incoloro, no tóxico y se puede encontrar en todas las tonalidades transparentes y opacas”<sup>37</sup>.

“Las propiedades mecánicas del polietileno de alta densidad dependen básicamente de su estructura, que comprende lo que es la distribución del peso molecular y la cristalinidad. Pero también depende de factores externos como lo son la temperatura, entorno químico y el tiempo, entendido este último como medida de la rapidez con que se aplican fuerzas, así como la duración de éstas”<sup>38</sup>.

“La rigidez, dureza y resistencia a la tensión del polietileno de alta densidad se incrementa con la densidad, ya que si esta se aumenta es un indicador de que el material es más cristalino, y por lo tanto será más resistente ante la misma magnitud de fuerza aplicada que un espécimen de menor densidad. Así también al aumentar el peso molecular hasta cierto punto las propiedades mecánicas mejoran. Pesos moleculares inferiores a dicho punto suelen no ser tan útiles. Rebasando este punto, la resistencia mecánica suele seguir mejorando, pero ya más gradualmente, a medida que aumenta el peso molecular”<sup>39</sup>.

“Debido a ello se supone que lo mejor es aumentar el peso molecular para mejorar las propiedades mecánicas, sin embargo, el proceso de fabricación se hace a partir del polímero fundido, y la viscosidad del fundido crece exponencialmente con el peso molecular, por lo que, pesos moleculares muy

---

<sup>37</sup>ROCA GIRÓN, Iván Ernesto. Estudio de las propiedades y aplicaciones industriales del polietileno de alta densidad (PEAD). p. 17

<sup>38</sup>Op. cit. p. 21

<sup>39</sup>ROCA GIRÓN, Iván Ernesto. Estudio de las propiedades y aplicaciones industriales del polietileno de alta densidad (PEAD). p. 22

elevados requieren mayores esfuerzos y más alto consumo de energía en la fabricación de piezas”<sup>40</sup>.

Por lo tanto se debe de llegar a un punto de equilibrio entre la factibilidad en el proceso y la resistencia que se desea del material.

“El polietileno de alta densidad es muy tenaz, de esta manera demuestra alta resistencia a los impactos aún a bajas temperaturas, pues es capaz de absorber parte de la energía proveniente de los impactos mediante deformaciones. Esto se logra gracias a las zonas amorfas del polímero ya que dichas deformaciones se traducen en cambio de conformación del material”<sup>41</sup>.

“Existen muchas pruebas aplicadas para medir las aplicaciones mecánicas del polietileno de alta densidad, las cuales sirven para medir gráficas, como las de Tensión-Deformación. También existen gráficas de influencia de la temperatura, peso molecular y cristalinidad del polietileno de alta densidad. Las pruebas que se le pueden realizar al polietileno de alta densidad son: dureza- *rockwell*, relación de *poisson* y resistencia a la tracción”<sup>42</sup>.

“La densidad del polietileno de alta densidad se encuentra dentro del rango de 0,941-0,965  $g/cm^3$ ; presenta un alto grado de cristalinidad, siendo así un material opaco y de aspecto ceroso. Existen pruebas de permeabilidad a gases del polietileno de alta densidad, donde depende del espesor de la muestra, de la densidad, y durante la temperatura durante la medición”<sup>43</sup>.

---

<sup>40</sup>Ibid

<sup>41</sup>Ibid

<sup>42</sup>ROCA GIRÓN, Iván Ernesto. Estudio de las propiedades y aplicaciones industriales del polietileno de alta densidad (PEAD). p. 23

<sup>43</sup>Op. cit. p. 18

“El polietileno de alta densidad tiene elevada permeabilidad a ciertas sustancias en que es soluble a elevadas temperaturas, como son los solventes aromáticos y clorados. También presenta cierta permeabilidad a los aceites y grasas, en particular a la esencia de pino, naranja, hierbabuena y alcanfor. En botellas, estas sustancias inducen una ligera suavización en el largo plazo y la posibilidad de fisuras bajo tensión”<sup>44</sup>.

Figura 5. **Reciclaje del polietileno de alta densidad**



Fuente: <http://www.ecoplast.com.gt/producto-en-existencia/>

Consulta: 24 de octubre de 2015.

### **2.5.3. LDPE-Polietileno de baja densidad**

“El polietileno de baja densidad tiene una densidad en el rango de 0,910 – 0,925  $g/cm^3$ , en función de la estructura molecular del polímero. Es un material translucido, inodoro, su punto de fusión varía dependiendo del grado de la resina, como promedio en 110 °C tiene una conductividad térmica baja como la mayoría de los materiales termoplásticos”<sup>45</sup>.

“Las propiedades mecánicas del polietileno de baja densidad, dependen del grado de polimerización y la configuración molecular, es decir, cuanto más

---

<sup>44</sup> Op. cit. p. 19

<sup>45</sup> PÉREZ ESCOBAR, Milton Adolfo. Elaboración de matrices de polímeros reciclados reforzados con fibras de la estopa del coco y determinación de sus propiedades físicas y mecánicas. p. 26

elevado sea el peso molecular, mejores serán las propiedades. Debido a la baja conductividad eléctrica, el PE se ha convertido en un aislante de primera, tanto en alta como en baja tensión”<sup>46</sup>.

“La naturaleza no polar del polietileno, le confiere gran resistencia a los ataques de sustancias químicas. A temperaturas menores de 60 °C resiste a la mayoría de los solventes, ácidos, bases y sales en cualquier concentración. Por otro lado a temperaturas mayores es soluble en solventes orgánicos alifáticos y especialmente en los aromáticos y clorados”<sup>47</sup>.

“Es totalmente atóxico, impermeable al agua y relativamente poco permeable al vapor de agua y gases, puede estar en contacto directo con alimentos sin presentar riesgo para los consumidores”<sup>48</sup>.

Figura 6. **Reciclaje del Polietileno de Baja Densidad**



Fuente: <http://www.ecoplast.com.gt/producto-en-existencia/>

Consulta: 24 de octubre de 2015.

---

<sup>46</sup>Ibid.

<sup>47</sup> PÉREZ ESCOBAR, Milton Adolfo. Elaboración de matrices de polímeros reciclados reforzados con fibras de la estopa del coco y determinación de sus propiedades físicas y mecánicas. p. 26

<sup>48</sup>Op. cit. p 27

#### 2.5.4. PP-Polipropileno

“Este es uno de los materiales termoplásticos más ampliamente usados, tiene un balance en sus propiedades como son su baja gravedad específica, alta rigidez, favorable resistencia química y buenas cualidades eléctricas, que han hecho posible una amplia gama de aplicaciones de este producto. Se emplea para fines tales como empaques de alimentos y artículos de uso doméstico, en juguetes, partes diferentes de dispositivos y automóviles. La fabricación de este material fue posible gracias a los trabajos sobre catalizadores especiales, llevados a cabo casi simultáneamente por los doctores Ziegler en Alemania y Natta en Italia”<sup>49</sup>.

“Este plástico se logra por polimerización de propileno (un derivado del petróleo) con el empleo de varios tipos de sistemas catalíticos organometálicos, que utilizan un metal de transición como el titanio. Con la formulación adecuada del sistema de catálisis puede obtenerse, en especial, alguna de las estructuras que se tienen para el plástico. De esta forma se consigue un producto con configuración isostática, de la cual la mayoría de los propilenos comerciales contienen entre un 90,0 y 95,0%. El resto del plástico muestra una configuración atáctica y está ordenado al azar”<sup>50</sup>.

“El grado de isotacticidad puede ser aumentado, al hacer reaccionar el polipropileno obtenido por extracción con un solvente. Es importante el grado de isotacticidad de un polipropileno, puesto que éste repercute en el grado de cristalinidad del producto y es lo que le da propiedades favorables al plástico. El polipropileno es un polímero cristalino con punto de fusión de 0,60 °C.

---

<sup>49</sup>BLANCO VARGAS, Rafael. Polipropileno. Primera obra de recopilación del Instituto Mexicano del Plástico Industrial. México: IMPI. p. 209

<sup>50</sup>Ibid.

Es el más ligero de los termoplásticos de alto volumen, con gravedad específica de 0,9 a 0,91”<sup>51</sup>.

Además del homopolímero se dispone también de otras clases de polipropileno en los que están:

- Copolímeros al azar
- Copolímeros en bloques o grado impacto
- Polipropileno compuesto grado impacto

“El módulo de flexión o de rigidez del homopolímero de polipropileno varía entre 190 000 y 220 000 *lbs/in<sup>2</sup>*. La combinación de gravedad específica baja y alta rigidez hace a este material útil en aplicaciones que requieren una relación de rigidez a peso alta. El módulo de flexión del copolímero de polipropileno al azar es normalmente de 130 000 a 145 000 *lbs/in<sup>2</sup>*, lo cual depende del tipo de material de que se trate. El módulo de flexión del copolímero grado impacto y el polipropileno grado impacto varía entre 130 000 a 190 000 *lbs/in<sup>2</sup>*, cantidades que están relacionadas con el peso molecular y el contenido de etileno”<sup>52</sup>.

“Su buena resistencia a la abrasión hace posible obtener partes atractivas con este material. Sus propiedades como aislante eléctrico son excelentes y tiene mejores cualidades que el polietileno. Este material se ofrece en una pluralidad de grados, por lo que pueden encontrarse productores que pueden tener más de 100 variedades, que dependen de factores como el peso molecular, composición de aditivos, propiedades de impacto, tipo y cantidad de cargas”<sup>53</sup>.

---

<sup>51</sup>Ibid.

<sup>52</sup>BLANCO VARGAS, Rafael. Polipropileno. Primera obra de recopilación del Instituto Mexicano del Plástico Industrial. México: IMPI. p. 211

<sup>53</sup>Ibid.

Figura 7. **Reciclaje del Polipropileno**



Fuente: <http://www.ecoplast.com.gt/producto-en-existencia/>  
Consulta: 24 de octubre de 2015.

### **2.5.5. PS-Poliestireno**

“Este plástico había sido relativamente poco estudiado hasta antes de la Segunda Guerra Mundial, a raíz de la cual se hizo patente su importancia y fue extensamente investigado, para sus numerosas aplicaciones. En la Segunda Guerra Mundial adquirió mayor importancia como sustituto del hule natural, puesto que resultaba cada día más difícil conseguir un aprovisionamiento seguro de esta materia prima. Después de la guerra y en base a las investigaciones se le ha dado un gran número de aplicaciones”<sup>54</sup>.

“La materia prima para obtener este plástico es el estireno, otros nombres que recibe este material son: fenil-etileno, vinilbenceno, estireno y cinnameno. El estireno se emplea en la manufactura de plásticos, como el poliestireno y los poliestirenos grados “impacto”, hule estireno-butadieno (SBR), terpolímeroacrilo-nitrilo-butadieno-estireno y copolímero estireno-acrilonitrilo”<sup>55</sup>.

---

<sup>54</sup>BLANCO VARGAS, Rafael. Poliestireno. Primera obra de recopilación del Instituto Mexicano del Plástico Industrial. México: IMPI. p. 196

<sup>55</sup>Ibid.

“El poliestireno es un material termoplástico rígido e insípido que tiene buena estabilidad dimensional, puede ser coloreado, cuenta con buenas propiedades como aislamiento eléctrico y resistencia a la mayoría de sustancias químicas ordinarias. Sin embargo, presenta una resistencia relativamente baja a la radiación ultravioleta y es atacado por la mayoría de los hidrocarburos clorados aromáticos. Las propiedades físicas se ven afectadas en gran escala por el peso molecular y la distribución de pesos moleculares”<sup>56</sup>.

Estos dos factores pueden variar bastante y, por lo general, dependen del proceso de polimerización usado, que puede ser:

- En masa
- En suspensión
- En emulsión
- En solución

El poliestireno se presenta en diferentes grados:

- Poliestireno cristal
- Poliestireno grado impacto
- Poliestireno expandible
- Especialidades

“El poliestireno puede modificarse de diferentes maneras, para satisfacer los requerimientos específicos para sus diversas aplicaciones.

---

<sup>56</sup>BLANCO VARGAS, Rafael. Poliestireno. Primera obra de recopilación del Instituto Mexicano del Plástico Industrial. México: IMPI. p. 197

Los modificadores del producto tales como aditivos retardantes a la flama, inhibidores de radiación ultravioleta (UV), agentes antiestáticos, agentes de espumado químico, extensores y reforzadores se agregan cuando se lleva a cabo la polimerización, al hacer el mezclado por extrusión o durante el procesamiento final. Por lo general, el mejoramiento de una propiedad en el poliestireno se hace a expensas de otra<sup>57</sup>.

“La anexión de aditivos retardantes a la flama, algunas veces trae consigo una disminución en la estabilidad a la radiación ultravioleta y un ligero incremento en la densidad. También dentro de las especialidades se presenta otro grado posible del material, que corresponde al poliestireno pesado, el cual se usa para la producción de bolas de billar. Otro producto es el poliestireno de alta densidad, empleado en muchos casos para sustituir partes metálicas<sup>58</sup>.”

Figura 8. **Reciclaje del Poliestireno**



Fuente: <http://www.ecoplast.com.gt/producto-en-existencia/>

Consulta: 24 de octubre de 2015.

---

<sup>57</sup>BLANCO VARGAS, Rafael. Poliestireno. Primera obra de recopilación del Instituto Mexicano del Plástico Industrial. México: IMPI. p. 197

<sup>58</sup> Ibid.

### **3. CONCRETO MODIFICADO CON FIBRAS SINTÉTICAS**

#### **3.1. Definición**

La necesidad de desarrollar nuevos métodos para mejorar la mezcla de concreto inducido la inclusión de nuevos materiales para mejorar sus propiedades mecánicas. Por ello, se propone el concreto modificado, que rompe con la mezcla tradicional de cemento, agregado fino, agregado grueso y agua.

El concreto modificado genera beneficios ecológicos, económicos, estéticos y modifica sus propiedades mecánicas y físicas.

#### **3.2. Fibras sintéticas utilizadas en las mezclas de concreto**

Las fibras sintéticas diseñadas específicamente para el concreto se fabrican a partir de materiales sintéticos que pueden resistir el medio alcalino del concreto a largo plazo. Las fibras sintéticas son añadidas al concreto antes del mezclado o después de él. El uso de las fibras sintéticas en proporciones recomendadas por los proveedores no requiere de ningún cambio en el diseño de la mezcla.

Las fibras sintéticas benefician al concreto tanto en estado plástico como endurecido. Algunos de los beneficios incluyen:

- Reducción de la fisuración por asentamiento (revenimiento)
- Reducción de la fisuración por contracción plástica
- Disminución de la permeabilidad
- Incremento en la resistencia a la abrasión y al impacto
- Aporte en la resistencia a la fractura

Los cambios de volumen del concreto a edad temprana causan la formación de planos de debilitamiento y fisuras debido a las tensiones existentes que exceden la resistencia del concreto en un momento específico. El crecimiento de estas fisuras por contracción se previene mediante el bloqueo mecánico de las fibras sintéticas. El sistema de soporte interno de las fibras sintéticas impide la formación de grietas por asentamiento plástico.

La distribución uniforme de las fibras por medio del concreto impide la formación de grandes capilares causados por el movimiento del agua de exudación (sangrado) hacia la superficie. Las fibras sintéticas reducen la permeabilidad mediante la combinación de la reducción de fisuras plásticas y la disminución de la capilaridad por la exudación.

El beneficio del uso de fibras sintéticas en el concreto a edad temprana, continúa con el concreto endurecido. Los atributos del concreto endurecido aportados por las fibras sintéticas son una reducción de la permeabilidad y una mayor resistencia a la fractura, la abrasión y las fuerzas de impacto.

La capacidad para resistir las fuerzas que ocasionan fragmentación o rotura del concreto se mejora notablemente mediante el uso de fibras sintéticas. Cuando el concreto sin fibras es sometido a la compresión, se fracturará y fallará con la aparición de la primera grieta.

Las fibras sintéticas fabricadas específicamente para el concreto impiden el efecto ocasionado por las fuerzas de rotura, manteniéndolo fuertemente unido.

Debido a que la cantidad de agua de exudación varía menos cuando se usan fibras sintéticas, la relación agua/cemento en la superficie es más constante y, por lo tanto, se obtiene una mayor resistencia a la abrasión. A esta mejoría contribuye igualmente el hecho de que las fibras sintéticas soportan el asentamiento interno, lo que contribuye a mantener uniforme la exudación (sangrado).

Las fibras sintéticas reducen la fisuración plástica del concreto. Esto mejora su resistencia al impacto. El módulo de elasticidad relativamente bajo de las fibras sintéticas aporta la capacidad de absorción de choques o impactos. Las fibras sintéticas ayudan al concreto a desarrollar su integridad óptima a largo plazo mediante la reducción, tanto del asentamiento plástico como de la formación de fisuras por contracción, disminuyen la permeabilidad e incrementan la resistencia a la abrasión, la rotura y las fuerzas de impacto. Las fibras sintéticas son compatibles con todos los aditivos, los vapores de sílice y la química de los cementos.

Las fibras sintéticas utilizadas en el concreto son *nylon*, polipropileno, polietileno y poliéster, las cuales se describen a continuación:

### 3.2.1. Nylon

“El *nylon* es un nombre genérico que identifica una familia de polímeros caracterizado por la presencia de un grupo funcional de amida (compuesto orgánico). Existen varios tipos de fibras de *nylon* en el mercado para su uso en prendas de vestir, artículos para el hogar, industrial y aplicaciones textiles”<sup>59</sup>.

“Las propiedades de una fibra de *nylon* son impartidas por el tipo de base de polímero (peso molecular, monómero residual, etc.), la adición de diferentes niveles de aditivos (estabilizadores de luz, calor, deslustrantes, etc.), condiciones de fabricación (hilado, dibujado, texturizado, etc.), y dimensiones de las fibras (forma y área de sección transversal, longitud de la fibra, etc.)”<sup>60</sup>.

“Las fibras de *nylon* se hilaron a partir de los polímeros de *nylon*. El polímero es transformado por extrusión, estiramiento y calentamiento para formar una estructura cristalina, con fibras orientadas. Además de los hilos convencionales producidos por el dibujo, las propiedades de la fibra de *nylon* estándar pueden ser mejoradas por los tratamientos especiales que incluyen sobre el acabado, calefacción, texturizado, etc. Las fibras de *nylon* están disponibles como hilos multifilamento, monofilamentos y grapa. En aplicaciones en concreto, de alta tenacidad (alta resistencia a tensión) y estables a altas temperaturas y a la luz y, posteriormente, se cortan en pequeñas longitudes”<sup>61</sup>.

“Las fibras de *nylon* presentan una buena tenacidad, dureza, y excelente recuperación elástica. El *nylon* es muy estable al calor y es utilizado fácilmente en aplicaciones comerciales que requieren esta propiedad tales como los

---

<sup>59</sup> ACI COMMITTEE. Fiber Reinforced Concrete. p. 41

<sup>60</sup> Ibid.

<sup>61</sup> Ibid.

neumáticos.

La recuperación de la humedad no afecta a la hidratación del concreto o trabajabilidad, el *nylon* es un material relativamente inerte, resistente a una amplia variedad de materiales orgánicos e inorgánicos incluyendo bases fuertes”<sup>62</sup>.

### 3.2.2. Polipropileno

“Las fibras en monofilamento se producen en un proceso de extrusión en el que el material se extrae caliente a través de un troquel de sección transversal circular. Las fibras de polipropileno fibrilado son el producto de un proceso de extrusión en el que la matriz es rectangular. La resultante de las hojas de la película de polipropileno se corta longitudinalmente en iguales tamaños de anchura”<sup>63</sup>.

“Para lograr un patrón de celosía, la cinta es fibrilada con una rueda con pin o una técnica de película dividida para producir las principales y transversales redes de fibrillas. En algunos casos, la cinta fibrilada se retuerce antes del corte para mejorar la apertura del hilo, las fibras producidas de esta forma se denominan cotejadas, el polipropileno fibrilado se corta en longitudes deseadas”<sup>64</sup>.

“El polipropileno no absorbe agua, se produce por interacción mecánica a partir del homopolímero de resina. El punto de fusión y el módulo elástico, que son bajos con respecto a muchos otros tipos de fibras, puede tener limitaciones

---

<sup>62</sup>ACI COMMITTEE. Fiber Reinforced Concrete. p. 42

<sup>63</sup> Ibid

<sup>64</sup> Ibid.

en ciertos procesos tales como el tratamiento en autoclave. Sin embargo, los fabricantes de concreto utilizan fibras de polipropileno para mejorar la resistencia inicial y para que no pierda resistencia a altas temperaturas, proporcionando un sistema de “canales de alivio” para su uso en el control de los cambios térmicos y de humedad”<sup>65</sup>.

### **3.2.3. Polietileno**

“El polietileno se ha producido para su uso como refuerzo en el concreto en forma de monofilamento con superficie verrugosa a lo largo de la longitud de la fibra. Estas deformaciones están destinadas a mejorar la unión mecánica en la pasta de cemento y mortero. Se ha informado de que las fibras de polietileno pueden ser fácilmente dispersas en las mezclas de concreto en porcentajes en volumen de hasta 4,0% utilizando técnicas de mezcla convencionales. El polietileno en forma de pasta también se ha aplicado en mezclas de concreto”<sup>66</sup>.

### **3.2.4. Poliéster**

“Las fibras de poliéster son disponibles sólo en forma de monofilamento. Las fibras de poliéster disponibles para el concreto pertenecen a la industria de subgrupos de poliéster termoplástico. Este tipo de poliéster exhibe características físicas y químicas que dependen de las técnicas de fabricación”<sup>67</sup>.

“Una de las varias técnicas que implica la producción de gránulos altamente cristalinos, que se convierten a los filamentos en el proceso una

---

<sup>65</sup>ACI COMMITTEE. Fiber Reinforced Concrete. p. 42

<sup>66</sup> Ibid.

<sup>67</sup> Ibid.

extracción de masa fundida y posteriormente estirada aproximadamente 400 % antes de cortar a la longitud deseada.

Todos los termoplásticos son sensibles a la temperatura. A temperaturas por encima de las temperaturas de servicio de concreto normal, las características de la fibra se alteran”<sup>68</sup>.

“Las temperaturas superiores a los 280 °C causan la descomposición molecular. Las fibras de poliéster son hidrofóbicas (no absorben agua) y se ha demostrado que no afecta en la hidratación del concreto. No hay consenso en la durabilidad a largo plazo de las fibras de poliéster en el concreto de cemento portland”<sup>69</sup>.

---

<sup>68</sup>ACI COMMITTEE. Fiber Reinforced Concrete. p. 41

<sup>69</sup>Ibid.

Tabla I. Tipo de fibras y sus propiedades

**Table 4.1— Selected synthetic fiber types and properties\***

Fiber type	Equivalent diameter, in. x 10 <sup>-3</sup>	Specific gravity	Tensile strength, ksi	Elastic modulus, ksi	Ultimate elongation, percent	Ignition temperature, degrees F	Melt, oxidation, or decomposition temperature, degrees F	Water absorption per ASTM D 570, percent by weight
Acrylic	0.5-4.1	1.16-1.18	39-145	2000-2800	7.5-50.0	—	430-455	1.0-2.5
Aramid I	0.47	1.44	425	9000	4.4	high	900	4.3
Aramid II <sup>†</sup>	0.40	1.44	340	17,000	2.5	high	900	1.2
Carbon, PAN HM <sup>†</sup>	0.30	1.6-1.7	360-440	55,100	0.5-0.7	high	752	nil
Carbon, PAN HT <sup>§</sup>	0.35	1.6-1.7	500-580	33,400	1.0-1.5	high	752	nil
Carbon, pitch GP**	0.39-0.51	1.6-1.7	70-115	4000-5000	2.0-2.4	high	752	3-7
Carbon, pitch HP <sup>††</sup>	0.35-0.70	1.80-2.15	220-450	22,000-70,000	0.5-1.1	high	932	nil
Nylon <sup>††</sup>	0.90	1.14	140	750	20	—	392-430	2.8-5.0
Polyester	0.78	1.34-1.39	33-160	2500	12-150	1100	495	0.4
Polyethylene <sup>††</sup>	1.0-40.0	0.92-0.96	11-85	725	3-80	—	273	nil
Polypropylene <sup>††</sup>	—	0.90-0.91	20-100	500-700	15	1100	330	nil

\*Not all fiber types are currently used for commercial production of FRC.  
<sup>†</sup>High modulus.  
<sup>††</sup>Polyacrylonitrile based, high modulus.  
<sup>§</sup>Polyacrylonitrile based, high tensile strength.  
<sup>\*\*</sup>Isotropic pitch based, general purpose.  
<sup>††</sup>Mesophase pitch based, high performance.  
<sup>†††</sup>Data listed is only for fibers commercially available for FRC.  
 Metric equivalents: 1 in. = 25.4 mm; 1 ksi = 6.895 MPa; (degrees F. - 32)/1.8 = degrees C.

Fuente: ACI 544.1R-96. Propiedades mecánicas y químicas de fibras sintéticas y propiedades mecánicas del concreto con fibras sintéticas.

### **3.3. Fibra a utilizar en el concreto**

#### **3.3.1. Polipropileno**

“La fibra está compuesta por una mezcla de monofilamentos reticulados y enrollados y polímeros sintéticos que anulan la tendencia a reducir la trabajabilidad y el asentamiento del concreto, su distribución puede ser aleatoria dentro de la masa de concreto o mortero”<sup>70</sup>.

“La fibra de polipropileno usada aporta a la reducción de la fisuración por retracción e impide su propagación, no modifica la trabajabilidad ni el asentamiento de la mezcla de concreto, mejora la resistencia al impacto reduciendo la fragilidad. En menor cantidad mejora la resistencia a la tracción y a la compresión, la fibra no afecta el proceso de hidratación del cemento”<sup>71</sup>.

### **3.4. Material sintético a utilizar experimentalmente en el concreto**

#### **3.4.1. Polipropileno reciclado**

En Guatemala, existe variedad de empresas que se dedican a la recolección, triturado y peletizado de plásticos. Ofrecen estos servicios para ayudar a reducir la contaminación que se acumula en las calles de la ciudad y en el basurero de la zona 3 capitalina.

---

<sup>70</sup> SIKA. Fibra de polipropileno para el refuerzo de concreto y mortero Sikafiber AD.

<sup>71</sup> Ibid.

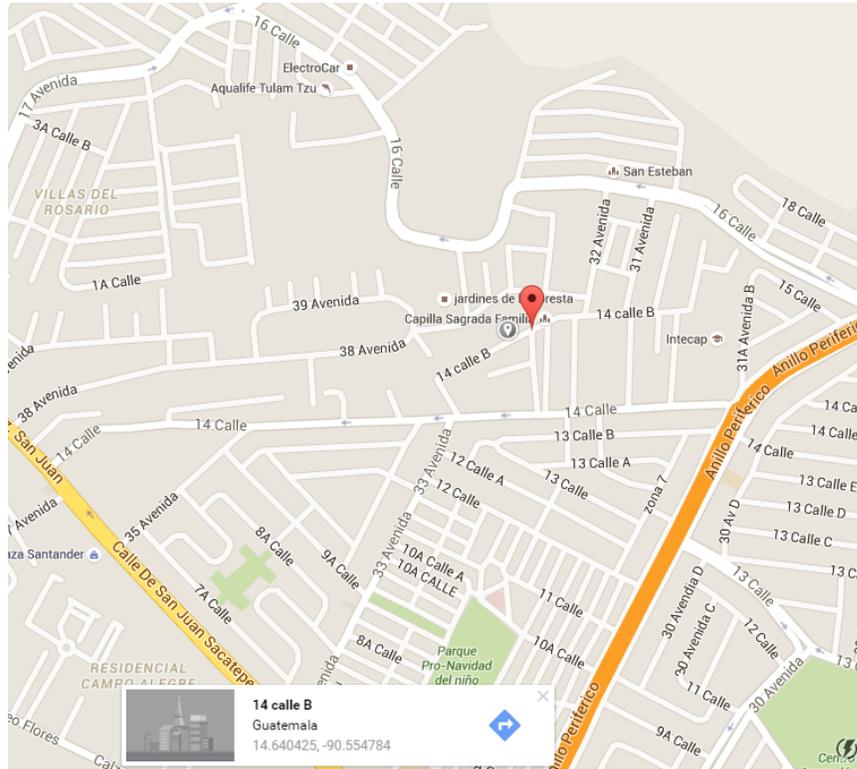
Figura 9. **Polipropileno reciclado (peletizado)**



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

El material que se utilizará, experimentalmente, se obtuvo en la empresa Reproplast, S.A., ubicada en la 14 Calle “B” 32-44 Colonia San Martín zona 7, ciudad de Guatemala. Dicha empresa ofrece servicios de molienda y peletizado de plásticos. Para ello, recolecta y compra todo tipo de plásticos, cuya función para la que fueron diseñados, ya se cumplió. A la empresa se puede ingresar por la calzada San Juan, hacia la 33 avenida y 14 calle o por el carril auxiliar del anillo periférico en la 31 avenida y 14 calle de la zona 7.

Figura 10. Localización de la empresa Reproplast, S.A.



Fuente: Google Maps. Elaboración propia

Consulta: 20 de abril de 2016.

La empresa compra plásticos reciclados y los recolecta por medio de camiones. Es gran cantidad de materia prima usada por los consumidores proviene de diferentes puntos de la ciudad y del relleno sanitario de la zona 3 capitalina. Una vez han recolectado una cantidad considerable de plástico, lo trasladan al lugar de almacenaje donde, posteriormente, los clasifican.

Figura 11. **Lugar de almacenaje de los plásticos reciclados**



Fuente: Empresa Reproplast, S.A.

Los polímeros sintéticos se clasifican por su estructura química. A continuación, pasan por un proceso manufacturado (peletizado) que consiste en cortar o triturar la materia prima que, luego, pasa a los rodillos donde se le da la forma de hilos. Posteriormente, pasa por un tanque de agua para enfriarlo y disminuir la temperatura. Finalmente, vuelve a pasar por otro rodillo donde corta los hilos para su estado final de peletizado.

Figura 12. **Máquina peletizadora**



Fuente: <http://www.reproplast.net/productos-reciclados.html>

Consulta: 20 de abril de 2016.



## **4. DESARROLLO EXPERIMENTAL**

### **4.1. Normas y ensayos aplicados al diseño de mezcla**

Las normas utilizadas en este trabajo fueron desarrolladas por una organización llamada *American Society for Testing Materials* (ASTM). Dichas normas también llevan esas siglas y fueron pensadas para obtener estrictos estándares de calidad de los materiales de construcción.

Se utilizará la Norma Técnica Guatemalteca semejante a las normas internacionales ASTM para el desarrollo de los ensayos del concreto modificado que interesan en dicho trabajo. Estas normas tienen los procedimientos a seguir para el control de calidad y se describen a continuación.

#### **4.1.1. Norma NTG- 41 007. Especificación estándar de agregados para concreto (ASTM C-33)**

Este ensayo es equivalente a la ASTM C-33, define la calidad de los agregados usados en el concreto. El agregado fino puede ser arena natural, arena manufacturada, o una combinación de ambas. El agregado grueso debe consistir en grava, grava triturada, piedra triturada, escoria de alto horno enfriada con aire, o concreto de cemento hidráulico triturado, o una combinación de ellos.

#### **4.1.1.1. Objeto**

- Esta especificación define los requisitos para la granulometría y la calidad de los agregados finos y grueso de densidad normal (distintos del agregado liviano o pesado) para ser utilizados en el concreto.
- Esta especificación es para ser utilizada por un fabricante de concreto, un contratista de la construcción u otro comprador, como parte de un documento de compra que describe el material que se suministra.
- Esta especificación también se utiliza en especificaciones de proyecto para definir la calidad del agregado, el tamaño nominal máximo del agregado, y otros requisitos de granulometría específicos. Los responsables de seleccionar la dosificación para la mezcla del concreto deben tener la responsabilidad de determinar la dosificación de agregado fino y grueso y adición de tamaños de agregados para combinar si así se requiere o aprueba.

#### **4.1.2. Norma NTG-41 052. Método de prueba estándar para asentamiento del concreto (ASTM C-143)**

Este ensayo se realiza con el propósito de determinar el asentamiento del concreto. Para ello, la muestra del concreto se coloca en un cono metálico que se llena a cada tercio de su volumen y se apisona. Luego se retira y se observa la consistencia del concreto, se mide la diferencia de altura con el cono metálico como referencia.

#### **4.1.2.1. Significación y utilización**

- Este método de ensayo tiene como finalidad proveer al usuario de un procedimiento para determinar el asentamiento de concretos plásticos hechos con base de cemento hidráulico.
- El método se considera aplicable al concreto plástico preparado con agregado grueso de hasta 37,50 mm (1 1/2 pulg) de tamaño. Si el tamaño de partícula del agregado grueso es mayor de 37,50 mm (1 1/2 pulg), el método de ensayo es aplicable en la fracción del concreto que pasa la malla de 37,50 mm (1 1/2 pulg), con la eliminación de los tamaños mayores, de acuerdo con la sección intitulada, "Procedimiento adicional para concreto con agregado de tamaño máximo grande de la Norma C 172".
- Este método de ensayo no se considera aplicable a los concretos no plásticos y no cohesivos.

#### **4.1.2.2. Procedimiento**

- Humedecer el molde y colocarlo en una superficie plana, rígida, no absorbente y húmeda. El molde se debe mantener firmemente en su lugar durante su llenado y limpieza de su perímetro, por el operador parado, sobre los estribos, o por un dispositivo de sujeción a una placa de base. Con la muestra de concreto obtenida, inmediatamente se llena el molde en tres capas, cada una de aproximadamente 1/3 del volumen del molde. El concreto se coloca en el molde utilizando un cucharón. Se mueve el cucharón alrededor del perímetro de la abertura del molde para asegurar una distribución pareja del concreto con una mínima segregación.

- Varillar cada capa 25 veces uniformemente en toda la sección transversal de cada capa. Para la capa del fondo es necesario inclinar la varilla ligeramente y dar aproximadamente la mitad de los golpes cerca del perímetro, continuando con golpes verticales en forma de espiral hacia el centro. Varillar la capa del fondo en todo su espesor. Consolidar la segunda capa y la capa superior (última capa) en todo su espesor, de tal manera que los golpes apenas penetren en la capa inferior en aproximadamente 25 mm (1 pulg).
- Al llenar y varillar la capa superior, hacer que el concreto exceda la capacidad del molde antes de empezar a varillar. Si durante el varillado, la superficie del concreto queda abajo del borde superior del molde, agregar más concreto para mantener en todo momento un exceso de concreto sobre la superficie del molde.
- Después de haber varillado la última capa, emparejar la superficie del concreto mediante el enrase y rodamiento de la varilla de apisonamiento. Continuar sosteniendo el molde firmemente hacia abajo y remover el concreto del área que rodea la base del molde para evitar la interferencia con el movimiento del concreto que se está descargando.
- De inmediato, retirar el molde, levantándolo cuidadosamente en dirección vertical. Levantar el molde a una altura de 300 mm (12 pulg) en  $5 \pm 2$  segundos, con un movimiento ascendente uniforme, sin movimientos laterales o de torsión. La prueba se debe realizar sin interrupción desde el inicio del llenado hasta la remoción del molde, en un período de 2 1/2 minutos.
- De inmediato medir el asentamiento, determinando la diferencia vertical entre la parte superior del molde y el centro original desplazado de la superficie superior del espécimen. Si ocurriera la caída evidente de una porción, el desplome o el desprendimiento de una parte de la masa de

concreto, desechar la prueba y hacer una nueva prueba con otra porción de la muestra.

#### **4.1.3. Norma NTG-41 053. Método de prueba estándar para la medición de la temperatura del concreto hidráulico recién mezclado (ASTM C-1 064)**

Este ensayo es equivalente a la ASTM C-1 064. Su objetivo es la medición de la temperatura del concreto hidráulico recién mezclado. Puede ser usado para verificar que el concreto satisfaga un requisito específico de temperatura.

##### **4.1.3.1. Procedimiento**

- Colocar el dispositivo medidor de temperatura, de modo que el sensor de temperatura esté sumergido al menos 75 mm (3 pulg) en el concreto recién mezclado. Presionar suavemente la superficie del concreto alrededor del dispositivo medidor de temperatura, para cerrar los vacíos provocados por la inmersión y para que la temperatura del aire circundante no afecte la medición.
- Dejar el dispositivo medidor de temperatura en la mezcla de concreto recién mezclado por un período mínimo de dos minutos, pero no más de cinco minutos; entonces leer y registrar la misma, con una aproximación de 0,50 ° C (1°F). No retirar del concreto el dispositivo, cuando se realice la lectura.

#### **4.1.4. Norma NTG-41017h7. Método de prueba estándar para el contenido de aire del concreto recién mezclado por el método de presión (ASTM C-231)**

Este ensayo es equivalente a la ASTM C-231. El objetivo es medir el contenido de aire en el concreto hidráulico recién mezclado, mediante la observación del cambio de volumen del concreto producido por un cambio en la presión.

##### **4.1.4.1. Significado y utilización**

- Este método de ensayo cubre la determinación del contenido de aire en el concreto hidráulico fresco recién mezclado. El ensayo tiene como fin determinar el contenido de aire en mezclas de concreto fresco, excluyendo cualquier aire que se encuentre dentro de los vacíos internos de las partículas de los agregados. Por esta razón, el ensayo es aplicable al concreto hecho con agregado de partículas relativamente densas y requiere la determinación del factor de corrección del agregado.
- Este método de ensayo y los métodos de ensayo C 138/C138 M y C 173/C173 M establecen los procedimientos para determinar el contenido de aire del concreto, por los métodos de presión, gravimétrico y volumétrico, respectivamente. El procedimiento de presión de este método, ofrece sustancialmente los mismos contenidos de aire que los otros dos métodos de ensayo para concretos hechos con agregados densos.
- Los contenidos de aire del concreto endurecido pueden ser mayores o menores que los determinados por este método de ensayo.

Esto depende de los métodos y la cantidad de energía de consolidación aplicados al concreto endurecido, del cual se toma el espécimen de ensayo de concreto endurecido. Depende, también, de la uniformidad y la estabilidad de las burbujas de aire en los concretos fresco y endurecido, la exactitud del examen microscópico, si se utilizó, el tiempo de comparación, la exposición al ambiente, sitio que ocupa en la entrega y los procesos de colocación y de consolidación en los cuales se determina el contenido de aire del concreto fresco; esto es, antes de que el concreto sea bombeado, o después; y otros factores.

#### **4.1.4.2. Procedimiento**

- Humedecer el interior del recipiente de medición y colocarlo en una superficie plana, nivelada y firme. Utilizando el cucharón, depositar el concreto en el recipiente de medición en el número de capas requerido por el método de consolidación. Mientras coloca el concreto en el recipiente, mueva el cucharón alrededor del perímetro de la abertura del recipiente para asegurar una distribución pareja del concreto con una segregación mínima.
- Consolidar cada capa por el procedimiento de varillado. Enrasar la capa final consolidada. Varillar los concretos con un asentamiento mayor de 75 mm (3 pulg). Varillar o vibrar los concretos con un asentamiento de 25 a 75 mm (1 a 3 pulg). Consolidar los concretos con un asentamiento menor de 25 mm (1 pulg) por vibración.
- Colocar el concreto en el recipiente de medición en tres capas de aproximadamente igual volumen. Varillar cada capa 25 veces, uniformemente, sobre la sección transversal, con el extremo redondeado de la varilla. Varillar la primera capa del fondo en todo su espesor. Al varillar esta capa se debe evitar causar daño al fondo del recipiente.

Para cada capa superior, la varilla debe penetrar a través de la capa que se está varillando y penetrar en la capa inferior, aproximadamente 25 mm (1 pulg).

- Después de que cada capa haya sido varillada, se golpean los lados del recipiente de medida, de 10 a 15 veces con el mazo para cerrar cualquier vacío dejado por la varilla de apisonar y para expulsar las burbujas grandes de aire que pudieran haber quedado atrapadas. Luego, se coloca la capa final de concreto de tal forma que se evite un sobrellenado excesivo.
- Después de concluir la consolidación del concreto, se enrasa la superficie superior deslizando la regla enrasadora, apoyada en el rebote o pestaña superior del recipiente de medición, con un movimiento de aserrado hasta que el recipiente este justo al nivel de llenado. Al terminar la consolidación, el recipiente no debe presentar un exceso o deficiencia de concreto. La remoción de 3 mm (1/8 de pulgada) durante el enrase se considera óptima. Cuando se emplee la placa de enrase, se debe aplicar el procedimiento descrito en el Método de ensayo C 138/C 138M.
- Limpiar totalmente las pestañas o bordes del recipiente y de la cubierta de ensamble, para que cuando esta se coloque en su lugar se cierre herméticamente a presión. A continuación se ensambla el aparato. Se cierra la válvula principal de aire dispuesta entre la cámara de aire y el recipiente de medición, y se abren ambas válvulas de paso situadas en la tapa. Se inyecta agua con una jeringa de látex, a través de una de las válvulas hasta que el agua misma surja en la válvula opuesta. Se sacude el medidor suavemente hasta que salga todo el aire por la misma llave de purga.
- Se cierra la válvula de purga de aire de la cámara de aire y se bombea aire en la cámara hasta que la aguja del medidor de presión esté en la

línea de presión inicial. Dejar pasar unos pocos segundos para que el aire comprimido se enfríe a temperatura normal. Estabilizar la aguja del medidor de presión en la línea de presión inicial, bombeando o expulsando aire, cuanto sea necesario, golpeando, además, ligeramente el medidor de presión con la mano. Cerrar ambas válvulas de paso colocadas en la cubierta. Abrir la válvula principal de aire entre la cámara de aire y el recipiente de medición.

- Golpear los lados del recipiente de medición ligeramente con el mazo para eliminar restricciones locales. Golpear ligeramente el medidor de presión con la mano para estabilizar la aguja del mismo. Leer el porcentaje de aire de la carátula del indicador de presión. Si la válvula principal del aire no se cierra antes de liberar la presión del recipiente y de la cámara de aire, el agua se introducirá en la cámara de aire y provocará un error en las mediciones subsiguientes.
- Si el agua se introduce en la cámara de aire, debe sangrarse a través de la válvula de purga, y luego efectuar varias operaciones de la bomba para eliminar los últimos rastros de agua. Liberar la presión abriendo ambas llaves de paso antes de quitar la tapa.

#### **4.1.5. Norma NTG- 41017h5. Método de prueba estándar para determinar el peso unitario del concreto (ASTM C-138)**

Este ensayo es equivalente a la ASTM C-138. El objetivo es la determinación de la densidad aparente (masa unitaria) rendimiento (volumen de concreto producido) y contenido de aire (gravimétrico) del concreto. Este método cubre la determinación de la densidad aparente de concreto recién mezclado y proporciona fórmulas para calcular el rendimiento de concreto, el contenido de cemento y el contenido de aire del concreto.

El rendimiento se define como el volumen del concreto producido con una mezcla de cantidades conocidas de los materiales que la componen.

#### 4.1.5.1. Procedimiento

- Hacer la selección del método de consolidación basado en el ensayo de asentamiento, a menos que las especificaciones del trabajo establezcan un método específico. Los métodos de consolidación son el apisonamiento con varilla y la vibración interna. Apisonar concretos con asentamientos mayores de 75 mm (3 pulg). Apisonar o vibrar concretos con asentamiento de 25 mm a 75 mm (1 pulg a 3 pulg). Consolidar con vibración los concretos con asentamientos menores a 25 mm (1 pulg).
- Colocar el concreto en el recipiente de medida utilizando el cucharón. Mover el cucharón alrededor del perímetro de la abertura del recipiente de medida, para asegurar una distribución pareja del concreto con una mínima segregación. Llenar el recipiente de medida en el número de capas requeridas por el método de consolidación.
- Colocar el concreto en el recipiente en tres capas de aproximadamente el mismo volumen de una. Varillar cada capa con 25 golpes de varilla si usa recipientes de volumen nominal de 28 L (1 *pie*<sup>3</sup>) y un golpe por cada 20 *cm*<sup>2</sup> (3 *pulg*<sup>2</sup>) de superficie en recipiente de mayor tamaño. Varillar cada capa uniformemente sobre toda la sección transversal, con el extremo redondeado de la varilla utilizando el número requerido de golpes. Varillar la capa interior en todo su espesor. Al varillar esta capa debe tenerse cuidado de no dañar el fondo del recipiente. Para cada capa superior, la varilla debe penetrar a través de la capa que se esté varillando y en la capa inferior, aproximadamente 25 mm (1 pulg).
- Después de varillar cada capa, golpee suavemente los lados del recipiente con el mazo apropiado usando la fuerza requerida para cerrar

las oquedades o vacíos dejados por la varilla apisonadora y liberar las burbujas grandes de aire que hayan sido atrapadas. Añadir la última capa evitando sobrellenar el recipiente.

- Al completar la consolidación del concreto, el recipiente de medida no debe contener un exceso o carencia sustancial de concreto. Un exceso de concreto de aproximadamente 3 mm (1/8 de pulg) por encima del tope del recipiente es lo óptimo. Se puede agregar una cantidad pequeña de concreto si es necesario corregir alguna deficiencia. Si el recipiente contiene un excedente grande de concreto después de la consolidación, se elimina lo necesario con una cuchara de albañil o cucharón, inmediatamente después de terminar la consolidación y antes de enrasar el recipiente.
- Después de la consolidación se remueve el exceso de concreto de la superficie superior y se da un acabado suave con la placa plana de enrasado, cuidando de que el recipiente quede adecuadamente lleno y nivelado. El enrasado se logra mejor presionando la placa de enrasado sobre la superficie superior del recipiente cubriendo, aproximadamente, dos tercias partes de esta y retirando la placa con un movimiento a manera de aserrado sobre el área cubierta.
- Luego colocar la placa en la parte superior del recipiente cubriendo los dos tercios originales de la superficie y avanzarla con una presión vertical y movimiento de aserrado sobre toda la superficie y continuar empujándola hasta que se deslice completamente fuera del recipiente. Varias pasadas con el borde de la placa inclinada producirán una superficie de acabado liso.

#### **4.1.6. Norma NTG-41 060. Práctica estándar para preparación y curado de especímenes de ensayo de concreto en laboratorio (ASTM C-192)**

Este ensayo es equivalente a la norma ASTM C-192. Esta práctica se refiere a los procedimientos para preparar y curar especímenes de concreto para ensayo en el laboratorio bajo un control preciso de materiales y condiciones de ensayo, usando concreto que pueda ser consolidado por varillado o vibración.

##### **4.1.6.1. Procedimiento**

- Antes de iniciar la rotación de la mezcladora, se adiciona el agregado grueso y parte del agua de mezclado, cuando se requiere. Se enciende la mezcladora, y luego se adiciona el agregado fino, cemento y agua con la mezcladora funcionando, si no es práctico para una mezcladora particular o para un ensayo particular, adicionar el agregado fino, cemento y agua mientras la mezcladora está funcionando, esos componentes pueden ser agregados con la mezcladora parada luego permitir a la misma que gire pocas revoluciones luego de la carga del agregado grueso y parte del agua. A continuación se mezcla el concreto durante 3 minutos.
- Se mide el asentamiento de cada batchada de concreto inmediatamente después de mezclarlo, de acuerdo con el método de ensayo de la Norma ASTM C-143/C 143M.
- Se determina el contenido de aire, cuando sea requerido, de acuerdo con los métodos de ensayo de la Norma ASTM C-173 o C231. El método de ensayo de la Norma ASTM C-231 no debería ser usado

con concretos hechos con agregados livianos, escoria de alto horno enfriada al aire o agregados con alta porosidad. Se debe descartar el concreto usado para la determinación del contenido de aire.

- Se determina la temperatura de cada batchada de concreto de acuerdo con el método de ensayo de la Norma ASTM C-1 064.
- Se moldean los especímenes tan cerca como sea posible del lugar donde van a ser almacenados, durante las primeras 24 horas. Si no es posible moldear los especímenes donde serán almacenados, se llevan al lugar de almacenamiento, inmediatamente después de ser desmoldados. Los moldes se colocan sobre una superficie rígida libre de vibraciones y otras perturbaciones. Evite sacudidas, golpes, inclinaciones o rayado de la superficie de los especímenes cuando son movidos al lugar de almacenamiento.
- Colocar el concreto en los moldes usando un cucharón, una cuchara de albañil despuntada o una pala. Se selecciona cada toma de concreto de la batea de mezclado, para asegurar que sea representativa de la batchada. Puede ser necesario volver a mezclar el concreto en la batea de mezclado con una pala o cuchara de albañil para prevenir la segregación durante el moldeo de los especímenes. El cucharón o cuchara de albañil se debe mover alrededor del borde superior del molde, conforme el concreto es descargado para asegurar una distribución simétrica del concreto y minimizar la segregación del agregado grueso dentro del molde.
- Adicionalmente, se distribuye el concreto usando una varilla compactadora antes de iniciar la consolidación. En la colocación de la capa final, el operador debe intentar agregar una cantidad de concreto que llene exactamente el molde, luego de su compactación.
- Colocar el concreto en el molde, en 3 capas requeridas de aproximadamente igual volumen. Se varilla 25 veces cada capa con el

extremo redondeado de la varilla de manera uniforme. La capa del fondo se varilla completamente en su profundidad. Distribuya los golpes uniformemente sobre la sección transversal del molde y para cada capa superior, permitiendo a la varilla penetrar a través de la capa que está siendo varillada y en la capa inmediatamente inferior, aproximadamente, 1 pulgada.

- Luego de que cada capa haya sido varillada, se golpea ligeramente el exterior del molde 10 a 15 veces con el mazo de hule para llenar los vacíos dejados por el varillado y para liberar cualquier burbuja grande de aire que pueda estar atrapada. Se usa una mano abierta para golpear ligeramente los moldes de uso único que sean susceptibles de ser dañados si son golpeados con el mazo de hule, luego del golpeado, se empareja el concreto a lo largo de los lados y extremos de vigas o moldes prismáticos con una cuchara de albañil u otra herramienta adecuada.
- Luego de la consolidación por cualquiera de los métodos, se enrasa la superficie del concreto y se acaba con la varilla de acuerdo con el método correspondiente. Si el acabado no se especifica, acabe la superficie con una llana de madera o magnesio. Realice todo el acabado con la mínima manipulación necesaria para producir una superficie plana y lisa, nivelada con el borde o contorno del molde y que no tenga depresiones o proyecciones mayores que 1/8 pulgada.
- Retirar los especímenes de los moldes  $24 \pm 8$  horas después de moldeados, para concreto con tiempo de fraguado prolongado. Los moldes no deben ser retirados hasta  $20 \pm 4$  horas después del fraguado final. Si es necesario, se determinan los tiempos de fraguado de acuerdo con el método de ensayo de la Norma ASTM C-403/C 403M.
- Todos los especímenes deben ser curados en húmedo a  $23 \pm 2$  ° C desde el tiempo del moldeo hasta el momento del ensayo. El

almacenamiento, durante las primeras 48 horas de curado, debe ser en un ambiente libre de ciclos. Como se aplica al tratamiento de los especímenes desmoldados, el curado húmedo significa que los especímenes de ensayo deben mantener agua libre sobre su superficie completa en todo momento. Esta condición se cumple usando tanques de agua de almacenamiento o un cuarto húmedo de acuerdo con los requisitos de la especificación de la Norma ASTM C-511. Se curan los cilindros de concreto liviano estructural de acuerdo con la especificación de la Norma ASTM C-330.

- Los especímenes de ensayo para resistencia a la flexión, deben estar sumergidos en agua saturada con hidróxido de calcio por un período mínimo de 20 horas, inmediatamente antes de su ensayo. Al final del período de curado, entre el tiempo que el espécimen es retirado del curado y hasta que el ensayo sea completado, debe evitarse el secado de las superficies de los especímenes.

#### **4.1.7. Norma NTG-41017h12. Método de prueba estándar para el tiempo de fraguado de mezclas de concreto por resistencia a la penetración (ASTM C-403)**

Este ensayo es equivalente a la norma ASTM C-403. Este método de ensayo aborda la determinación del tiempo de fraguado del concreto con un asentamiento mayor de cero, por medio de mediciones de resistencia a la penetración de mortero tamizado de la mezcla de concreto. Es adecuado para ser usado solo cuando los ensayos de la fracción de mortero puedan proveer la información requerida. Este método también es aplicable para uso con morteros y *grout* preparados. Es aplicable tanto para uso bajo condiciones controladas de laboratorio como en condiciones de la obra.

#### **4.1.7.1. Significación y uso**

Dado que el fraguado del concreto es un proceso gradual, cualquier definición de tiempo de fraguado es necesariamente arbitraria. En este método de ensayo, se usan los tiempos requeridos para alcanzar valores especificados de resistencia a la penetración, como tiempos de fraguado. Este método puede ser usado para determinar efectos de variables, como el contenido de agua; marca, tipo y cantidad de material cementante; o de aditivos; sobre el tiempo de fraguado del concreto. Este método de ensayo también puede ser usado para determinar el cumplimiento con los requisitos de tiempo de fraguado especificados.

Este método de ensayo también puede ser aplicado a morteros y *grout* preparados. Sin embargo, cuando se requiere del tiempo de fraguado del concreto, el ensayo debe ser efectuado en el mortero tamizado de la mezcla de concreto y no sobre una muestra de mortero preparado para simular la fracción de mortero del concreto. Se ha comprobado que los tiempos de fraguado inicial y final pueden incrementarse cuando se usa un mortero preparado.

#### **4.1.7.2. Procedimiento**

- Justo antes de ejecutar el ensayo de penetración, se remueve el agua de exudación de la superficie de los especímenes de mortero por medio de una pipeta u otro instrumento adecuado. Para facilitar la recolección del agua de exudación se inclina el espécimen a un ángulo de 10° de la horizontal, colocando un bloque bajo uno de los extremos unos 2 minutos antes de la remoción del agua.
- Se inserta en el aparato de resistencia a la penetración, una aguja de penetración de tamaño apropiado dependiendo del grado de

endurecimiento (fraguado) del mortero, y se lleva la superficie de apoyo de la aguja en contacto con la superficie del mortero. Luego, se aplica gradualmente y uniformemente una fuerza hacia abajo en el aparato hasta que la aguja penetra el mortero hasta una profundidad de  $25 \pm 2$  mm ( $1 \pm 1/16$  pulg), como se indica por la marca en la aguja. El tiempo requerido para penetrar la profundidad de 25 mm (1 pulg) debe ser de  $10 \pm 2$  s.

- Se registra la fuerza requerida para producir la penetración de 25 mm (1 pulg), y el tiempo de aplicación, medido como el tiempo transcurrido después del contacto inicial del cemento con el agua. Se calcula la resistencia a la penetración, dividiendo la fuerza aplicada, dentro del área de apoyo de la aguja, y se registra la misma como resistencia a la penetración. En los subsiguientes ensayos de penetración debe tenerse el cuidado de evitar áreas donde el mortero haya sido alterado por ensayos previos.
- La distancia libre entre las impresiones de la aguja, debe ser de dos diámetros de la aguja que se esté usando, pero no menor de 15 mm ( $1/2$  pulg). La distancia libre entre cada impresión de la aguja y el lado del contenedor debe ser de, por lo menos, 25 mm (1 pulg) pero no mayor que 50 mm (2 pulg).
- Para mezclas convencionales de concreto en el laboratorio a temperaturas de 20 a 25°C, se hace el ensayo inicial de penetración después de transcurrido un tiempo de 3 a 4 horas después del contacto inicial entre el cemento y el agua. Los ensayos subsiguientes se hacen a intervalos de  $1/2$  a 1 hora. Para mezclas de concreto que contengan acelerantes o a temperaturas más altas que las del laboratorio, se recomienda hacer el ensayo inicial a intervalos de  $1/2$  a 1 hora, y los ensayos subsiguientes a intervalos  $1/2$  hora.

- Para mezclas de concreto con retardantes o temperaturas más bajas que las del laboratorio, el ensayo inicial puede ser diferido hasta después de transcurrido un tiempo de 4 a 6 horas. En todos los casos los intervalos de tiempo entre los ensayos subsiguientes pueden ajustarse conforme se requiera dependiendo de la velocidad de fraguado, hasta obtener el número requerido de penetraciones.
- Se deben hacer por lo menos seis penetraciones para cada ensayo de tiempo de fraguado, con intervalos de tiempo de tal duración que produzca una curva satisfactoria de resistencia a la penetración en función del tiempo transcurrido. Luego, se continua el ensayo hasta obtener por lo menos una lectura de resistencia a la penetración que iguale o exceda de 27,60 MPa (4 000 psi).

#### **4.1.8. Norma NTG-41017h1. Método de prueba estándar para la resistencia a la compresión de especímenes cilíndricos de concreto**

Este ensayo es equivalente a la Norma ASTM C-39/C39. Este método de ensayo cubre la determinación de la resistencia a compresión de especímenes cilíndricos de concreto, como cilindros moldeados y núcleos perforados. Se encuentra limitado al concreto que tiene una masa unitaria mayor que  $800 \text{ kg/m}^3$  ( $50 \text{ lb/pe}^3$ ).

##### **4.1.8.1. Importancia y uso**

La interpretación del significado de las determinaciones de resistencia a la compresión por este método de ensayo debe hacerse con cuidado, dado que la resistencia no es una propiedad fundamental o intrínseca del concreto hecho de materiales dados. Los valores obtenidos dependerán del tamaño y la forma

del espécimen, la dosificación, procedimientos de mezclado, los métodos de muestreo, moldeo, fabricación y de la edad, temperatura, y las condiciones de humedad durante el curado.

Los resultados de este método de ensayo son usados como base para el control de calidad de las operaciones de dosificación, mezclado, y colocación del concreto; determinación del cumplimiento de las especificaciones; control para la evaluación de la efectividad de aditivos; y usos similares.

#### **4.1.8.2. Procedimiento**

- Los ensayos de compresión de especímenes curados en aire húmedo deben hacerse tan pronto como sea práctico después de sacarlos del almacenamiento húmedo.
- Los especímenes de ensayo deben ser mantenidos húmedos por cualquier método conveniente durante el período entre que se sacan del almacenamiento húmedo y el ensayo. Deben ser ensayados en condición húmeda.
- Todos los especímenes de ensayo para una edad de ensayo dada deben romperse dentro de las tolerancias de tiempo admisibles, prescritas como en la siguiente tabla:

Tabla II. **Edades de ensayo y tolerancias admisibles**

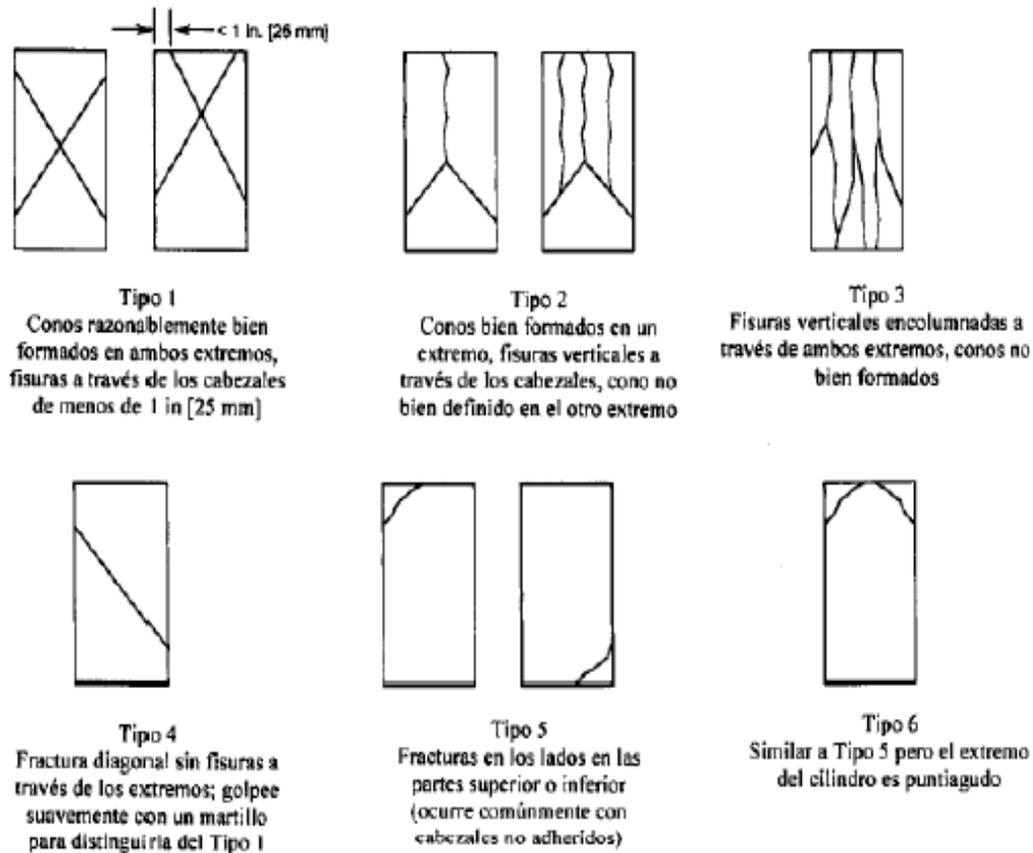
<b>Edad de ensayo</b>	<b>Tolerancia admisible</b>
24 horas	$\pm$ 0,50 horas o 2,10%
3 días	2 horas o 2,80%
7 días	6 horas o 3,60%
14 días	8 horas o 2,40%
28 días	20 horas o 3,0%
90 días	2 días o 2,20%

Fuente: Norma NTG-41017h1. Método de prueba Estándar para la resistencia a la compresión de Especímenes cilíndricos de concreto  
Consulta: 18 de enero de 2016.

- Colocación del espécimen. Coloque el bloque de apoyo plano (inferior), con su cara endurecida hacia arriba, sobre la mesa o platina de la máquina de ensayo, directamente debajo del bloque de apoyo de asiento esférico (superior). Limpiar las caras de apoyo de los bloques de apoyo superior e inferior y del espécimen de ensayo y colocar el espécimen de ensayo sobre el bloque de apoyo inferior. Alinear cuidadosamente el eje del espécimen con el centro de empuje del bloque de asiento esférico.
- Velocidad de carga. Aplicar la carga continuamente y sin impacto.
- Aplicar la carga de compresión hasta que el indicador de carga muestre que la carga está decreciendo progresivamente y el espécimen muestre un patrón de fractura bien definido (Tipos 1 a 4). Para una máquina de ensayo equipada con un detector de rotura de espécimen, está prohibido el apagado automático de la máquina de ensayo hasta que la carga haya caído a un valor que sea menor que el 95,0% de la carga pico. Cuando se ensaya con encabezados no adheridos, una fractura en la esquina, similar a los modelos Tipo 5 o 6, puede ocurrir antes que haya sido alcanzada la capacidad última del espécimen.

- Continuar comprimiendo el espécimen hasta que el usuario esté seguro de que se ha alcanzado la capacidad última. Registrar la carga máxima soportada por el espécimen durante el ensayo, y anotar el tipo de modelo de fractura de acuerdo a la figura. Si el modelo de fractura no es uno de los modelos típicos mostrados, se bosqueja y describe brevemente el modelo de fractura.
- Si la resistencia medida es menor de lo esperado, se debe examinar el concreto fracturado y anotar la presencia de vacíos grandes de aire, evidencia de segregación, si las fracturas pasan predominantemente alrededor o a través de las partículas de agregado grueso. Verificar si las preparaciones de los extremos fueron de acuerdo con la Práctica C 617 ó la Práctica C 1 231/C 1 231 M.

Figura 13. Esquema de los modelos de fractura típicos



Fuente: Norma ASTM C-39. Resistencia a la compresión de especímenes cilíndricos de concreto.

#### 4.1.9. Norma NTG-41017h2. Método de prueba estándar para la resistencia a la flexión del concreto utilizando una viga simplemente soportada con cargas a tercios de la luz (ASTM C-78)

Este ensayo es equivalente a la Norma ASTM C-78. Este método de ensayo cubre la determinación del esfuerzo de flexión del concreto utilizando una viga simplemente soportada con cargas en los tercios de la luz.

#### **4.1.9.1. Significado y uso**

Este método de ensayo se usa para determinar el esfuerzo de flexión de especímenes preparados y curados de acuerdo con el método de ensayo C 42/C 42M o las prácticas C31/C 31 M o C 192/C 192M. Los resultados se calculan e informan como el módulo de ruptura. El esfuerzo determinado puede variar si existen diferencias en el tamaño del espécimen, preparación, condición de humedad, curado o las condiciones donde la viga haya sido moldeada o aserrada al tamaño requerido.

Los resultados de este método pueden ser usados para determinar el cumplimiento de especificaciones o como una base para determinar el proporcionamiento de la mezcla y las operaciones de mezclado y colocación del concreto. Este ensayo se utiliza en la evaluación de concretos para la construcción de losas y pavimentos.

#### **4.1.9.2. Procedimiento**

- Los ensayos de flexión de los especímenes curados en húmedo deben ser realizados tan pronto como sea factible, después de ser removidos del almacenamiento húmedo. El secado de las superficies del espécimen puede producir una reducción en la medida del esfuerzo de flexión.
- Cuando se utilicen especímenes moldeados, se debe girar el espécimen de ensayo sobre su lado con respecto a su posición como fue moldeado y centrarlo en los bloques soporte. Cuando se utilice especímenes cortados. Colocarlos de tal manera que la cara de tensión corresponda a la parte superior o inferior del espécimen como fue cortado del material original. Centrar el sistema de carga con relación a la fuerza aplicada.

Poner los bloques de aplicación de carga en contacto con la superficie del espécimen en los tercios de la luz y aplicar una carga entre 3,0% y 6,0% de la última carga estimada.

- Usando medidores de espesor tipo hoja de 0,10 mm (0,004 pulg) y 0,38 mm (0,015 pulg), determinar si cualquier vacío entre el espécimen y el aplicador de carga o los bloques soporte es más grande o menor que cada medida de espesor sobre una longitud de 25 mm (1 pulg) o más. Esmerilar, encabezar o usar bandas de cuero sobre la superficie de contacto para eliminar cualquier vacío en exceso de 0,10 mm (0,004 pulg). Las cintas de cuero deben ser uniformes de 6,40 mm (1/4 pulg) de espesor, de 25 mm a 50 mm (1 pulg a 2 pulg) de ancho y deben extenderse a través del ancho total del espécimen.
- Los vacíos en exceso de 0,38 mm (0,015 pulg) deben ser eliminados únicamente por encabezado o esmerilado. El esmerilado de las superficies laterales debe ser minimizado considerando que éste puede cambiar las características físicas de los especímenes.
- Cargar el espécimen uniformemente y sin sacudidas. La carga debe ser aplicada a una velocidad constante hasta el punto de ruptura. Aplicar la carga a una velocidad que constantemente incremente el esfuerzo en la fibra extrema entre 0,86 MPa/min y 1,21 MPa/min (125 psi/min y 175 psi/min) hasta que la ruptura ocurra.

#### **4.1.10. Norma NTG-41017h15. Método de prueba estándar para la resistencia a tracción indirecta de especímenes cilíndricos de concreto (ASTM C-496)**

Este ensayo es equivalente a la Norma ASTM C-496. Este método de ensayo versa sobre la determinación de la resistencia a la tracción indirecta de

especímenes cilíndricos de concreto, tales como cilindros moldeados y núcleos perforados.

#### **4.1.10.1. Significado y utilización**

La resistencia a la tracción indirecta es, generalmente, mayor que la resistencia a la tracción directa y menor que la resistencia a la flexión (Módulo de ruptura). La resistencia a la tracción indirecta es utilizada en el diseño de elementos de concreto estructural liviano para evaluar la resistencia al cortante, provisto por el concreto y para determinar la longitud de desarrollo del esfuerzo.

#### **4.1.10.2. Procedimiento**

- Se determina el diámetro del espécimen de ensayo al 0,25 milímetros (0,01 pulg) más cercano, promediando los 3 diámetros medidos cerca de los extremos y en el medio del espécimen y en el plano que contiene las líneas marcadas sobre los 2 extremos. Se determina la longitud del espécimen a 2 milímetros (0,10 pulg) promediando al menos 2 mediciones de longitud tomadas en el plano que contiene las líneas marcadas sobre los 2 extremos.
- Aplicar la carga en forma continua y sin sacudidas, a una velocidad constante dentro del rango de un esfuerzo de tracción indirecta de 0,70 a 1,40 MPa/min (100 a 200 psi/min), hasta que la falla del espécimen registre la máxima carga aplicada por la máquina de ensayo, se anota el tipo de falla y la apariencia del concreto.

## 4.2. Resultados para el análisis completo para los agregados

### 4.2.1. Agregado fino

Tabla III. Resumen de resultados de agregado fino

Densidad relativa (sss)	2,41
Densidad (sss) ( $kg/m^3$ )	2 400
Masa unitaria, compactada ( $kg/m^3$ )	1 380
Masa unitaria, suelta ( $kg/m^3$ )	1 290
Porcentaje de Vacíos, compactado (%)	43,0
Porcentaje de vacíos, suelto (%)	46,0
Porcentaje de absorción (%)	1,70
Contenido de materia orgánica	2,0
Pasa Tamiz #200 (%)	3,60
Retenido tamiz 6,35 (%)	0,20
Módulo de finura	2,26

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

#### 4.2.1.1. Granulometría ASTM C-33

Tabla IV. Granulometría de agregado fino

Tamaño en Milímetros							
Tamiz No.	9,50	4,75	2,36	1,18	0,30	0,60	0,15
% que pasa	100,0	100,0	97,0	82,0	58,0	28,0	9,0

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

Según la norma NTG-41 007 equivalente a la norma ASTM C-33, el agregado fino cumple con los requisitos de calidad y está dentro de los límites de la tabla No. 1 de arena natural, el origen de la arena es caliza de procedencia desconocida.

#### 4.2.2. Agregado grueso

Tabla V. Resumen de resultados de agregado grueso

Densidad relativa (sss)	2,66
Densidad (sss) ( $kg/m^3$ )	2 650
Masa unitaria, compactada ( $kg/m^3$ )	1 530
Masa unitaria, suelta ( $kg/m^3$ )	1 470
Porcentaje de absorción (%)	1,60
Pasa tamiz #200 (%)	1,30
Porcentaje de vacíos, compactado (%)	42,0
Porcentaje de vacíos, suelto (%)	45,0
Módulo de finura	6,88
Retenido tamiz 6,35 (%)	98,90

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

#### 4.2.2.1. Granulometría ASTM C-33

Tabla VI. Granulometría de agregado grueso

Tamaño en Milímetros								
Tamiz No.	1 ½"	1"	¾"	1/2"	3/8"	No. 4	No. 8	No. 16
% que pasa	100,0	100,0	97,0	44,0	15,0	0,0	0,0	0,0

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

Según la norma NTG-41 007 equivalente a la norma ASTM C-33, el agregado grueso cumple con los requisitos de calidad y según los límites de la tabla No. 2 de dicha norma, el tamaño máximo nominal del agregado grueso es de ¾", el origen del agregado grueso es caliza de procedencia desconocida.

### 4.3. Resultados de fibra sintética

#### 4.3.1. Fibra de polipropileno ASTM C-1 116

Tabla VII. Datos técnicos de ficha técnica

Densidad real	0,91 Kg/L
Absorción de agua	Ninguna
Módulo de elasticidad	15 000 $kg/cm^2$
Alargamiento de rotura	20,0 – 30,0%
Resistencia a la tracción	300 – 500 $kg/cm^2$
Resistencia química	Inerte a los álcalis del cemento

Fuente: Hoja técnica de Sikafiber AD, Sika.

Figura 14. Fibra de polipropileno



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

#### **4.4. Diseño de mezcla**

##### **4.4.1. Diseño teórico de mezcla de concreto**

El diseño de mezcla de concreto es una serie de pasos en el cual se elige la proporción correcta de cemento, agregado fino, agregado grueso y agua para lograr la resistencia requerida, según las características físicas de los agregados.

Se realizaron 5 diseños de mezcla teóricos de concreto. El primero fue un concreto de  $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$  utilizado como patrón, dos con fibra de polipropileno y dos con polipropileno reciclado (material experimental). El objetivo es lograr un cambio en la resistencia de compresión y tensión del concreto.

El diseño de mezcla de concreto se realizó por el método del Centro de Investigaciones de Ingeniería, el asentamiento utilizado fue de 8 - 10 cm (3" - 4") y sabiendo las características físicas de los agregados por medio de sus respectivos ensayos se determinó que la proporción teórica es de 1: 2,32: 2,95: 0,57, el tipo de cemento que se utilizó Portland Tipo I de 4 060 psi. La resistencia que se comparó es de  $210 \text{ kg/cm}^2$ , recordando que la resistencia promedio requerida debe ser mayor a la resistencia nominal queda, finalmente, de  $246 \text{ kg/cm}^2$ , el volumen de cada bachada es de  $0,07 \text{ m}^3$  para 8 cilindros y una viga.

Tabla VIII. **Datos de la mezcla**

CONCRETO NORMAL= 210 $kg/cm^2$			
Materiales	Proporción teórica	Proporción en peso (kg)	Proporción en ( $kg/m^3$ )
Cemento	1,00	42,50	350,90
Arena	2,32	76,40	813,60
Piedrín/Grava	2,95	85,30	1035,50
Agua libre	0,57	24,20	200

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

#### 4.4.1.1. **Diseño teórico de mezcla con fibra de polipropileno**

Para los dos diseños de mezcla de concreto se utilizó la misma dosificación de la mezcla patrón, lo que varía es la cantidad de fibra de polipropileno por metro cúbico, esto para comparar alguna variación en la resistencia del concreto.

Tabla IX. **Diseño de mezcla con fibra de polipropileno a 0,8  $kg/m^3$**

Resistencia nominal	210 $kg/cm^2$
Resistencia promedio requerida	246 $kg/cm^2$
Relación agua/cemento	0,57
Asentamiento	8 – 10 cm (3" - 4")
Fibra de polipropileno	0,80 $kg/m^3$

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

Tabla X. **Diseño de mezcla con fibra de polipropileno 1 kg/m<sup>3</sup>**

Resistencia nominal	210 kg/cm <sup>2</sup>
Resistencia promedio requerida	246 kg/cm <sup>2</sup>
Relación agua/cemento	0,57
Asentamiento	8 – 10 cm (3" - 4")
Fibra de polipropileno	1 kg/m <sup>3</sup>

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

#### 4.4.1.2. **Diseño teórico de mezcla de concreto con polipropileno reciclado**

Para estos dos diseños de mezcla también se utilizó la misma dosificación de materiales, lo que varía es el material experimental como aditivo para compararlos con las resistencias de las demás batchadas.

Tabla XI. **Diseño de mezcla con polipropileno reciclado a 0,8 kg/m<sup>3</sup>**

Resistencia nominal	210 kg/cm <sup>2</sup>
Resistencia promedio requerida	246 kg/cm <sup>2</sup>
Relación agua/cemento	0,57
Asentamiento	8 – 10 cm (3" - 4")
Polipropileno reciclado (material experimental)	0,80 kg/m <sup>3</sup>

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

Tabla XII. **Diseño de mezcla con polipropileno reciclado a 1 kg/m<sup>3</sup>**

Resistencia nominal	210 kg/cm <sup>2</sup>
Resistencia promedio requerida	246 kg/cm <sup>2</sup>
Relación agua/cemento	0,57
Asentamiento	8 – 10 cm (3"- 4")
Polipropileno reciclado (material experimental)	1 kg/m <sup>3</sup>

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

#### 4.4.2. **Diseño práctico de la mezcla**

Para los diseños prácticos se realizó el proceso de pesaje y mezclado. Este proceso sirvió para realizar las proporciones en peso de las 5 batchadas de acuerdo con el diseño teórico de la mezcla.

##### 4.4.2.1. **Pesaje de los materiales**

Antes del mezclado, los materiales se pesaron un día antes por medio de una balanza digital en el que, posteriormente, se almacenaron en cubetas, estas proporciones en peso son los rendimientos de los materiales por cada batchada siendo el volumen de 0,07 m<sup>3</sup> cada una.

**Figura 15. Pesaje de los materiales**



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

#### **4.4.2.2. Mezclado de los materiales**

El mezclado de los materiales se realizó por medio de una concreteira con rendimiento para un saco de cemento. Se colocaron las primeras dos cubetas de pedrín, después dos de arena y se mezclaron, luego, se colocó el resto de material y el cemento; finalmente, agua. Todo se mezcló durante unos minutos para lograr una mezcla homogénea de todos los materiales.

**Figura 16. Mezclado de los materiales**



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

#### **4.4.2.3. Ensayos al concreto fresco**

Los ensayos al concreto fresco que se realizaron fueron temperatura, contenido de aire, asentamiento y peso unitario, todos estos basados en los requerimientos de las normas NTG.

**Figura 17. Fundición del concreto**



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

#### 4.4.2.4. Resultados de ensayos al concreto fresco

Los resultados de ensayos al concreto fresco de las 5 batchadas se describen de la siguiente manera:

##### 4.4.2.4.1. Temperatura del concreto ASTM C-1 064

- Concreto patrón: 23,40 +/- 0,50 °C
- Concreto con fibra de polipropileno a 0,80  $kg/m^3$ : 23,40 +/- 0,50 °C
- Concreto con fibra de polipropileno a 1  $kg/m^3$ : 24,40 +/- 0,50 °C
- Concreto con polipropileno reciclado a 0,80  $kg/m^3$ : 23,40 +/- 0,50 °C
- Concreto con polipropileno reciclado a 1  $kg/m^3$ : 22,40 +/- 0,50 °C

Figura 18. Ensayo de temperatura



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

#### 4.4.2.4.2. Contenido de aire ASTM C-231

- Concreto patrón: 3,40%
- Concreto con fibra de polipropileno a  $0,80 \text{ kg/m}^3$ : 3%
- Concreto con fibra de polipropileno a  $1 \text{ kg/m}^3$ : 2,60%
- Concreto con polipropileno reciclado a  $0,80 \text{ kg/m}^3$ : 3%
- Concreto con polipropileno reciclado a  $1 \text{ kg/m}^3$ : 2,60%

Figura 19. Ensayo de Contenido de aire



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

#### 4.4.2.4.3. Asentamiento del concreto ASTM C-143

- Concreto patrón: 1”
- Concreto con fibra de polipropileno a  $0,80 \text{ kg/m}^3$ : 1”
- Concreto con fibra de polipropileno a  $1 \text{ kg/m}^3$ : 1”
- Concreto con polipropileno reciclado a  $0,80 \text{ kg/m}^3$ : 2”
- Concreto con polipropileno reciclado a  $1 \text{ kg/m}^3$ : 2”

Figura 20. Ensayo de Asentamiento



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

Nota: Los agregados se trabajaron en condiciones de laboratorio. Debido a que los agregados estaban muy secos absorbieron agua de su proporción teórica e hizo que tuvieran un revenimiento menor del diseñado. Se decidió no seguir aumentando el agua en las bachadas para respetar la relación agua/cemento.

#### 4.4.2.4.4. **Peso unitario compactado del concreto ASTM C-138**

- Concreto patrón:  $2\,299\text{ kg/m}^3$
- Concreto con fibra de polipropileno a  $0,80\text{ kg/m}^3$ :  $2\,270\text{ kg/m}^3$
- Concreto con fibra de polipropileno a  $1\text{ kg/m}^3$ :  $2\,370\text{ kg/m}^3$
- Concreto con polipropileno reciclado a  $0,80\text{ kg/m}^3$ :  $2\,350\text{ kg/m}^3$
- Concreto con polipropileno reciclado a  $1\text{ kg/m}^3$ :  $2\,300\text{ kg/m}^3$

Figura 21. **Ensayo de Peso unitario del concreto**



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

Nota: Los pesos unitarios del concreto compactado pudieron haber variado por la procedencia desconocida de los agregados, a pesar de que eran del mismo banco de material cabe la posibilidad de que los agregados no eran de la misma producción.

#### **4.4.2.5. Ensayos al concreto endurecido**

Los ensayos al concreto endurecido que se realizaron son: cilindros a tracción indirecta, vigas a flexión con apoyos a cada tercio de luz, y cilindros a compresión.

**Figura 22. Desencofrado del concreto**



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

#### **4.4.2.6. Resultados de ensayos al concreto endurecido**

Los resultados de ensayos al concreto endurecido de las 5 batchadas se describen de la siguiente manera.

**4.4.2.6.1. Resultado resistencia a tracción indirecta de especímenes cilíndricos ASTM C-496**

El cálculo de la resistencia de cilindros a tensión indirecta de las 5 bachadas realizadas en laboratorio se determinó según la norma ASTM C-496:

$$T = \frac{2P}{\pi ld}$$

Donde:

T = Resistencia a la tensión indirecta, MPa (psi)

P = Máxima carga aplicada por la máquina de ensayo, lbf

l = Longitud del cilindro, pulg

d = Diámetro del cilindro, pulg

**Tabla XIII. Cilindros a tracción indirecta de concreto patrón**

No. Cilindro	Edad en días	Peso en kg	Ø en cm	Largo en cm	Carga en lb	Resistencia Mpa	Resistencia PSI
1	28	12,58	15,10	30,57	40 000	2,50	360
2	28	12,60	15,15	30,57	40 000	2,50	360

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

Tabla XIV. **Cilindros de concreto a tracción indirecta con fibra de polipropileno a 0,80 kg/m<sup>3</sup>**

No. Cilindro	Edad en días	Peso en kg	Ø en cm	Largo en cm	Carga en lb	Resistencia Mpa	Resistencia PSI
1	28	12,40	15,07	30,37	39 000	2,40	350
2	28	12,44	15,10	30,32	35 000	2,20	320

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

Tabla XV. **Cilindros de concreto a tracción indirecta con fibra de polipropileno a 1 kg/m<sup>3</sup>**

No. Cilindro	Edad en días	Peso en kg	Ø en cm	Largo en cm	Carga en lb	Resistencia Mpa	Resistencia PSI
1	28	12,86	15,10	30,28	40 000	2,50	360
2	28	12,83	15,15	30,23	38 000	2,40	350

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

Tabla XVI. **Cilindros de concreto a tracción indirecta con polipropileno reciclado a 0,80 kg/m<sup>3</sup>**

No. Cilindro	Edad en días	Peso en kg	Ø en cm	Largo en cm	Carga en lb	Resistencia Mpa	Resistencia PSI
1	28	12,81	15,14	30,33	45 000	2,80	410
2	28	12,94	15,10	30,44	43 000	2,70	390

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

Tabla XVII. **Cilindros de concreto a tracción indirecta con polipropileno reciclado a 1 kg/m<sup>3</sup>**

No. Cilindro	Edad en días	Peso en kg	Ø en cm	Largo en cm	Carga en lb	Resistencia Mpa	Resistencia PSI
1	28	12,39	15,13	30,18	38 000	2,40	350
2	28	12,48	15,07	30,36	41 000	2,50	360

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

Figura 23. **Ensayo de cilindros a tensión indirecta**



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

#### 4.4.2.6.2. Resultado resistencia a la flexión ASTM C-78

Se realizaron 5 vigas, una por cada mezcla ensayada a 28 días. Durante el ensayo a flexión de todas las vigas, la falla siempre ocurrió dentro del tercio medio de luz, entonces el cálculo del módulo de ruptura queda de la siguiente manera:

$$R = \frac{PL}{bd^2}$$

Donde:

R = Módulo de ruptura, Mpa o psi

P = Carga máxima aplicada de ruptura

L = Longitud de separación de apoyos, cm o pulg

b = Ancho promedio de la viga, cm o pulg

d = Espesor promedio de la viga, cm o pulg

Tabla XVIII. Vigas a flexión con apoyos a tercios de luz

Muestra	Edad en días	Ancho en cm	Alto en cm	Luz apoyos	Ruptura lb	Flexión Mpa	Flexión PSI
Concreto patrón	28	15,58	15,24	45,47	5 000	2,80	405
FPP a 0,80kg/cm <sup>3</sup>	28	15,66	15,24	44,96	6 500	3,65	530
FPP a 1kg/cm <sup>3</sup>	28	15,58	15,24	45,55	7 500	4,20	610
PPR a 0,80kg/cm <sup>3</sup>	28	15,41	14,99	45,55	5 500	3,25	470
PPR a 1kg/cm <sup>3</sup>	28	15,32	15,24	45,72	6 700	3,85	560

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

Utilizando la fórmula  $MR = \frac{MC}{I}$ , como otra opción para el cálculo del módulo de ruptura.

Tabla XIX. **Módulo de ruptura de vigas a flexión**

Muestra	Edad en días	Inercia en $in^4$	Momento en lb-in	Luz apoyos	C en pulgada	Flexión Mpa	Flexión PSI
Concreto patrón	28	108	14 920	45,47	3	2,80	410
FPP a 0,80kg/cm <sup>3</sup>	28	108	19 175	44,96	3	3,65	530
FPP a 1kg/cm <sup>3</sup>	28	108	22 420	45,55	3	4,30	620
PPR a 0,80kg/cm <sup>3</sup>	28	108	16 440	45,55	3	3,20	460
PPR a 1kg/cm <sup>3</sup>	28	108	20 100	45,72	3	3,85	560

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

#### 4.4.2.6.3. Esfuerzo de corte a flexión

Para calcular el esfuerzo de corte a flexión se determina de la siguiente manera:

$$\tau = \frac{VQ}{Ib}$$

Donde:

V = Corte máximo

Q = Momento estático

I = Inercia del elemento

b = Base del elemento

Tabla XX. **Resultado de esfuerzo de corte a flexión**

Muestra	Edad en días	Base en pulg	Inercia en $in^4$	Q en $in^2$	Corte máximo en lb	Esfuerzo de corte en $lbs/in^2$
Concreto patrón	28	6	108	18	2 500	70
FPP a $0,80kg/cm^3$	28	6	108	18	3 250	90
FPP a $1kg/cm^3$	28	6	108	18	3 750	105
PPR a $0,80kg/cm^3$	28	6	108	18	2 750	80
PPR a $1kg/cm^3$	28	6	108	18	3 350	95

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

Figura 24. **Ensayo de vigas a flexión**



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

#### 4.4.2.6.4. Resultado cilindros a compresión ASTM C-39

Los resultados de los cilindros a compresión según la norma ASTM C-39 se dan dividiendo la carga máxima soportada por el promedio del área de la sección que la soporta:

$$\text{Compresión} = \frac{P}{A}$$

Donde:

P = Carga máxima soportada, lb

A = Área de la sección transversal que soporta la carga, cm o pulg

Tabla XXI. **Resultados de cilindros a compresión de concreto patrón**

No. Cilindro	Edad en días	Peso en kg	Ø en cm	Altura en cm	Carga en lb	Resistencia Mpa	Resistencia PSI	Tipo de fractura
1	3	12,36	15,18	30,53	57 000	14	2 030	E
2	3	12,10	15,15	30,35	51 500	12,70	1 840	C
3	7	12,56	15,11	30,51	65 000	16,10	2 340	B
4	7	12,43	15,15	30,22	72 500	17,90	2 600	B
5	28	12,52	15,15	30,33	99 000	24,40	3 540	E
6	28	12,52	15,10	30,10	99 000	24,60	3 570	B

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

Tabla XXII. **Cilindros a compresión de concreto con fibra de polipropileno a 0,80 kg/m<sup>3</sup>**

No. Cilindro	Edad en días	Peso en kg	Ø en cm	Altura en cm	Carga en lb	Resistencia Mpa	Resistencia PSI	Tipo de fractura
1	3	12,24	15,05	30,34	40 000	10	1 450	E
2	3	12,24	15,18	30,31	45 000	11,10	1 610	E
3	7	12,38	15,14	30,35	52 500	13,00	1 890	E
4	7	12,32	15,10	30,09	52 000	12,90	1 870	D
5	28	12,44	15,10	30,37	80 000	19,90	2 890	E
6	28	12,45	15,07	30,32	75 000	18,70	2 710	E

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

Tabla XXIII. **Cilindros a compresión de concreto con fibra de polipropileno a 1 kg/m<sup>3</sup>**

No. Cilindro	Edad en días	Peso en kg	Ø en cm	Altura en cm	Carga en lb	Resistencia Mpa	Resistencia PSI	Tipo de fractura
1	3	12,87	15,13	30,23	45 000	11,10	1 610	E
2	3	12,93	15,08	30,27	43 000	10,70	1 550	E
3	7	12,86	15,22	30,32	60 000	14,70	2 130	E
4	7	12,91	15,15	30,23	63 500	15,70	2 280	B
5	28	2,81	15,14	30,20	90 000	22,20	3 220	E
6	28	12,82	15,19	30,23	94 000	23,10	3 350	D

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

**Tabla XXIV. Cilindros a compresión de concreto con polipropileno reciclado a 0,80 kg/m<sup>3</sup>**

No. Cilindro	Edad en días	Peso en kg	Ø en cm	Altura en cm	Carga en lb	Resistencia Mpa	Resistencia PSI	Tipo de fractura
1	3	12,88	15,10	30,43	34 000	8,40	1 220	E
2	3	12,81	15,10	30,27	34 500	8,60	1 250	B
3	7	12,79	15,05	30,33	45 000	11,20	1 630	E
4	7	12,92	15,07	30,43	55 000	13,70	1 990	B
5	28	12,78	15,14	30,20	80 000	19,80	2 870	D
6	28	12,85	15,18	30,50	75 000	18,40	2 670	D

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

**Tabla XXV. Cilindros a compresión de concreto con polipropileno reciclado a 1 kg/m<sup>3</sup>**

No. Cilindro	Edad en días	Peso en kg	Ø en cm	Altura en cm	Carga en lb	Resistencia Mpa	Resistencia PSI	Tipo de fractura
1	3	12,36	15	30,17	30 000	7,50	1 090	B
2	3	12,46	15,15	30,31	30 000	7,40	1 070	D
3	7	12,45	15,11	30,23	50 000	12,40	1 800	B
4	7	12,40	15,10	30,27	50 000	12,40	1 800	B
5	28	12,56	15,10	30,33	80 000	19,90	2 890	E
6	28	12,59	15,13	30,34	82 500	20,40	2 960	E

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

Figura 25. **Ensayo de cilindros a compresión**



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



## 5. COMPARACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

En este capítulo se compararán los resultados del concreto patrón con las distintas mezclas con aditivos y el material experimental. Solo se analizarán los resultados a los 28 días por normativa ya que a esa edad el concreto llega a su resistencia diseñada o de servicio, aunque siga aumentando su resistencia en días posteriores.

### 5.1. Concreto con fibra de polipropileno

La comparación de resultados del concreto con la fibra de polipropileno se describe en las siguientes tablas:

Tabla XXVI. **Comparación de cilindros a tensión indirecta con fibra de polipropileno en Mpa**

Edad en días	Muestra	Resistencia Mpa	Variación de resistencia en porcentaje	Variación
28	Concreto Patrón	2,50	0,00	Referencia
28	FPP a $0,80 \text{ kg/cm}^3$	2,30	-8,00%	Disminuyó
28	FPP a $1 \text{ kg/cm}^3$	2,45	-2,00%	Disminuyó

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

**Tabla XXVII. Comparación de cilindros a tensión indirecta con fibra de polipropileno en PSI**

Edad en días	Muestra	Resistencia PSI	Variación de resistencia en porcentaje	Variación
28	Concreto Patrón	360	0,00	Referencia
28	FPP a $0,80 \text{ kg/cm}^3$	335	-6,94%	Disminuyó
28	FPP a $1 \text{ kg/cm}^3$	355	-1,39%	Disminuyó

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

**Tabla XXVIII. Comparación de vigas a flexión con fibra de polipropileno en Mpa**

Edad en días	Muestra	Resistencia Mpa	Variación de resistencia en porcentaje	Variación
28	Concreto Patrón	2,80	0,00	Referencia
28	FPP a $0,80 \text{ kg/cm}^3$	3,65	30,36%	Aumentó
28	FPP a $1 \text{ kg/cm}^3$	4,20	50,0%	Aumentó

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

**Tabla XXIX. Comparación de vigas a flexión con fibra de polipropileno en PSI**

Edad en días	Muestra	Resistencia PSI	Variación de resistencia en porcentaje	Variación
28	Concreto Patrón	405	0,00	Referencia
28	FPP a $0,80 \text{ kg/cm}^3$	530	30,86%	Aumentó
28	FPP a $1 \text{ kg/cm}^3$	610	50,62%	Aumentó

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

**Tabla XXX. Comparación de cilindros a compresión con fibra de polipropileno en Mpa**

Edad en días	Muestra	Resistencia Mpa	Variación de resistencia en porcentaje	Variación
28	Concreto patrón	24,50	0,00	Referencia
28	FPP a $0,80 \text{ kg/cm}^3$	19,30	-21,22%	Disminuyó
28	FPP a $1 \text{ kg/cm}^3$	22,65	-7,55%	Disminuyó

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

**Tabla XXXI. Comparación de cilindros a compresión con fibra de polipropileno en PSI**

Edad en días	Muestra	Resistencia PSI	Variación de resistencia en porcentaje	Variación
28	Concreto patrón	3 555	0,00	Referencia
28	FPP a $0,80 \text{ kg/cm}^3$	2 800	-21,24%	Disminuyó
28	FPP a $1 \text{ kg/cm}^3$	3 285	-7,59%	Disminuyó

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

## 5.2. Concreto con polipropileno reciclado

La comparación de resultados del concreto con el polipropileno reciclado se describe en las siguientes tablas:

Tabla XXXII. **Comparación de cilindros a tensión indirecta con polipropileno reciclado en Mpa**

Edad en días	Muestra	Resistencia Mpa	Variación de resistencia en porcentaje	Variación
28	Concreto patrón	2,50	0,00	Referencia
28	FPP a $0,80 \text{ kg/cm}^3$	2,75	10,0%	Aumentó
28	FPP a $1 \text{ kg/cm}^3$	2,45	-2,0%	Disminuyó

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

Tabla XXXIII. **Comparación de cilindros a tensión indirecta a tensión indirecta con polipropileno reciclado en PSI**

Edad en días	Muestra	Resistencia PSI	Variación de resistencia en porcentaje	Variación
28	Concreto patrón	360	0,00	Referencia
28	FPP a $0,80 \text{ kg/cm}^3$	400	11,11%	Aumentó
28	FPP a $1 \text{ kg/cm}^3$	355	-1,38%	Disminuyó

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

**Tabla XXXIV. Comparación de vigas a flexión con polipropileno reciclado en Mpa**

Edad en días	Muestra	Resistencia Mpa	Variación de resistencia en porcentaje	Variación
28	Concreto Patrón	2,80	0,00	Referencia
28	FPP a 0,80 $kg/cm^3$	3,25	16,07%	Aumentó
28	FPP a 1 $kg/cm^3$	3,85	35,50%	Aumentó

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

**Tabla XXXV. Comparación de vigas a flexión con polipropileno reciclado en PSI**

Edad en días	Muestra	Resistencia PSI	Variación de resistencia en porcentaje	Variación
28	Concreto Patrón	405	0,00	Referencia
28	FPP a 0,80 $kg/cm^3$	470	16,10%	Aumentó
28	FPP a 1 $kg/cm^3$	560	38,27%	Aumentó

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

**Tabla XXXVI. Comparación de cilindros a compresión con polipropileno reciclado en Mpa**

Edad en días	Muestra	Resistencia Mpa	Variación de resistencia en porcentaje	Variación
28	Concreto Patrón	24,50	0,00	Referencia
28	FPP a 0,80 $kg/cm^3$	19,10	-22,04%	Disminuyó
28	FPP a 1 $kg/cm^3$	20,15	-17,76%	Disminuyó

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

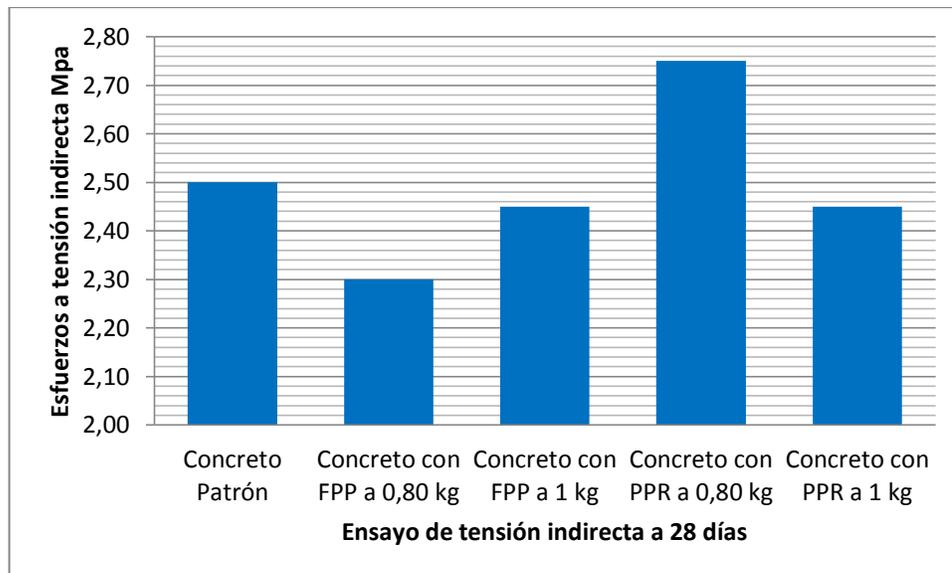
Tabla XXXVII. **Comparación de cilindros a compresión con polipropileno reciclado en PSI**

Edad en días	Muestra	Resistencia PSI	Variación de resistencia en porcentaje	Variación
28	Concreto Patrón	3 555	0,00	Referencia
28	FPP a $0,80 \text{ kg/cm}^3$	2 770	-22,10%	Disminuyó
28	FPP a $1 \text{ kg/cm}^3$	2 925	-17,72%	Disminuyó

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

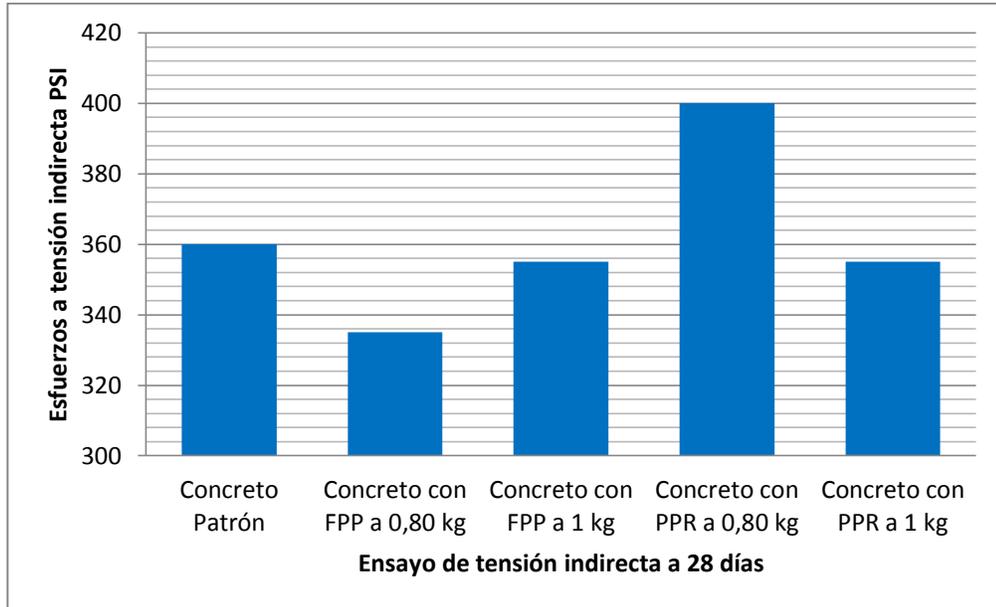
### 5.3. Comparación de resultados de las distintas mezclas

Tabla XXXVIII. **Comparación de los esfuerzos a tensión indirecta en Mpa**



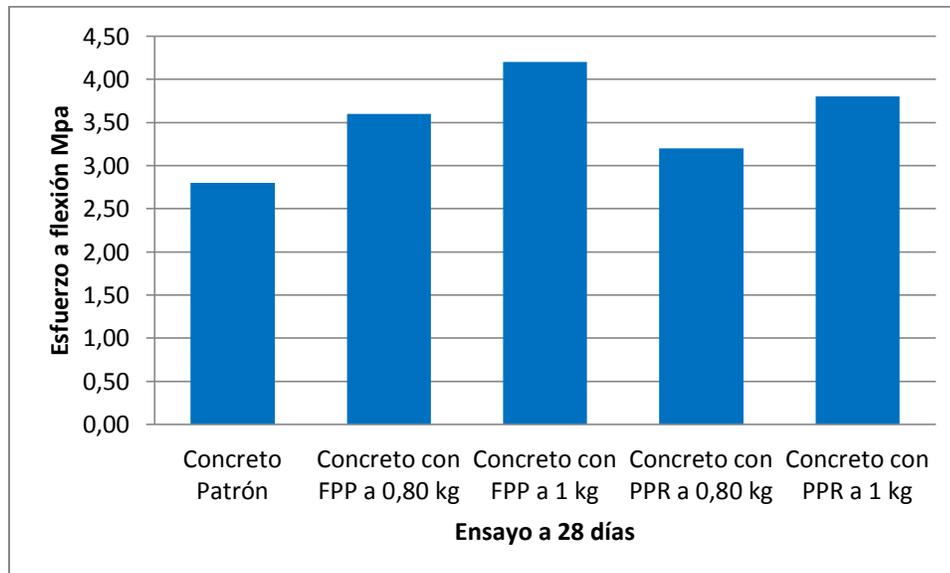
Fuente: Elaboración propia.

Tabla XXXIX. **Comparación de los esfuerzos a tensión indirecta en PSI**



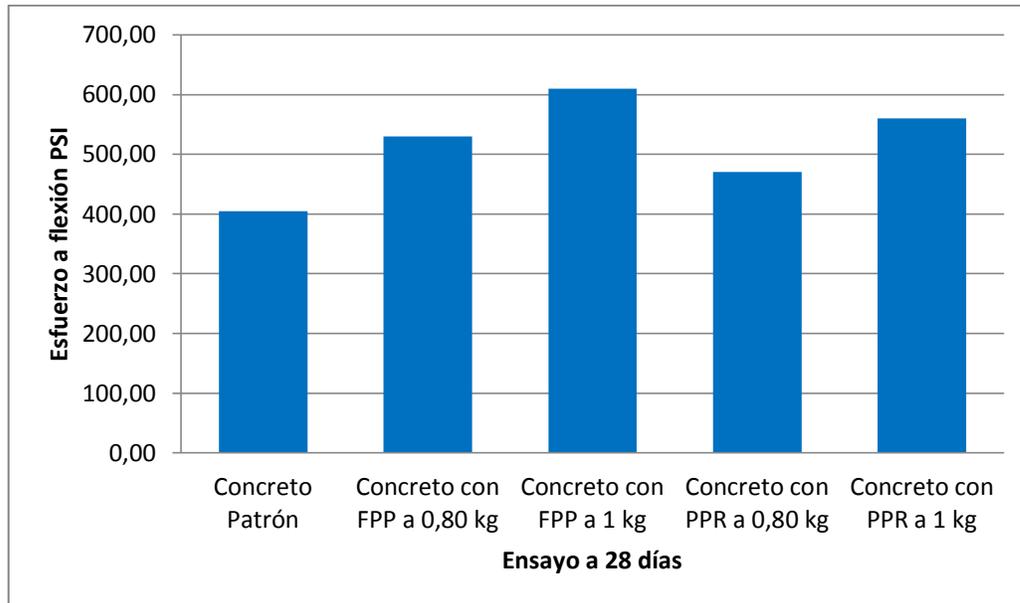
Fuente: Elaboración propia.

Tabla XL. **Comparación de los esfuerzos de vigas a flexión en Mpa**



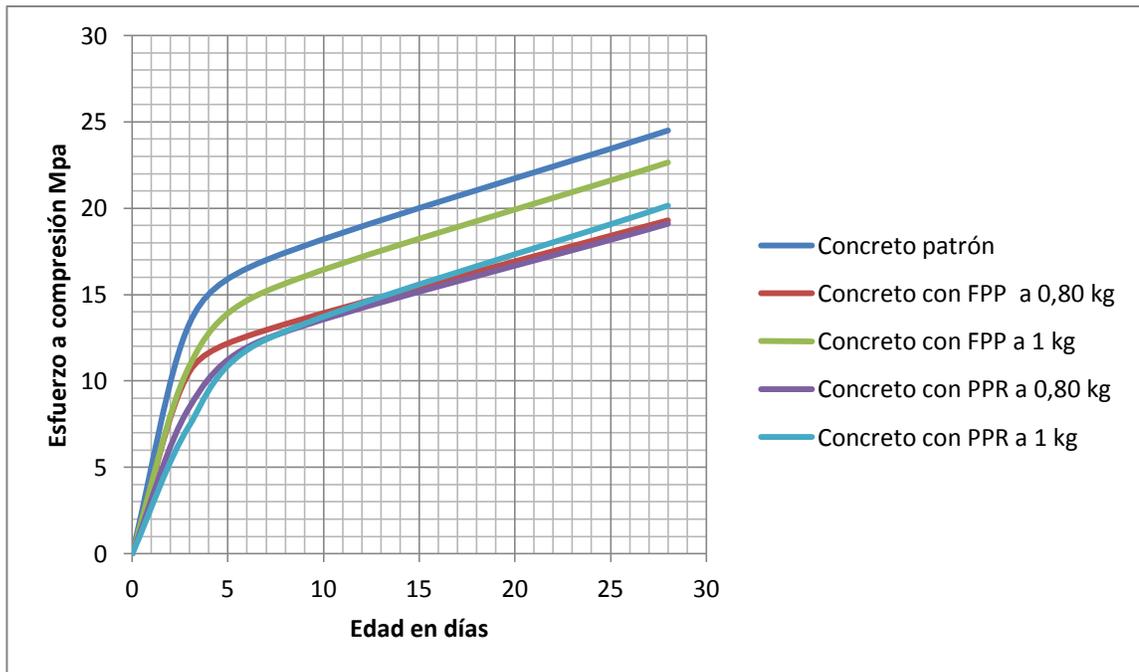
Fuente: Elaboración propia.

Tabla XLI. **Comparación de los esfuerzos de vigas a flexión en PSI**



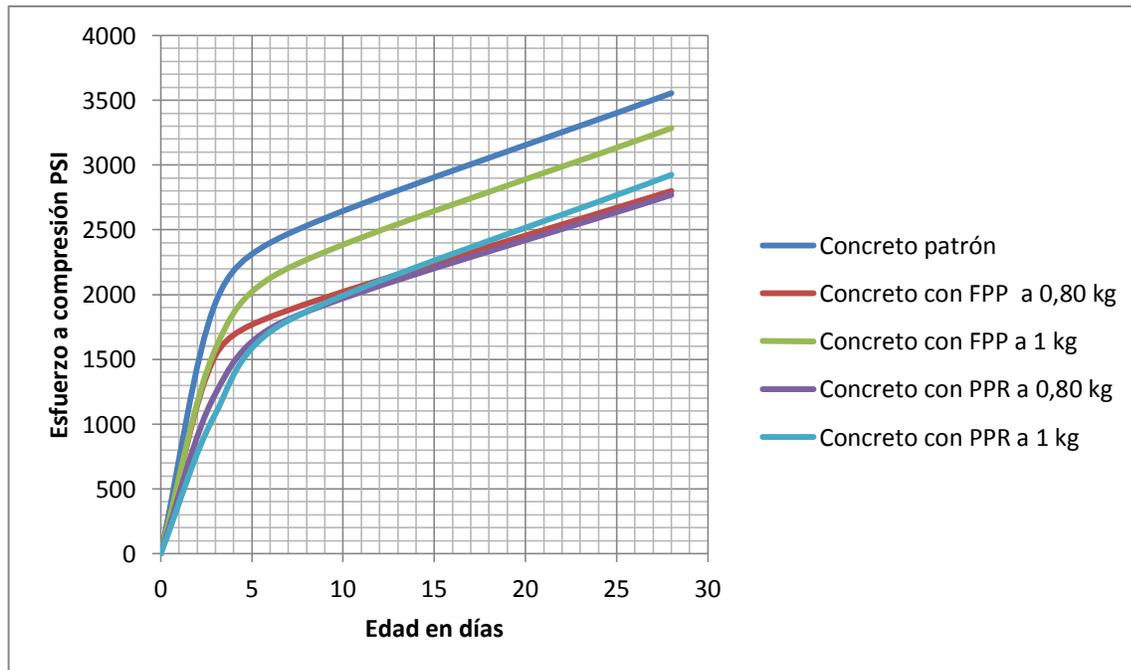
Fuente: Elaboración propia.

Tabla XLII. **Comparación de esfuerzos a compresión de las distintas  
bachadas en Mpa**



Fuente: Elaboración propia.

Tabla XLIII. **Comparación de esfuerzos a compresión de las distintas  
bachadas en PSI**



Fuente: Elaboración propia.

## 5.4. Interpretación de resultados

### 5.4.1. Cilindros a tensión indirecta

El material experimental no tuvo mayor incidencia en el concreto a tensión indirecta, los cilindros con polipropileno reciclado tuvieron un leve aumento de resistencia respecto al concreto patrón y al concreto con fibra, pero; no fueron valores significativos que indicaran que el material actuó como fibra sintética, como modificador de dicha propiedad mecánica.

#### **5.4.2. Vigas de concreto a flexión**

Las vigas de concreto con el polipropileno reciclado tuvieron una mejoría en su resistencia a flexión en su zona de tensión respecto al concreto patrón, en comparación con las vigas con la fibra normada por la ASTM C-1116, tuvieron una leve baja en su resistencia. A pesar que la distribución del material experimental fue uniforme y no solo concentrado en la zona de tensión de la viga, tuvo un aumento de la resistencia a flexión e indica que actuó como fibra sintética. Las vigas con el material experimental tuvieron una mejoría del esfuerzo de corte respecto al patrón. El aumento de la resistencia de las vigas estuvo en función de la cantidad de fibra que contenía así como de polipropileno reciclado.

#### **5.4.3. Cilindros a compresión axial**

Los resultados de los cilindros a compresión del concreto patrón fueron los más altos respecto a los cilindros con fibra de polipropileno que tuvieron las resistencias intermedias y las resistencias más bajas fueron los cilindros con el material experimental. Esto indica que el polipropileno reciclado no es un material adecuado como aditivo para aumentar la resistencia a la compresión axial, es decir, que en la zona de compresión de las vigas a flexión no tuvieron una incidencia, pero sí en la zona de tensión.



## CONCLUSIONES

1. Las vigas modificadas con el material experimental tuvieron un aumento en su resistencia a flexión con respecto a la viga patrón, pero una disminución de resistencia respecto a la fibra de polipropileno. Esto indica que el material reciclado puede ser considerado como un sustituto de la fibra para estos elementos estructurales.
2. Los resultados de los ensayos del concreto modificado con el material experimental tuvieron los valores más bajos de resistencia comparándolos con la fibra de polipropileno y el concreto patrón, no se mostró fisuramiento durante la contracción en estado plástico del concreto con el material experimental.
3. El uso del polipropileno reciclado redujo la resistencia a compresión axial y evidentemente en la zona de compresión a flexión al concreto endurecido, pero en los ensayos al concreto fresco se determinó que los resultados fueron muy similares y el material experimental no aumenta el peso unitario del concreto.
4. La dosificación del material experimental usada en el concreto no aportó mejoras en la resistencia a compresión y tensión indirecta, el uso del polipropileno reciclado no es apto para modificar estas propiedades mecánicas.



## RECOMENDACIONES

1. No se debe de usar el polipropileno reciclado como aditivo para elementos de concreto que estén sometidos a compresión axial, el uso de este material afecta, de manera negativa, su resistencia.
2. Para futuros ensayos se debe distribuir de manera uniforme el material experimental, solo en la zona de tensión de las vigas. Esto podría hacer que el material actuara mejor en el concreto.
3. Utilizar y comparar otros tipos de plásticos reciclados en el concreto para determinar si alguno de estos materiales mejora la resistencia a compresión y tensión indirecta respecto al polipropileno reciclado. Para los nuevos materiales reciclados se debe proponer una dosificación mayor a la usada en este trabajo.
4. Reducir la dosificación de los aditivos para comprobar si en los cilindros a compresión axial aumentan su resistencia. Las resistencias a flexión tuvieron valores que aumentaron en función de la cantidad de material experimental agregado a los diseños prácticos de mezclas.
5. Adquirir materiales pétreos que tengan certificación de calidad, de procedencia confiable y asegurarse de que sean de la misma producción para que no afecte futuros diseños de mezclas experimentales, respecto al revenimiento y peso unitario compactado del concreto.



## BIBLIOGRAFÍA

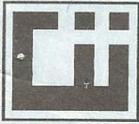
1. BELTRÁN RICO, Maribel y MARCILLA GOMIS, Antonio. Tecnología de polímeros procesados y propiedades. Universidad de Alicante, España: Diazotec, S.A., 2012. 63 p. ISBN: 978-84-9717-232-5
2. BILLMEYER, JR., Fred. Ciencia de los polímeros. Areal Guerra Dr. R (trad.). Universidad Politécnica de Barcelona, España: EDITORIAL REVERTÉ, S.A., octubre 2004. 116 p. ISBN: 84-291-7048-0
3. 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. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, febrero 2014, 72p.
4. Economía y Ecología Plástica S.A. [En línea]. Disponible en Web: <<http://www.ecoplast.com.gt/nosotros/>> [Consulta: 21 de octubre de 2015]
5. BLANCO VARGAS, Rafael. "El mundo de los plásticos". Primera obra de recopilación del Instituto Mexicano del Plástico Industrial. México: I.M.P.I., 1980. p. 1-4

6. BLANCO VARGAS, Rafael. "Clasificación de los plásticos por su estructura y su polimerización". Primera obra de recopilación del Instituto Mexicano del Plástico Industrial. México: I.M.P.I., 1980. p. 24-29
7. BLANCO VARGAS, Rafael. "Poliestireno". Primera obra de recopilación del Instituto Mexicano del Plástico Industrial. México: I.M.P.I., 1980. p. 196-198
8. BLANCO VARGAS, Rafael. "Polipropileno". Primera obra de recopilación del Instituto Mexicano del Plástico Industrial. México: I.M.P.I., 1980. p. 209-211
9. ROCA GIRÓN, Iván Ernesto. Estudio de las propiedades y aplicaciones industriales del polietileno de alta densidad (PEAD). Trabajo de graduación de Ing. Química. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, septiembre 2005, 26p.
10. DE LEÓN MALDONADO, Alma. "El proceso de reciclaje en la ciudad de Guatemala". En: Centro de Estudios Urbanos y Regionales-USAC. El reciclaje en la ciudad de Guatemala. Guatemala: 2002. p. 31-45.
11. Tecnología del plástico. Artículo [En línea]: Propiedades térmicas y mecánicas del PET reciclado y sus mezclas. <<http://www.plastico.com/temas/Propiedades-termicas-y-mecanicas-del-PET-reciclado-y-sus-mezclas+3056093?pagina=1>> [Consulta 24 de octubre de 2015]

12. PÉREZ ESCOBAR, Milton Adolfo. Elaboración de matrices de polímeros reciclados reforzados con fibras de la estopa del coco y determinación de sus propiedades físicas y mecánicas. Trabajo de graduación de Ing. Civil. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, julio 2008, 27p.
13. ACI COMMITTEE 544. Fiber Reinforced Concrete. ACI 544. 1R-96. American Concrete Institute, 2002.
14. SIKA. Fibra de polipropileno para el refuerzo de concreto y mortero SikafiberAD. Colombia S.A. Hoja técnica publicada por SIKA, 2012.
15. Comisión Guatemalteca de Normas. Norma Técnica Guatemalteca NTG-41007 Especificación estándar de agregados para concreto.
16. Comisión Guatemalteca de Normas. Norma Técnica Guatemalteca NTG-41017h1 Método de ensayo. Determinación de la resistencia a la compresión de especímenes cilíndricos de concreto.
17. Comisión Guatemalteca de Normas. Norma Técnica Guatemalteca NTG-41017h2 Método de ensayo para determinar el esfuerzo de flexión del concreto utilizando una viga simplemente soportada con cargas en los tercios de la luz.
18. Comisión Guatemalteca de Normas. Norma Técnica Guatemalteca NTG-41017h5 Método de ensayo para determinar el peso unitario del concreto.

19. Comisión Guatemalteca de Normas. Norma Técnica Guatemalteca NTG-41017h7 Método de ensayo para determinar el contenido de aire del concreto recién mezclado por el método de presión.
20. Comisión Guatemalteca de Normas. Norma Técnica Guatemalteca NTG-41017h7 Método de ensayo para determinar el contenido de aire del concreto recién mezclado por el método de presión.
21. Comisión Guatemalteca de Normas. Norma Técnica Guatemalteca NTG-41017h12 Método de ensayo para el tiempo de fraguado de mezclas de concreto por su resistencia a la penetración.
22. Comisión Guatemalteca de Normas. Norma Técnica Guatemalteca NTG-41017h15 Método de ensayo para la resistencia a tracción indirecta de especímenes cilíndricos de concreto.
23. Comisión Guatemalteca de Normas. Norma Técnica Guatemalteca NTG-41053 Método de ensayo para la medición de la temperatura del concreto hidráulico recién mezclado.
24. Comisión Guatemalteca de Normas. Norma Técnica Guatemalteca NTG-41060 Método para la elaboración y curado de especímenes de ensayo de concreto en el laboratorio.

## **ANEXOS**



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



**INFORME DE ENSAYO A FLEXIÓN DE VIGAS DE CONCRETO  
NORMA NTG 41017 h2 (ASTM C-78)**

**No. 08433**

**INFORME SACM - 503**

**HOJA 1/1**

**O.T. No. 36051**

**INTERESADO:** Nery Rigoberto Velásquez Robledo, Carné 2011 14609.

**PROYECTO:** Tesis "Análisis comparativo del concreto modificado con polipropileno reciclado y la fibra de polipropileno comercial".

**DIRECCIÓN:** 5 calle 6-16 La Montaña de Minerva Zona 11 de Mixco.

**FECHA:** 9 de noviembre de 2016

**RESULTADOS:**

MUESTRA	FECHA DE COLOCACIÓN	FECHA DE RUPTURA	EDAD (días)	ANCHO (mm)	ALTO (mm)	LARGO (mm)	LUZ ENTRE APOYOS (mm)	CARGA RUPTURA (N)	ESFUERZO A FLEXIÓN (Mpa)	ESFUERZO A FLEXIÓN (PSI)
Mezcla patrón	15/07/2016	12/08/2016	28	155,79	152,40	540,17	457,20	22 241	2,80	405,00
Mezcla con fibra de polipropileno a 0,80 kg/m3	22/07/2016	19/08/2016	28	156,63	152,40	535,94	457,20	28 913	3,65	530,00
Mezcla con fibra de polipropileno a 1,00 kg/m3	01/08/2016	29/08/2016	28	155,79	152,40	533,40	457,20	33 362	4,20	610,00
Mezcla con polipropileno reciclado a 0,80 kg/m3	09/08/2016	06/09/2016	28	154,09	149,86	533,40	457,20	24 465	3,25	470,00
Mezcla con polipropileno reciclado a 1,00 kg/m3	16/08/2016	13/09/2016	28	153,25	152,40	540,17	457,20	29 803	3,85	560,00

**OBSERVACIONES:**

- a) Muestra elaborada y moldeada en laboratorio.
- b) La falla ocurrió en la superficie de tensión dentro del tercio medio de la luz entre apoyos de la viga.
- c) Se utilizó cemento 4 060 psi UGC.

El presente informe representa únicamente las muestras identificadas en el mismo.

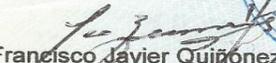
Se prohíbe la reproducción parcial o total sin autorización.

**ATENAMENTE,**

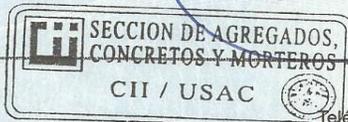
  
Inga. Dilma Yanet Mejicanos Jol

Jefa Sección de Agregados, Concretos y Morteros

Vo.Bo.

  
Ing. Francisco Javier Quijón de la Cruz

Director 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  
Página web: <http://cii.usac.edu.gt>

Fuente: Sección de Agregados, Concretos y Morteros.



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



**ANÁLISIS COMPLETO DE AGREGADO GRUESO PARA CONCRETO  
NORMA NTG 41007 h1 (ASTM C-33)**

**No. 08036**

O.T. No. 36047

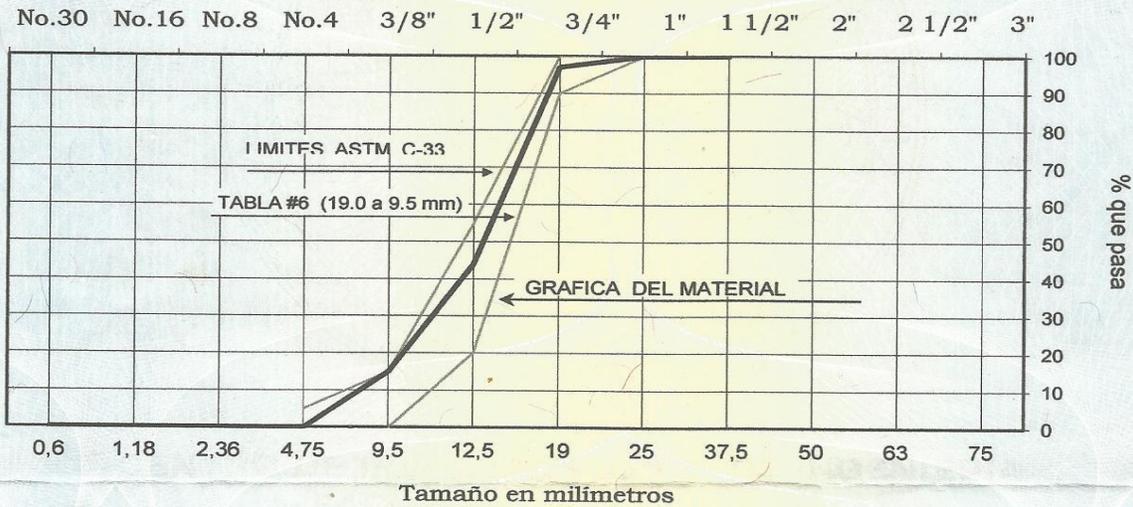
INFORME No. SACM - 190

HOJA 1/1

**INTERESADO:** Nery Rigoberto Velasquez Robledo, Carné 201114609  
**PROYECTO:** Tesis: "Análisis comparativo del concreto modificado con polipropileno reciclado y la fibra de polipropileno comercial."  
**DIRECCIÓN:** 5 calle 6-16 La Montaña de Minerva zona 11 de Mixco  
**FECHA:** 3 de junio de 2016

**CARACTERÍSTICAS FÍSICAS:**

Densidad Relativa (sss)	2,66	Pasa Tamiz # 200 (%)	1,30
Densidad (sss) (kg/m <sup>3</sup> )	2 650,00	Porcentaje de Vacíos, Compactado (%)	42,00
Masa Unitaria, Compactada (kg/m <sup>3</sup> )	1 530,00	Porcentaje de Vacíos, Suelto (%)	45,00
Masa Unitaria, Suelta (kg/m <sup>3</sup> )	1 470,00	Modulo de Finura	6,88
Porcentaje de Absorción (%)	1,60	Retenido Tamiz 6,35 (%)	98,90



Tamiz No.	1 1/2"	1"	3/4"	1/2"	3/8"	No.4	No.8	No.16
% Que pasa	100,0	100,00	97,00	44,00	15,00	0,00	0,00	0,00

**OBSERVACIONES:**

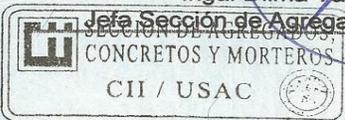
- a) Muestra proporcionada por el interesado.
- b) Tamiz # 200, procedimiento A, lavado con agua corriente.

ATENTAMENTE,

*[Signature]*  
 Inga. Dilma Yanet Mejicanos Jol

Vo.Bo.

*[Signature]*  
 Ing. Francisco Javier Quiñonez de la Cruz  
 Director 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  
 Página web: <http://cii.usac.edu.gt>

Fuente: Sección de Agregados, Concretos y Morteros.



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



**ANÁLISIS COMPLETO DE AGREGADO FINO PARA CONCRETO No. 08064  
NORMA NTG 41007 h1 (ASTM C-33)**

O.T. No. 36046

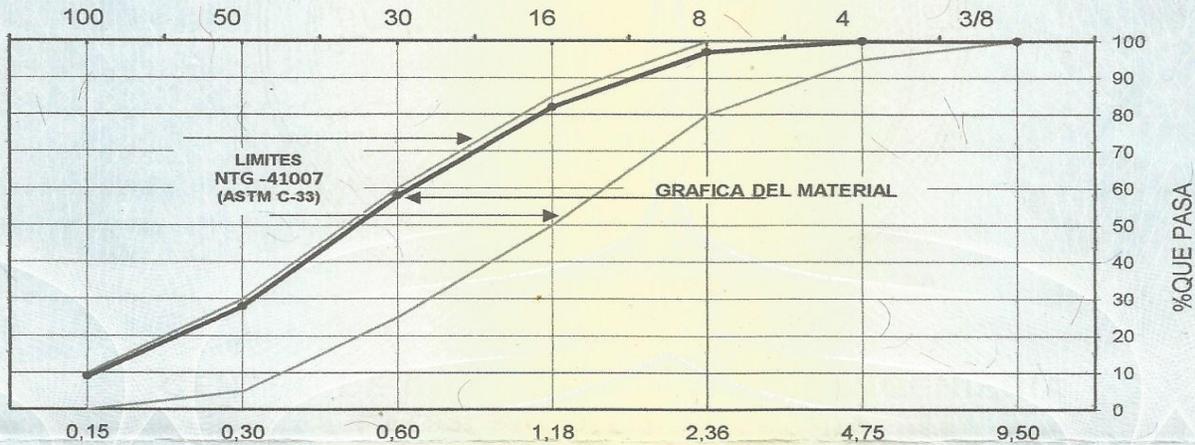
INFORME SACM - 216

HOJA 1/1

**INTERESADO:** Nery Rigoberto Velázquez Robledo, 2011 14609  
**PROYECTO:** Tesis "Análisis comparativo del concreto modificado con polipropileno reciclado y la fibra de pilopropileno comercial."  
**DIRECCIÓN:** 5 calle 6-16 La Montaña de Minerma, Zona 11 de Mixco.  
**FECHA:** 15 de Junio de 2016

**CARACTERÍSTICAS FÍSICAS:**

Densidad Relativa (sss)	2,41	Porcentaje de Absorción (%)	1,70
Densidad (sss) (kg/m³)	2 400,00	Contenido de Materia Orgánica	2
Masa Unitaria, Compactada (kg/m³)	1380,00	Pasa Tamiz # 200 (%)	3,60
Masa Unitaria, Suelta (kg/m³)	1290,00	Retenido Tamiz 6,35 (%)	0,20
Porcentaje de Vacíos, Compactado (%)	43,00	Modulo de Finura	2,26
Porcentaje de Vacíos, Suelto (%)	46,00		



	Tamaño en Milímetros						
Tamiz No.	9,50	4,75	2,36	1,18	0,60	0,30	0,15
% Que pasa	100,00	100,00	97,00	82,00	58,00	28,00	9,00

**OBSERVACIONES:**

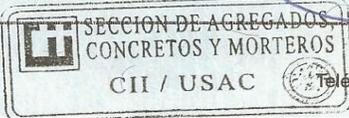
- a) Muestra proporcionada por el interesado.
- b) Tamiz # 200, procedimiento A, lavado con agua corriente.
- c) Contenido de materia orgánica máximo permisible No. 3

**ATENTAMENTE,**

*[Signature]*  
 Inga. Dilma Yanet Mejicanos Jol  
 Jefa Sección de Agregados, Concretos y Morteros

Vo.Bo.

*[Signature]*  
 Ing. Francisco Javier Quiñonez de la Cruz  
 Director 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  
 Página web: <http://cii.usac.edu.gt>

Fuente: Sección de Agregados, Concretos y Morteros.



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



**DISEÑO TEÓRICO DE MEZCLA DE CONCRETO  
INFORME SACM - 257 A  
HOJA 1/1**

**No. 08110**

**O.T. No. 36048**

**INTERESADO:** Nery Rigoberto Velásquez Robledo, Carné 2011 14609.  
**PROYECTO:** Tesis "Análisis comparativo del concreto modificado con polipropileno reciclado y la fibra de polipropileno comercial".  
**DIRECCIÓN:** 5 Calle 6-16 La Montaña de Minerva Zona 11 de Mixco.  
**FECHA:** 5 de julio de 2016.

**1. GENERALIDADES**

1.1 El interesado proporciono el material y solicito a este Centro de Investigaciones, el análisis completo para agregados fino y agregado grueso, para realizar un diseño teórico de mezcla de 3 000 psi (210 kg/cm<sup>2</sup>), con Cemento UGC 4 060 Psi.

**2. CARACTERISTICAS DE LOS AGREGADOS**

2.1 Análisis granulométrico de agregado fino. **INFORME No. S.C. - 216**  
2.2 Análisis granulométrico de agregado grueso. **INFORME No. S.C. - 190**

**3. DISEÑO DE MEZCLA 1**

3.1 Resistencia Nominal **246 kg/cm<sup>2</sup>**  
3.2 Resistencia Promedio Requerida **210 kg/cm<sup>2</sup>**  
3.3 Relación Agua/Cemento **0,57**  
3.4 Asentamiento: **8 - 10 cm (3" - 4")**  
3.5 Datos de la Mezcla:

CONCRETO NORMAL $f_c = 210 \text{ kg/cm}^2$			
MATERIALES	PROPORCIÓN EN PESO	PROPORCIÓN EN VOLUMEN (LITROS)	PROPORCIÓN EN VOLUMEN (kg/m <sup>3</sup> )
CEMENTO	1	1 SACO	350,90
ARENA	2,32	76,40	813,60
PIEDRIN / GRAVA	2,95	85,30	1 035,50
AGUA LIBRE	0,57	24,20	200,00

**4. RECOMENDACIONES**

4.1 Evaluar en obra el diseño propuesto y obtener 6 cilindros de 6" de diámetro y 12" de altura, para su control de resistencia, con el ensayo a compresión, el cual se realiza en el CII/USAC.  
4.2 El diseño de mezcla esta propuesto para agregados en condición seco-saturados, debido a las condiciones de obra, se deberá corregir por humedad.  
4.3 Llevar un sistema de control de calidad según lo establece el ACI 318.  
4.4 Utilizar aditivo, que mejore las condiciones del diseño de mezcla.

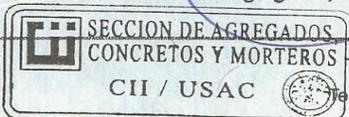
El presente informe representa únicamente las muestras identificadas en el mismo.  
Se prohíbe la reproducción parcial o total sin autorización.

**Atentamente,**

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

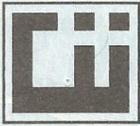
Vo.Bo.

*Francisco Javier Quiñonez de la Cruz*  
Ing. Francisco Javier Quiñonez de la Cruz  
Director 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  
Página web: <http://cii.usac.edu.gt>

Fuente: Sección de Agregados, Concretos y Morteros.



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



**DISEÑO TEÓRICO DE MEZCLA DE CONCRETO  
INFORME SACM - 258  
HOJA 1/1**

**No. 08111**

**O.T. No. 36048**

**INTERESADO:** Nery Rigoberto Velásquez Robledo, Carné 2011 14609.  
**PROYECTO:** Tesis "Análisis comparativo del concreto modificado con polipropileno reciclado y la fibra de polipropileno comercial".  
**DIRECCIÓN:** 5 Calle 6-16 La Montaña de Minerva Zona 11 de Mixco.  
**FECHA:** 5 de julio de 2016.

**1. GENERALIDADES**

1.1 El interesado proporciono el material y solicito a este Centro de Investigaciones, el análisis completo para agregados fino y agregado grueso, para realizar un diseño teórico de mezcla de 3 000 psi (210 kg/cm<sup>2</sup>), con Cemento UGC 4 060 Psi.

**2. CARACTERISTICAS DE LOS AGREGADOS**

2.1 Análisis granulométrico de agregado fino. **INFORME No. S.C. - 216**  
2.2 Análisis granulométrico de agregado grueso. **INFORME No. S.C. - 190**

**3. DISEÑO DE MEZCLA 2**

3.1 Resistencia Nominal 246 kg/cm<sup>2</sup>  
3.2 Resistencia Promedio Requerida 210 kg/cm<sup>2</sup>  
3.3 Relación Agua/Cemento 0,57  
3.4 Asentamiento: 8 - 10 cm (3" - 4")  
3.5 Fibra de polipropileno 0,80 kg/m<sup>3</sup>  
3.6 Datos de la Mezcla:

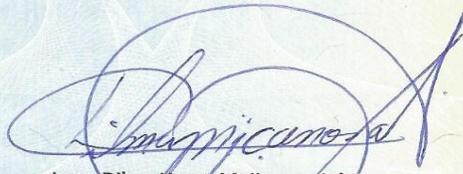
CONCRETO NORMAL $f_c = 210 \text{ kg/cm}^2$			
MATERIALES	PROPORCIÓN EN PESO	PROPORCIÓN EN VOLUMEN (LITROS)	PROPORCIÓN EN VOLUMEN (kg/m <sup>3</sup> )
CEMENTO	1	1 SACO	350,90
ARENA	2,32	76,40	813,60
PIEDRIN / GRAVA	2,95	85,30	1 035,50
AGUA LIBRE	0,57	24,20	200,00

**4. RECOMENDACIONES**

4.1 Evaluar en obra el diseño propuesto y obtener 6 cilindros de 6" de diámetro y 12" de altura, para su control de resistencia, con el ensayo a compresión, el cual se realiza en el CII/USAC.  
4.2 El diseño de mezcla esta propuesto para agregados en condición seco-saturados, debido a las condiciones de obra, se deberá corregir por humedad.  
4.3 Llevar un sistema de control de calidad según lo establece el ACI 318.

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

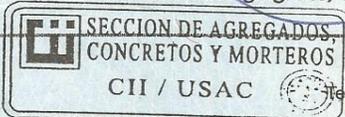
Atentamente,



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

Vo.Bo.

Ing. Francisco Javier Quiñonez de la Cruz  
Director 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  
Página web: http://cii.usac.edu.gt

Fuente: Sección de Agregados, Concretos y Morteros.



**DISEÑO TEÓRICO DE MEZCLA DE CONCRETO  
INFORME SACM - 259  
HOJA 1/1**

**No. 08112**

**O.T. No. 36048**

**INTERESADO:** Nery Rigoberto Velásquez Robledo, Carné 2011 14609.  
**PROYECTO:** Tesis "Análisis comparativo del concreto modificado con polipropileno reciclado y la fibra de polipropileno comercial".  
**DIRECCIÓN:** 5 Calle 6-16 La Montaña de Minerva Zona 11 de Mixco.  
**FECHA:** 5 de julio de 2016.

**1. GENERALIDADES**

1.1 El interesado proporciono el material y solicito a este Centro de Investigaciones, el análisis completo para agregados fino y agregado grueso, para realizar un diseño teórico de mezcla de 3 000 psi (210 kg/cm<sup>2</sup>), con Cemento UGC 4 060 Psi.

**2. CARACTERISTICAS DE LOS AGREGADOS**

2.1 Análisis granulométrico de agregado fino. **INFORME No. S.C. - 216**  
2.2 Análisis granulométrico de agregado grueso. **INFORME No. S.C. - 190**

**3. DISEÑO DE MEZCLA 3**

3.1 Resistencia Nominal 246 kg/cm<sup>2</sup>  
3.2 Resistencia Promedio Requerida 210 kg/cm<sup>2</sup>  
3.3 Relación Agua/Cemento 0,57  
3.4 Asentamiento: 8 - 10 cm (3" - 4")  
3.5 Fibra de polipropileno 1,00 kg/m<sup>3</sup>  
3.6 Datos de la Mezcla:

<b>CONCRETO NORMAL <math>f_c = 210 \text{ kg/cm}^2</math></b>			
<b>MATERIALES</b>	<b>PROPORCIÓN EN PESO</b>	<b>PROPORCIÓN EN VOLUMEN (LITROS)</b>	<b>PROPORCIÓN EN VOLUMEN (kg/m<sup>3</sup>)</b>
CEMENTO	1	1 SACO	350,90
ARENA	2,32	76,40	813,60
PIEDRIN / GRAVA	2,95	85,30	1 035,50
AGUA LIBRE	0,57	24,20	200,00

**4. RECOMENDACIONES**

4.1 Evaluar en obra el diseño propuesto y obtener 6 cilindros de 6" de diámetro y 12" de altura, para su control de resistencia, con el ensayo a compresión, el cual se realiza en el CII/USAC.  
4.2 El diseño de mezcla esta propuesto para agregados en condición seco-saturados, debido a las condiciones de obra, se deberá corregir por humedad.  
4.3 Llevar un sistema de control de calidad según lo establece el ACI 318.

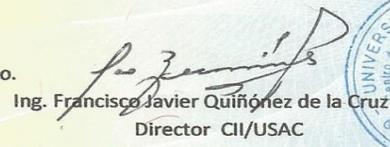
El presente informe representa únicamente las muestras identificadas en el mismo.  
Se prohíbe la reproducción parcial o total sin autorización.

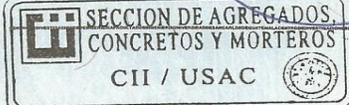
**Atentamente,**

  
Inga. Dilma Yanet Mejicanos Jol

Jefa Sección de Agregados, Concretos y Morteros

Vo.Bo.

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





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



**DISEÑO TEÓRICO DE MEZCLA DE CONCRETO  
INFORME SACM – 260  
HOJA 1/1**

**No. 08114**

**O.T. No. 36048**

**INTERESADO:** Nery Rigoberto Velásquez Robledo, Carné 2011 14609.  
**PROYECTO:** Tesis "Análisis comparativo del concreto modificado con polipropileno reciclado y la fibra de polipropileno comercial".  
**DIRECCIÓN:** 5 Calle 6-16 La Montaña de Minerva Zona 11 de Mixco.  
**FECHA:** 5 de julio de 2016.

**1. GENERALIDADES**

1.1 El interesado proporciono el material y solicito a este Centro de Investigaciones, el análisis completo para agregados fino y agregado grueso, para realizar un diseño teórico de mezcla de 3 000 psi (210 kg/cm<sup>2</sup>), con Cemento UGC 4 060 Psi.

**2. CARACTERISTICAS DE LOS AGREGADOS**

2.1 Análisis granulométrico de agregado fino. INFORME No. S.C. - 216  
2.2 Análisis granulométrico de agregado grueso. INFORME No. S.C. - 190

**3. DISEÑO DE MEZCLA 4**

3.1 Resistencia Nominal 246 kg/cm<sup>2</sup>  
3.2 Resistencia Promedio Requerida 210 kg/cm<sup>2</sup>  
3.3 Relación Agua/Cemento 0,57  
3.4 Asentamiento: 8 - 10 cm (3" - 4")  
3.5 Polipropileno reciclado (material experimental) 0,80 kg/m<sup>3</sup>  
3.6 Datos de la Mezcla:

CONCRETO NORMAL $f'_c = 210 \text{ kg/cm}^2$			
MATERIALES	PROPORCIÓN EN PESO	PROPORCIÓN EN VOLUMEN (LITROS)	PROPORCIÓN EN VOLUMEN (kg/m <sup>3</sup> )
CEMENTO	1	1 SACO	350,90
ARENA	2,32	76,40	813,60
PIEDRIN / GRAVA	2,95	85,30	1 035,50
AGUA LIBRE	0,57	24,20	200,00

**4. RECOMENDACIONES**

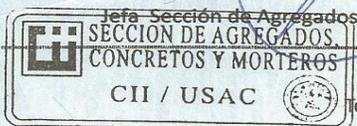
4.1 Evaluar en obra el diseño propuesto y obtener 6 cilindros de 6" de diámetro y 12" de altura, para su control de resistencia, con el ensayo a compresión, el cual se realiza en el CII/USAC.  
4.2 El diseño de mezcla esta propuesto para agregados en condición seco-saturados, debido a las condiciones de obra, se deberá corregir por humedad.  
4.3 Llevar un sistema de control de calidad según lo establece el ACI 318.

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

Atentamente,

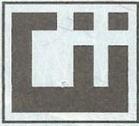
Inga. Dilma Yanet Mejicanos Jol

Vo.Bo.   
Ing. Francisco Javier Quiñonez de la Cruz  
Director 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  
Página web: <http://cii.usac.edu.gt>

Fuente: Sección de Agregados, Concretos y Morteros.



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



**DISEÑO TEÓRICO DE MEZCLA DE CONCRETO  
INFORME SACM - 261  
HOJA 1/1**

**No. 08119**

**O.T. No. 36048**

**INTERESADO:** Nery Rigoberto Velásquez Robledo, Carné 2011 14609.  
**PROYECTO:** Tesis "Análisis comparativo del concreto modificado con polipropileno reciclado y la fibra de polipropileno comercial".  
**DIRECCIÓN:** 5 Calle 6-16 La Montaña de Minerva Zona 11 de Mixco.  
**FECHA:** 5 de julio de 2016.

**1. GENERALIDADES**

1.1 El interesado proporciono el material y solicito a este Centro de Investigaciones, el análisis completo para agregados fino y agregado grueso, para realizar un diseño teórico de mezcla de 3 000 psi (210 kg/cm<sup>2</sup>), con Cemento UGC 4 060 Psi.

**2. CARACTERISTICAS DE LOS AGREGADOS**

2.1 Análisis granulométrico de agregado fino. INFORME No. S.C. - 216  
2.2 Análisis granulométrico de agregado grueso. INFORME No. S.C. - 190

**3. DISEÑO DE MEZCLA 5**

3.1 Resistencia Nominal 246 kg/cm<sup>2</sup>  
3.2 Resistencia Promedio Requerida 210 kg/cm<sup>2</sup>  
3.3 Relación Agua/Cemento 0,57  
3.4 Asentamiento: 8 - 10 cm (3" - 4")  
3.5 Polipropileno reciclado (material experimental) 1,00 kg/m<sup>3</sup>  
3.6 Datos de la Mezcla:

CONCRETO NORMAL $f'_c = 210 \text{ kg/cm}^2$			
MATERIALES	PROPORCIÓN EN PESO	PROPORCIÓN EN VOLUMEN (LITROS)	PROPORCIÓN EN VOLUMEN (kg/m <sup>3</sup> )
CEMENTO	1	1 SACO	350,90
ARENA	2,32	76,40	813,60
PIEDRIN / GRAVA	2,95	85,30	1 035,50
AGUA LIBRE	0,57	24,20	200,00

**4. RECOMENDACIONES**

4.1 Evaluar en obra el diseño propuesto y obtener 6 cilindros de 6" de diámetro y 12" de altura, para su control de resistencia, con el ensayo a compresión, el cual se realiza en el CII/USAC.  
4.2 El diseño de mezcla esta propuesto para agregados en condición seco-saturados, debido a las condiciones de obra, se deberá corregir por humedad.  
4.3 Llevar un sistema de control de calidad según lo establece el ACI 318.

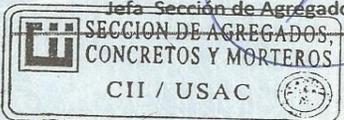
El presente informe representa únicamente las muestras identificadas en el mismo.  
Se prohíbe la reproducción parcial o total sin autorización.

Atentamente,

Inga. Dilma Yanet Mejicanos Jol

Vo.Bo.

Ing. Francisco Javier Quiñonez de la Cruz  
Director 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  
Página web: <http://cii.usac.edu.gt>

Fuente: Sección de Agregados, Concretos y Morteros.



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



**INFORME DE ENSAYO A TENSIÓN INDIRECTA PARA CILINDROS DE CONCRETO No. 08434**

O.T. No. 36050

INFORME SACM - 504

HOJA 1/1

**INTERESADO:** Nery Rigoberto Velasquez Robledo, Carné: 2011 - 14609  
**PROYECTO:** Tesis "Análisis comparativo del concreto modificado con polipropileno reciclado y la fibra de polipropileno comercial".  
**DIRECCIÓN:** 5 calle 6 -16 La Montaña de Minerva, Zona 11 Mixco.  
**FECHA DE INFORME:** 9 de noviembre de 2016

No. CILINDRO OBRA	FECHA DE COLOCACIÓN	FECHA DE RUPTURA	EDAD en días	CILINDRO REPRESENTATIVO DE LA COLOCACIÓN	PESO en kg	DIÁMETRO en cm	ALTURA en cm	CARGA en libras	RESISTENCIA Mpa	RESISTENCIA lb/plg <sup>2</sup>
1	15/07/2016	12/08/2016	28	Concreto Patrón.	12,580	15,100	30,567	40 000	2,50	360
2	15/07/2016	12/08/2016	28	Concreto Patrón.	12,600	15,150	30,560	40 000	2,50	360
1	22/07/2016	19/08/2016	28	Fibra de polipropileno a 0,8 Kg/m <sup>3</sup>	12,400	15,070	30,367	39 000	2,40	350
2	22/07/2016	19/08/2016	28	Fibra de polipropileno a 0,8 Kg/m <sup>3</sup>	12,440	15,100	30,317	35 000	2,20	320
1	01/08/2016	29/08/2016	28	Fibra de polipropileno a 1,0 Kg/m <sup>3</sup>	12,860	15,100	30,277	40 000	2,50	360
2	01/08/2016	29/08/2016	28	Fibra de polipropileno a 1,0 Kg/m <sup>3</sup>	12,830	15,150	30,233	38 000	2,40	350
1	09/08/2016	06/09/2016	28	Fibra de polipropileno reciclado a 0,8 Kg/m <sup>3</sup>	12,810	15,140	30,330	45 000	2,80	410
2	09/08/2016	06/09/2016	28	Fibra de polipropileno reciclado a 0,8 Kg/m <sup>3</sup>	12,940	15,100	30,437	43 000	2,70	390
1	16/08/2016	13/09/2016	28	Fibra de polipropileno reciclado a 1,0 Kg/m <sup>3</sup>	12,390	15,125	30,177	38 000	2,40	350
2	16/08/2016	13/09/2016	28	Fibra de polipropileno reciclado a 1,0 Kg/m <sup>3</sup>	12,480	15,070	30,357	41 000	2,50	360

**OBSERVACIONES :**

- a) Muestra proporcionada por el interesado.
- b) Muestras ensayadas en máquina de compresión TONINDUSTRIE con capacidad de 300,000 libras, dial utilizado para lectura 300 000 libras.
- c) El interesado proporcionó:
  - Fecha de colocación.
  - Edad de ensayo.
  - El representativo de estructura.

El presente informe únicamente es para las muestras identificadas en el mismo.

Se prohíbe la reproducción parcial o total sin autorización

ATENTAMENTE,

Inga. Diana Yancy Mejicanos Jol

Jefa Sección de Agregados, Concretos y Morteros

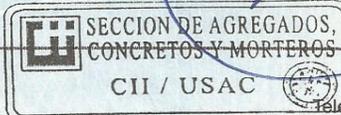
Vo.Bo.

Ing. Francisco Javier Quiñonez de la Cruz

Director CII/USAC



L.L.



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>

Fuente: Sección de Agregados, Concretos y Morteros.



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



**INFORME DE ENSAYO A COMPRESIÓN PARA CILINDROS DE CONCRETO  
NORMA NTG - 41017 h1 (ASTM C-39)**

**No. 08401**

O.T. No. 36049

INFORME SACM - 492

HOJA 1/1

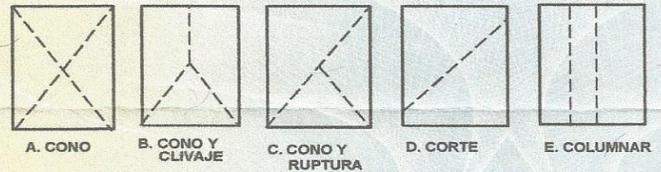
**INTERESADO:** Nery Rigoberto Velaquez Robledo  
**PROYECTO:** Tesis Ingenieria Civil. "Análisis comparativo del concreto modificado con polipropileno reciclado y la fibra de polipropileno comercial"  
**DIRECCIÓN:** 5ta calle 6-16 La Montaña de Minerva zona 11 de Mixco.  
**EMISION DE INFORME:** 8 de noviembre de 2016

No. CILINDRO OBRA	No. CILINDRO LABORATORIO	FECHA DE COLOCACIÓN	FECHA DE RUPTURA	EDAD en días	CILINDRO REPRESENTATIVO DE LA ESTRUCTURA	PESO en kg	DIÁMETRO en cm	ALTURA en cm	CARGA en libras	RESISTENCIA Mpa	RESISTENCIA lb/pulg <sup>2</sup>	TIPO DE FRACTURA
1	13-11	15/07/2016	18/07/2016	3	mezcla patrón	12,360	15,180	30,53	57 000	14,00	2 030	E
2	14-11	15/07/2016	18/07/2016	3	mezcla patrón	12,100	15,145	30,35	51 500	12,70	1 840	C
3	15-11	15/07/2016	22/07/2016	7	mezcla patrón	12,560	15,110	30,51	65 000	16,10	2 340	B
4	16-11	15/07/2016	22/07/2016	7	mezcla patrón	12,430	15,150	30,22	72 500	17,90	2 600	B
5	17-11	15/07/2016	12/08/2016	28	mezcla patrón	12,520	15,150	30,33	99 000	24,40	3 540	E
6	18-11	15/07/2016	12/08/2016	28	mezcla patrón	12,520	15,100	30,10	99 000	24,60	3 570	B

**OBSERVACIONES :**

- Diseño de mezcla 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: 300,000 lbs.
- Cilindros cabeceados según norma ASTM C-1231.
- Asentamiento de mezcla: 2,5 cm. ( 1" )
- Peso unitario: 2 299 Kg/m<sup>3</sup>.
- Contenido de aire: 3,4 %.
- Temperatura: 23,4 °C.

**BOSQUEJO DE TIPOS DE FRACTURA**



El presente informe representa únicamente la muestra identificada en el mismo.  
Se prohíbe la reproducción parcial o total sin autorización.

**ATENTAMENTE,**

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

Vo.Bo.

Ing. Francisco Javier Quinónez de la Cruz  
Director 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  
Página web: <http://cii.usac.edu.gt>

Fuente: Sección de Agregados, Concretos y Morteros.



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



**INFORME DE ENSAYO A COMPRESIÓN PARA CILINDROS DE CONCRETO  
NORMA NTG - 41017 h1 (ASTM C-39)**

**No. 08404**

O.T. No. 36049

INFORME SACM - 495

HOJA 1/1

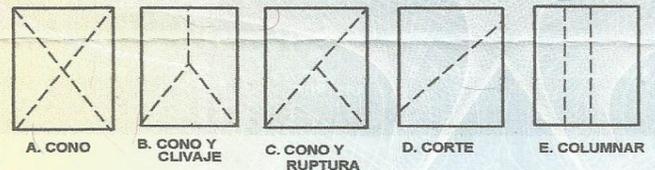
**INTERESADO:** Nery Rigoberto Velaquez Robledo  
**PROYECTO:** Tesis Ingenieria Civil. "Análisis comparativo del concreto modificado con polipropileno reciclado y la fibra de polipropileno comercial"  
**DIRECCIÓN:** 5ta calle 6-16 La Montaña de Minerva zona 11 de Mixco.  
**EMISION DE INFORME:** 8 de noviembre de 2016

No. CILINDRO OBRA	No. CILINDRO LABORATORIO	FECHA DE COLOCACIÓN	FECHA DE RUPTURA	EDAD en días	CILINDRO REPRESENTATIVO DE LA ESTRUCTURA	PESO en kg	DIÁMETRO en cm	ALTURA en cm	CARGA en libras	RESISTENCIA Mpa	RESISTENCIA lib/pig <sup>2</sup>	TIPO DE FRACTURA
1	31-11	22/07/2016	25/07/2016	3	CONCRETO CON FIBRA DE POLIPROPILENO A 0.8 Kg/m <sup>3</sup>	12,240	15,050	30,34	40 000	10,00	1 450	E
2	32-11	22/07/2016	25/07/2016	3	CONCRETO CON FIBRA DE POLIPROPILENO A 0.8 Kg/m <sup>3</sup>	12,240	15,175	30,31	45 000	11,10	1 610	E
3	33-11	22/07/2016	29/07/2016	7	CONCRETO CON FIBRA DE POLIPROPILENO A 0.8 Kg/m <sup>3</sup>	12,380	15,140	30,35	52 500	13,00	1 890	E
4	34-11	22/07/2016	29/07/2016	7	CONCRETO CON FIBRA DE POLIPROPILENO A 0.8 Kg/m <sup>3</sup>	12,320	15,100	30,09	52 000	12,90	1 870	D
5	35-11	22/07/2016	19/08/2016	28	CONCRETO CON FIBRA DE POLIPROPILENO A 0.8 Kg/m <sup>3</sup>	12,440	15,100	30,37	80 000	19,90	2 890	E
6	36-11	22/07/2016	19/08/2016	28	CONCRETO CON FIBRA DE POLIPROPILENO A 0.8 Kg/m <sup>3</sup>	12,450	15,065	30,32	75 000	18,70	2 710	E

**OBSERVACIONES :**

- a) Diseño de mezcla 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: 300,000 lbs.
- d) Cilindros cabeceados según norma ASTM C-1231.
- e) Asentamiento de mezcla: 2,5 cm. ( 1" )
- f) Peso unitario: 2 270 Kg/m<sup>3</sup>.
- g) Contenido de aire: 3 %.
- h) Temperatura: 23,4 °C.

**BOSQUEJO DE TIPOS DE FRACTURA**



El presente informe representa únicamente la muestra identificada en el mismo.  
Se prohíbe la reproducción parcial o total sin autorización.

**ATENTAMENTE,**

Vo.Bo.

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



Inga. Dilma Yanet Mejicanos Jol  
Jefa de Sección 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  
Página web: <http://cii.usac.edu.gt>

Fuente: Sección de Agregados, Concretos y Morteros.



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



**INFORME DE ENSAYO A COMPRESIÓN PARA CILINDROS DE CONCRETO  
NORMA NTG - 41017 h1 (ASTM C-39)**

**No. 08402**

O.T. No. 36049

INFORME SACM - 493

HOJA 1/1

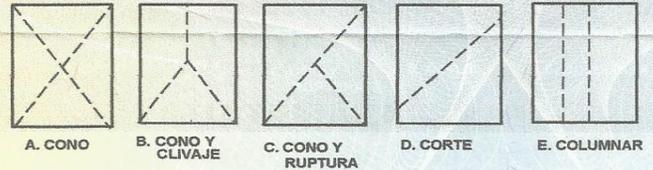
**INTERESADO:** Nery Rigoberto Velaquez Robledo  
**PROYECTO:** Tesis Ingenieria Civil. "Análisis comparativo del concreto modificado con polipropileno reciclado y la fibra de polipropileno comercial"  
**DIRECCIÓN:** 5ta calle 6-16 La Montaña de Minerva zona 11 de Mixco.  
**EMISION DE INFORME:** 8 de noviembre de 2016

No. CILINDRO OBRA	No. CILINDRO LABORATORIO	FECHA DE COLOCACIÓN	FECHA DE RUPTURA	EDAD en días	CILINDRO REPRESENTATIVO DE LA ESTRUCTURA	PESO en kg	DIÁMETRO en cm	ALTURA en cm	CARGA en libras	RESISTENCIA Mpa	RESISTENCIA lb/pig <sup>2</sup>	TIPO DE FRACTURA
1	19-11	01/08/2016	04/08/2016	3	CONCRETO CON FIBRA DE POLIPROPILENO A 1 Kg/m <sup>3</sup>	12,870	15,130	30,23	45 000	11,10	1 610	E
2	20-11	01/08/2016	04/08/2016	3	CONCRETO CON FIBRA DE POLIPROPILENO A 1 Kg/m <sup>3</sup>	12,930	15,080	30,27	43 000	10,70	1 550	E
3	21-11	01/08/2016	08/08/2016	7	CONCRETO CON FIBRA DE POLIPROPILENO A 1 Kg/m <sup>3</sup>	12,860	15,215	30,32	60 000	14,70	2 130	E
4	22-11	01/08/2016	08/08/2016	7	CONCRETO CON FIBRA DE POLIPROPILENO A 1 Kg/m <sup>3</sup>	12,910	15,150	30,23	63 500	15,70	2 280	B
5	23-11	01/08/2016	29/08/2016	28	CONCRETO CON FIBRA DE POLIPROPILENO A 1 Kg/m <sup>3</sup>	12,810	15,140	30,20	90 000	22,20	3 220	E
6	24-11	01/08/2016	29/08/2016	28	CONCRETO CON FIBRA DE POLIPROPILENO A 1 Kg/m <sup>3</sup>	12,820	15,185	30,23	94 000	23,10	3 350	D

**OBSERVACIONES :**

- Diseño de mezcla 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: 300,000 lbs.
- Cilindros cabeceados según norma ASTM C-1231.
- Asentamiento de mezcla: 2,5 cm. ( 1" )
- Peso unitario: 2 370 Kg/m<sup>3</sup>.
- Contenido de aire: 2,6 %.
- Temperatura: 24,4 °C.

**BOSQUEJO DE TIPOS DE FRACTURA**



El presente informe representa únicamente la muestra identificada en el mismo.  
Se prohíbe la reproducción parcial o total sin autorización.

**ATENTAMENTE,**

Vo.Bo.

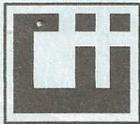
Ing. Francisco Javier Quiñonez de la Cruz  
Director CII/USAC



Inga. Dilma Yansel Mejicanos Jol  
Jefa Sección 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  
Página web: <http://cii.usac.edu.gt>

Fuente: Sección de Agregados, Concretos y Morteros.



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



**INFORME DE ENSAYO A COMPRESIÓN PARA CILINDROS DE CONCRETO  
NORMA NTG - 41017 h1 (ASTM C-39)**

**No. 08405**

O.T. No. 36049

INFORME SACM - 496

HOJA 1/1

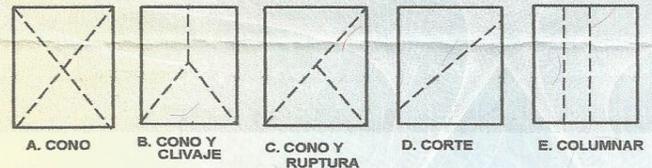
**INTERESADO:** Nery Rigoberto Velaquez Robledo  
**PROYECTO:** Tesis Ingenieria Civil. "Análisis comparativo del concreto modificado con polipropileno reciclado y la fibra de polipropileno comercial"  
**DIRECCIÓN:** 5ta calle 6-16 La Montaña de Minerva zona 11 de Mixco.  
**EMISION DE INFORME:** 8 de noviembre de 2016

No. CILINDRO OBRA	No. CILINDRO LABORATORIO	FECHA DE COLOCACIÓN	FECHA DE RUPTURA	EDAD en días	CILINDRO REPRESENTATIVO DE LA ESTRUCTURA	PESO en kg	DIÁMETRO en cm	ALTURA en cm	CARGA en libras	RESISTENCIA Mpa	RESISTENCIA lib/pig <sup>2</sup>	TIPO DE FRACTURA
1	37-11	09/08/2016	12/08/2016	3	CONCRETO CON POLIPROPILENO RECICLADO A 0.8 Kg/m <sup>3</sup>	12,880	15,100	30,43	34 000	8,40	1 220	E
2	38-11	09/08/2016	12/08/2016	3	CONCRETO CON POLIPROPILENO RECICLADO A 0.8 Kg/m <sup>3</sup>	12,810	15,100	30,27	34 500	8,60	1 250	B
3	39-11	09/08/2016	16/08/2016	7	CONCRETO CON POLIPROPILENO RECICLADO A 0.8 Kg/m <sup>3</sup>	12,790	15,050	30,33	45 000	11,20	1 630	E
4	40-11	09/08/2016	16/08/2016	7	CONCRETO CON POLIPROPILENO RECICLADO A 0.8 Kg/m <sup>3</sup>	12,920	15,065	30,43	55 000	13,70	1 990	B
5	41-11	09/08/2016	06/09/2016	28	CONCRETO CON POLIPROPILENO RECICLADO A 0.8 Kg/m <sup>3</sup>	12,780	15,135	30,20	80 000	19,80	2 870	D
6	42-11	09/08/2016	06/09/2016	28	CONCRETO CON POLIPROPILENO RECICLADO A 0.8 Kg/m <sup>3</sup>	12,850	15,180	30,50	75 000	18,40	2 670	D

**OBSERVACIONES :**

- Diseño de mezcla 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: 300,000 lbs.
- Cilindros cabeceados según norma ASTM C-1231.
- Asentamiento de mezcla: 5 cm. ( 2" )
- Peso unitario: 2 350 Kg/m<sup>3</sup>.
- Contenido de aire: 3 %.
- Temperatura: 23,4 °C.

**BOSQUEJO DE TIPOS DE FRACTURA**



El presente informe representa únicamente la muestra identificada en el mismo.  
Se prohíbe la reproducción parcial o total sin autorización.

**ATENAMENTE,**

*[Signature]*  
 Inga. Dilma Yanet Mejicanos Jol  
 Jefa Sección de Agregados, Concretos y Morteros

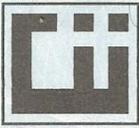
Vo.Bo.

*[Signature]*  
 Ing. Francisco Javier Quinónez de la Cruz  
 Director CII/USAC



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

Fuente: Sección de Agregados, Concretos y Morteros.



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



**INFORME DE ENSAYO A COMPRESIÓN PARA CILINDROS DE CONCRETO  
NORMA NTG - 41017 h1 (ASTM C-39)**

**No. 08403**

O.T. No. 36049

INFORME SACM - 494

HOJA 1/1

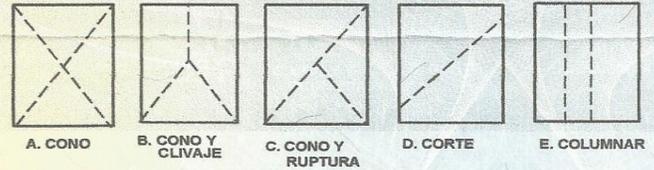
**INTERESADO:** Nery Rigoberto Velaquez Robledo  
**PROYECTO:** Tesis Ingenieria Civil. "Análisis comparativo del concreto modificado con polipropileno reciclado y la fibra de polipropileno comercial"  
**DIRECCIÓN:** 5ta calle 6-16 La Montaña de Minerva zona 11 de Mixco.  
**EMISION DE INFORME:** 8 de noviembre de 2016

Nº. CILINDRO OBRA	Nº. CILINDRO LABORATORIO	FECHA DE COLOCACIÓN	FECHA DE RUPTURA	EDAD en días	CILINDRO REPRESENTATIVO DE LA ESTRUCTURA	PESO en kg	DIÁMETRO en cm	ALTURA en cm	CARGA en libras	RESISTENCIA Mpa	RESISTENCIA lib/pig	TIPO DE FRACTURA
1	25-11	16/08/2016	19/08/2016	3	CONCRETO CON POLIPROPILENO RECICLADO A 1 Kg/m <sup>3</sup>	12,360	15,000	30,17	30 000	7,50	1 090	B
2	26-11	16/08/2016	19/08/2016	3	CONCRETO CON POLIPROPILENO RECICLADO A 1 Kg/m <sup>3</sup>	12,460	15,150	30,31	30 000	7,40	1 070	D
3	27-11	16/08/2016	23/08/2016	7	CONCRETO CON POLIPROPILENO RECICLADO A 1 Kg/m <sup>3</sup>	12,450	15,105	30,23	50 000	12,40	1 800	B
4	28-11	16/08/2016	23/08/2016	7	CONCRETO CON POLIPROPILENO RECICLADO A 1 Kg/m <sup>3</sup>	12,400	15,100	30,27	50 000	12,40	1 800	B
5	29-11	16/08/2016	13/09/2016	28	CONCRETO CON POLIPROPILENO RECICLADO A 1 Kg/m <sup>3</sup>	12,560	15,100	30,33	80 000	19,90	2 890	E
6	30-11	16/08/2016	13/09/2016	28	CONCRETO CON POLIPROPILENO RECICLADO A 1 Kg/m <sup>3</sup>	12,590	15,130	30,34	82 500	20,40	2 960	E

**OBSERVACIONES :**

- Diseño de mezcla 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: 300,000 lbs.
- Cilindros cabeceados según norma ASTM C-1231.
- Asentamiento de mezcla: 5 cm. ( 2" )
- Peso unitario: 2 300 Kg/m<sup>3</sup>.
- Contenido de aire: 2,6 %.
- Temperatura: 22,4 °C.

**BOSQUEJO DE TIPOS DE FRACTURA**



El presente informe representa únicamente la muestra identificada en el mismo.  
Se prohíbe la reproducción parcial o total sin autorización.

**ATENTAMENTE,**

Vo.Bo.

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

*[Firma]*  
Inga. Dilma Yanet Mejicanos Jol  
Jefa Sección de Agregados, Concretos y Morteros  
SECCIÓN 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  
Página web: <http://cii.usac.edu.gt>

Fuente: Sección de Agregados, Concretos y Morteros.

