



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

**PROPIEDADES MECÁNICAS DEL CONCRETO MODIFICADO A BASE DE FIBRAS DE  
NYLON Y POLIPROPILENO PARA SU USO EN ELEMENTOS ESTRUCTURALES**

**José Alberto López Cruz**

Asesorado por la Inga. Dilma Yanet Mejicanos Jol

Guatemala, febrero de 2014

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**PROPIEDADES MECÁNICAS DEL CONCRETO MODIFICADO A BASE DE FIBRAS DE  
NYLON Y POLIPROPILENO PARA SU USO EN ELEMENTOS ESTRUCTURALES**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
POR

**JOSÉ ALBERTO LÓPEZ CRUZ**

ASESORADO POR LA INGA. DILMA YANET MEJICANOS JOL

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

**INGENIERO CIVIL**

GUATEMALA, FEBRERO DE 2014

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE INGENIERÍA



**NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA**

DECANO	Ing. Murphy Olympto Paiz Recinos
VOCAL I	Ing. Alfredo Enrique Beber Aceituno
VOCAL II	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL III	Inga. Elvia Miriam Ruballos Samayoa
VOCAL IV	Br. Walter Rafael Véliz Muñoz
VOCAL V	Br. Sergio Alejandro Donis Soto
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

**TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO**


DECANO	Ing. Murphy Olympto Paiz Recinos
EXAMINADOR	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
EXAMINADOR	Ing. Armando Fuentes Roca
EXAMINADORA	Inga. María del Mar Girón Cordón
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

## HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

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

### **PROPIEDADES MECÁNICAS DEL CONCRETO MODIFICADO A BASE DE FIBRAS DE NYLON Y POLIPROPILENO PARA SU USO EN ELEMENTOS ESTRUCTURALES**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Civil,  
con fecha mayo de 2013.

  
**José Alberto López Cruz**



Guatemala, 8 de octubre de 2013

Ingeniero  
Guillermo Francisco Melini Salguero  
Área de Materiales y Construcciones Civiles  
COORDINADOR

Ingeniero Melini

Me dirijo a usted para informarle, que he revisado el trabajo de graduación **PROPIEDADES MECÁNICAS DEL CONCRETO MODIFICADO A BASE DE FIBRAS DE NYLON Y POLIPROPILENO PARA SU USO EN ELEMENTOS ESTRUCTURALES**, elaborado con el estudiante universitario José Alberto López Cruz, quien contó con la asesoría de la suscrita.

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

Atentamente,

*"Id y enseñad a todos"*

Inga. Civil Dilma Yanet Mejicanos Jol  
Col. 5947  
ASESORA





**USAC**  
TRICENTENARIA  
Universidad de San Carlos de Guatemala

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



Universidad de San Carlos de Guatemala  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
Escuela de Ingeniería Civil

Guatemala,  
12 de noviembre de 2013

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 PROPIEDADES MECÁNICAS DEL CONCRETO MODIFICADO A BASE DE FIBRAS DE NYLON Y POLIPROPILENO PARA SU USO EN ELEMENTOS ESTRUCTURALES, desarrollado por el estudiante de Ingeniería Civil José Alberto López Cruz quien contó con la asesoría de la Inga. Dilma Yanet Mejicanos Jol.

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

Atentamente,

ID Y ENSEÑAD A TODOS

*Guillermo Melini*

~~Ing. Civil Guillermo Francisco Melini Salguero~~  
Coordinador del Área de Materiales y  
Construcciones Civiles



FACULTAD DE INGENIERIA  
AREA DE MATERIALES Y  
CONSTRUCCIONES CIVILES  
USAC

/bbdeb,  
Mas de 134 años de Trabajo Académico y Mejora Continua





**USAC**  
TRICENTENARIA  
Universidad de San Carlos de Guatemala

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

Universidad de San Carlos de Guatemala  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
Escuela de Ingeniería Civil



El director de la Escuela de Ingeniería Civil, después de conocer el dictamen de la Asesora Inga. Dilma Yanet Mejicanos Jol y del Coordinador del Área de Materiales y Construcciones Civiles, Ing. Guillermo Francisco Melini Salguero, al trabajo de graduación del estudiante José Alberto López Cruz, titulado **PROPIEDADES MECÁNICAS DEL CONCRETO MODIFICADO A BASE DE FIBRAS DE NYLON Y POLIPROPILENO PARA SU USO EN ELEMENTOS ESTRUCTURALES**, da por este medio su aprobación a dicho trabajo.

  
Ing. Hugo Leonel Montenegro Franco



Guatemala, febrero 2014.

/bbdeb.

Mas de 134 años de Trabajo Académico y Mejora Continua





El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Civil, al trabajo de graduación titulado: **PROPIEDADES MECÁNICAS DEL CONCRETO MODIFICADO A BASE DE FIBRAS DE NYLON Y POLIPROPILENO PARA SU USO EN ELEMENTOS ESTRUCTURALES**, presentado por el estudiante universitario: **José Alberto López Cruz**, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE

Ing. Murphy Olympto Paiz Rosinos  
Decano



Guatemala, 13 de febrero de 2014



## **ACTO QUE DEDICO A:**

- Dios** Por darme la sabiduría y conducirme por el camino correcto, y permitirme conseguir esta meta en mi vida.
- Mis padres** Jorge Mario López Pérez y Gladis Eugenia Cruz, por su amor, sacrificio y apoyo incondicional para lograr esta meta hoy alcanzada.
- Mis hermanos** Zury Maydee, Jorge Mario, Pedro Aníbal y Juan Carlos López Cruz, por apoyarme en todo momento, gracias, los quiero mucho.
- Mi familia** Por alentarme a seguir y por el aprecio hacia mi persona.
- Mi hermano** Jorge Mario López Cruz, por brindarme su apoyo siempre, ya que sin él no hubiera logrado esta meta.

## **AGRADECIMIENTOS A:**

<b>Dios</b>	Por estar en cada momento de mi vida, permitirme cerrar una etapa y compartirla con las personas que quiero.
<b>Facultad de Ingeniería USAC</b>	Por brindarme una formación académica profesional.
<b>Mis amigos</b>	Es una lista muy grande, pero todos formaron parte de muchas experiencias en el estudio y en la vida.
<b>Inga. Dilma Mejicanos</b>	Por la colaboración y asesoría durante el trabajo de investigación.
<b>CII/USAC</b>	A todo el personal por la colaboración en el proceso práctico del trabajo de investigación.
<b>Mario Cortave</b>	Por todo el apoyo y consejos durante mi carrera universitaria.
<b>Carolina Montenegro</b>	Por la motivación y nunca abandonarme en los momentos más difíciles.

## ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	VII
LISTA DE SÍMBOLOS .....	XI
GLOSARIO .....	XIII
RESUMEN.....	XVII
OBJETIVOS.....	XIX
INTRODUCCIÓN.....	XXI
1. CONCRETO.....	1
1.1. ¿Qué es el concreto? .....	1
1.2. Propiedades generales del concreto .....	3
1.2.1. Trabajabilidad .....	3
1.2.2. Resistencia .....	4
1.2.2.1. Resistencia a compresión.....	4
1.2.2.2. Resistencia a tensión.....	5
1.2.2.3. Resistencia a flexión.....	6
1.2.3. Peso unitario.....	7
1.2.4. Compacidad del concreto .....	7
1.2.5. Porosidad.....	9
1.2.5.1. Macroporos.....	9
1.2.5.2. Poros capilares .....	9
1.2.5.3. Microporos .....	10
1.3. Curado del concreto .....	11
1.4. Velocidad de endurecimiento .....	11

2.	POLÍMEROS.....	13
2.1.	Definición .....	13
2.2.	Producción de los polímeros .....	13
2.2.1.	Polimerización en cadena .....	13
2.2.2.	Polímeros de reacciones por pasos .....	14
2.3.	Clasificación de los polímeros.....	14
2.3.1.	Por su estructura química.....	15
2.3.1.1.	Polímeros de cadena carbónica .....	15
2.3.1.2.	Polímeros de cadena heterogénea .....	16
2.3.2.	Clasificación por su comportamiento mecánico .....	16
2.3.3.	Clasificación por su desempeño mecánico .....	18
3.	CONCRETO MODIFICADO CON FIBRAS SINTÉTICAS O POLIMÉRICAS .....	21
3.1.	Antecedentes .....	21
3.2.	Definición .....	22
3.3.	Fibras sintéticas utilizadas en las mezclas de concreto .....	23
3.3.1.	<i>Nylon</i> .....	25
3.3.2.	Polipropileno.....	25
3.3.3.	Polietileno.....	26
3.3.4.	Poliéster .....	28
3.4.	Fibras a utilizar .....	29
3.4.1.	<i>Nylon</i> .....	30
3.4.2.	Polipropileno.....	33
4.	DESARROLLO EXPERIMENTAL.....	37
4.1.	Normas y ensayos aplicados al diseño de mezcla.....	37
4.1.1.	Norma NTG-41007. Especificación estándar de agregados para concreto (ASTM C-33) .....	38

4.1.1.1.	Objeto .....	38
4.1.2.	Norma NTG-41052. Método de prueba estándar para el asentamiento del concreto (ASTM C-143).....	39
4.1.2.1.	Significación y utilización .....	40
4.1.2.2.	Procedimiento.....	40
4.1.3.	Norma NTG-41053. Método de prueba estándar para la medición de la temperatura del concreto hidráulico recién mezclado (ASTM C-1064) .....	42
4.1.3.1.	Procedimiento.....	42
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).....	43
4.1.4.1.	Significado y utilización.....	43
4.1.4.2.	Procedimiento.....	44
4.1.5.	Norma NTG-41017h5. Método de prueba estándar para determinar el peso unitario del concreto (ASTM C-138).....	47
4.1.5.1.	Procedimiento.....	47
4.1.6.	Norma NTG-41060. Practica estándar para preparación y curado de especímenes de ensayo de concreto en laboratorio (ASTM C-192)..	47
4.1.6.1.	Procedimiento.....	48
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).....	52
4.1.7.1.	Significación y uso .....	52

4.1.7.2.	Procedimiento .....	54
4.1.8.	Norma NTG-41017h1. Método de prueba estándar para la resistencia a la compresión de especímenes cilíndricos de concreto (ASTM C-39) .....	56
4.1.8.1.	Importancia y uso .....	56
4.1.8.2.	Procedimiento .....	58
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 en los tercios de la luz (ASTM C-78) .....	60
4.1.9.1.	Significado y uso .....	60
4.1.9.2.	Procedimiento .....	61
4.1.10.	Norma NTG-41017h15. Método de prueba estándar para la resistencia a tracción indirecta de especímenes cilíndricos de concreto (ASTM C-496) .....	63
4.1.10.1.	Significado y utilización .....	64
4.1.10.2.	Procedimiento .....	65
4.2.	Análisis completo para agregados .....	65
4.2.1.	Agregado fino .....	66
4.2.1.1.	Granulometría .....	66
4.2.2.	Agregado grueso.....	68
4.2.2.1.	Granulometría .....	68
4.3.	Análisis de fibras sintéticas en adición.....	69
4.3.1.	Fibra de polipropileno.....	69
4.3.2.	Fibra de <i>nylon</i> .....	72
4.4.	Diseño de mezcla.....	73

4.4.1.	Diseño teórico de mezcla de concreto.....	74
4.4.1.1.	Diseño teórico de mezcla patrón .....	75
4.4.1.2.	Diseño teórico de mezcla con fibra de polipropileno .....	75
4.4.1.3.	Diseño teórico de mezcla con fibra de <i>nylon</i> .....	76
4.4.2.	Diseño práctico de mezcla.....	77
4.4.2.1.	Pesaje de los materiales.....	78
4.4.2.2.	Mezclado de los materiales .....	79
4.4.2.3.	Ensayos al concreto fresco.....	80
4.4.2.4.	Resultados de ensayos al concreto fresco.....	93
4.4.2.5.	Ensayos al concreto endurecido.....	97
4.4.2.6.	Resultados de ensayos al concreto endurecido .....	104
4.4.2.6.1.	Resultado de ensayos a compresión .....	105
4.4.2.6.2.	Resultado de ensayos a flexión .....	108
4.4.2.6.3.	Resultado de ensayos a tensión indirecta .....	109
5.	COMPARACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	113
5.1.	Concreto sin adición .....	114
5.2.	Concreto con fibra de polipropileno .....	115
5.3.	Concreto con fibras de <i>nylon</i> .....	116
5.4.	Comparación de resultados de las distintas mezclas .....	118
5.4.1.	Gráficas .....	119
5.5.	Interpretación de los resultados.....	121

5.5.1.	Análisis de las distintas mezclas ensayadas a compresión.....	122
5.5.2.	Análisis de las distintas mezclas ensayadas a tensión indirecta .....	123
5.5.3.	Análisis de las distintas mezclas ensayadas a flexión.....	124
CONCLUSIONES.....		127
RECOMENDACIONES .....		129
BIBLIOGRAFÍA.....		131
ANEXOS.....		135



## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

### FIGURAS

1.	Conformación de la estructura porosa del concreto .....	10
2.	Fibra de polipropileno .....	70
3.	Ensayos a la fibra .....	71
4.	Fibra de <i>nylon</i> .....	72
5.	Ensayos a la fibra .....	73
6.	Pesaje de los materiales.....	78
7.	Mezclado de los materiales .....	80
8.	Llenado y apisonado en ensayo de asentamiento.....	81
9.	Medición del asentamiento del concreto.....	81
10.	Prueba de temperatura del concreto .....	82
11.	Ensayo de peso unitario del concreto.....	83
12.	Enrase y limpieza exterior del recipiente .....	84
13.	Ensayo para el contenido de aire del concreto.....	85
14.	Tamizado del mortero.....	86
15.	Llenado de la viga con mortero .....	87
16.	Penetración del mortero a diferentes intervalos de tiempo.....	87
17.	Llenado de especímenes.....	90
18.	Especímenes terminados .....	90
19.	Desencofrado y curado de especímenes .....	91
20.	Fundición de vigas.....	92
21.	Vigas terminadas.....	92
22.	Maquina de ensayos a compresión Riehle .....	98
23.	Pesaje y medición de probetas.....	99

24.	Ensayo a compresión.....	100
25.	Máquina universal .....	101
26.	Ensayo a flexión de vigas.....	102
27.	Análisis de la fractura .....	102
28.	Ensayo a tracción indirecta .....	104
29.	Comportamiento de las mezclas ensayadas a compresión .....	119
30.	Comportamiento de las mezclas ensayadas a tensión .....	120
31.	Comportamiento de las mezclas ensayadas a flexión.....	120

## TABLAS

I.	Propiedades de la fibra de <i>nylon</i> .....	32
II.	Propiedades de la fibra de polipropileno .....	36
III.	Resumen de resultados .....	66
IV.	Resultados granulometría del agregado fino .....	67
V.	Resumen de resultados .....	68
VI.	Resultados granulometría del agregado grueso .....	69
VII.	Caracterización de fibra 1 a .....	71
VIII.	Caracterización de fibra 2 b .....	73
IX.	Datos del diseño teórico de la mezcla patrón .....	75
X.	Datos del diseño teórico con fibra de polipropileno.....	76
XI.	Datos del diseño teórico con fibra de <i>nylon</i> .....	77
XII.	Cantidad de material por bachada .....	79
XIII.	Resultados de ensayos al concreto fresco.....	93
XIV.	Resultado velocidad de endurecimiento del concreto .....	94
XV.	Resultados de ensayos al concreto fresco 1 a.....	94
XVI.	Resultado de ensayos al concreto fresco 2 b .....	95
XVII.	Resultado velocidad de endurecimiento del concreto .....	95
XVIII.	Resultados de ensayos al concreto fresco 1 a.....	96

XIX.	Resultado de ensayos al concreto fresco 2 b.....	96
XX.	Resultado velocidad de endurecimiento del concreto .....	97
XXI.	Resultado a compresión de mezcla patrón .....	105
XXII.	Resultados a compresión de mezcla con 100 % polipropileno...	106
XXIII.	Resultados a compresión de mezcla con 60 % polipropileno.....	106
XXIV.	Resultados a compresión de mezcla con 100 % <i>nylon</i> .....	107
XXV.	Resultados a compresión de mezcla con 60 % <i>nylon</i> .....	107
XXVI.	Resultados de ensayos de resistencia a la flexión .....	109
XXVII.	Resultados a tensión indirecta de mezcla patrón .....	110
XXVIII.	Resultados a tensión indirecta de mezcla con 100 % polipropileno .....	110
XXIX.	Resultados a tensión indirecta de mezcla con 60 % polipropileno .....	111
XXX.	Resultados a tensión indirecta de mezcla con 100 % <i>nylon</i> .....	111
XXXI.	Resultados a tensión indirecta de mezcla con 60 % <i>nylon</i> .....	112
XXXII.	Resultado de mezcla patrón.....	114
XXXIII.	Resultados de mezclas con fibra de polipropileno.....	115
XXXIV.	Resultado de mezclas con fibra de <i>nylon</i> .....	117
XXXV.	Comparación de resultados de ensayos realizados .....	118



## LISTA DE SÍMBOLOS

<b>Símbolo</b>	<b>Significado</b>
<b>cm</b>	Centímetro
<b>°C</b>	Grados celsius
<b>kg</b>	Kilogramo
<b>Psi</b>	Libras por pulgada cuadrada
<b>m</b>	Metro
<b>Mpa</b>	MegaPascales
<b>min</b>	Minutos
<b>mm</b>	Milímetro
<b>%</b>	Porcentaje
<b>F'c</b>	Resistencia máxima del concreto a compresión
<b>UV</b>	Ultravioleta



## GLOSARIO

<b>Agregado</b>	Material granular duro de composición mineralógica como la arena, grava, escoria o la roca triturada, usado para ser mezclado en diferentes tamaños.
<b>Adherencia</b>	Atracción molecular entre las superficies de dos cuerpos heterogéneos puestos en contacto.
<b>Aglomerantes</b>	Materiales que en estado pastoso, tienen la propiedad de poderse moldear, adherirse fácilmente a otros materiales, de unirlos entre sí, endurecerse y alcanzar resistencia.
<b>Agregado grueso</b>	Agregado retenido en el tamiz de 4,75 milímetros (#4).
<b>Agregado fino</b>	Agregado que pasa el tamiz de 4,75 milímetros (#4).
<b>Asbesto</b>	Es un grupo de minerales metamórficos fibrosos.
<b>ASTM</b>	American Society for Testing and Materials.
<b>Ductilidad</b>	Es una propiedad de algunos materiales, los cuales bajo la acción de una fuerza, pueden deformarse y estirarse sin romperse.

<b>Fraguado</b>	Proceso de endurecimiento y pérdida de plasticidad del concreto, procedente de la reacción química del cemento y el agua.
<b>Granulometría</b>	Es la medición y graduación que se lleva cabo de los granos de una formación sedimentaria, así como de los suelos.
<b>Heterogéneo</b>	Que esta formado por elementos de distinta clase o naturaleza.
<b>Homogéneo</b>	Que esta formado por elementos con una serie de características comunes referidas a su clase o naturaleza que permiten establecer entre ellos una relación de semejanza.
<b>Material pétreo</b>	Son los materiales naturales como las rocas que sirven como base para elaborar componentes de una obra civil.
<b>Matriz cementante</b>	Elemento compuesto por 2 o más materiales en el cual uno de ellos sirve como aglutinante.
<b>Mortero</b>	Es una mezcla de conglomerantes inorgánicos, áridos y agua que sirve para pegar elementos de construcción.



<b>Polímero</b>	Sustancia que consiste en grandes moléculas formadas por muchas unidades pequeñas que se repiten llamadas monómeros.
<b>Polimerización</b>	Es un proceso químico por el que los reactivos monómeros (reactivos de baja densidad) se agrupan químicamente entre si.
<b>Segregación</b>	Hace referencia a apartar, en el caso de una mezcla de concreto, se refiere a la separación de los agregados y la matriz cementante.



## RESUMEN

El concreto modificado con polímeros ha sido utilizado en la construcción desde hace muchos años, tal es el caso en las estructuras de pavimentos, puentes, concreto lanzado, tuberías de agua residual, paneles decorativos, entre otros.

En este trabajo de investigación, se realizarán varias mezclas modificadas con la adición de fibras sintéticas, las cuales fueron *nylon* y polipropileno, se estudia el efecto que tiene la incorporación de fibras cortas en las propiedades de concreto en estado fresco y endurecido, se utilizaran 2 porcentajes de adición de fibra para verificar si las propiedades mecánicas se mejoran con la adición, la comparación se realizará con una mezcla tradicional que no tenga ninguna adición. Las propiedades a estudiar, serán resistencia a compresión, tensión indirecta y flexión, todos estos procesos estarán regidos por las Normas Técnicas Guatemaltecas (NTG).

Los resultados de los ensayos, han reflejado que la adición de fibras sintéticas a las mezclas de concreto si modifica las mezclas, ya que provee un aumento de resistencia al concreto, y no afectan de ninguna manera al concreto en estado fresco, ya que la trabajabilidad del concreto no se afecta, tampoco la porosidad ni la velocidad de endurecimiento. Por lo tanto la adición de fibras de *nylon* o polipropileno al concreto es recomendable, y más para elementos estructurales que trabajan a tensión indirecta y flexión.



## **OBJETIVOS**

### **General**

Determinar si las fibras sintéticas proveen de mejores propiedades mecánicas a las mezclas de concreto para su uso en elementos estructurales.

### **Específicos**

1. Evaluar si la adición de fibras en las mezclas de concreto, aumentan la resistencia en elementos sometidos a compresión, tensión indirecta y flexión.
2. Utilizar dos porcentajes distintos de fibra en cada diseño de mezcla para determinar si la resistencia aumenta en función de la cantidad de fibra.
3. Determinar si la adición de fibras sintéticas en las mezclas de concreto, afectan la velocidad de endurecimiento de la misma.
4. Evaluar si las fibras realizan algún trabajo al momento de que el concreto falla y de esta manera evitar que existan fallas explosivas.
5. Determinar si las fibras evitan el agrietamiento del concreto y así tener un control de las fisuras y agrietamientos.



## INTRODUCCIÓN

Dada la modernización que se está viviendo en la actualidad, se ve la necesidad de que nuevos materiales se abran camino en diversas aplicaciones relacionadas a la construcción, los fines como seres humanos, es estar un paso adelante de la innovación tecnológica que algunos llaman la revolución de la ciencia de los materiales, es por eso que en la construcción se desarrollan nuevos métodos y formas de mejorar ciertas propiedades de las mezclas de concreto, el concreto modificado con polímeros, es un material compuesto, formado por la combinación de agregados minerales, cemento Portland y algún tipo de polímero, en este caso se utilizarán fibras sintéticas.

El concreto es un material versátil, que puede encontrarse en todo tipo de construcciones y gran parte de lo que rodea al ser humano, se hace de concreto, sin embargo los avances en ingeniería civil han creado nuevas exigencias hacia el concreto, impulsando así investigaciones con el propósito de hallar técnicas y tecnologías que permitan mezclas de concreto más resistentes, eficientes y económicas.

Se realizará el estudio de las propiedades mecánicas del concreto modificado con fibras sintéticas de origen polimérico, y se determinará si las propiedades mecánicas mejoran con la adición de fibras de *nylon* y polipropileno, se realizarán especímenes con las mezclas modificadas para que posterior a su fraguado se ensayen a diferentes edades y así determinar si la resistencia a compresión, tensión indirecta y flexión aumentan, con estos resultados se determinará si favorecen o debilitan las estructuras de concreto.





# 1. CONCRETO

Es un material pétreo, durable y resistente; pero, dado que se trabaja en su forma líquida, puede adquirir prácticamente cualquier forma. Esta combinación de características, es la razón principal por la que es un material de construcción tan popular, empleado para todo tipo de construcciones.

## 1.1. ¿Qué es el concreto?

El concreto de uso común o convencional, se produce mediante la mezcla de 3 componentes esenciales: cemento, agua y agregados, a los cuales, eventualmente, se incorpora un cuarto componente que, genericamente, se designa como aditivo.

Al mezclar estos componentes y producir lo que se conoce como una revoltura de concreto, se introduce de manera simultánea un quinto elemento; el aire. La mezcla íntima de los componentes del concreto convencional produce una masa plástica que puede ser moldeada y compactada con relativa facilidad; pero gradualmente pierde esta característica hasta que a cierto tiempo se torna rígida y comienza a adquirir el aspecto, comportamiento y propiedades de un cuerpo sólido, para convertirse finalmente en el material mecánicamente resistente, que es el concreto endurecido.

La representación común del concreto convencional en estado fresco, lo identifica como un conjunto de fragmentos de roca, globalmente definidos como agregados, dispersos en una matriz viscosa constituida por una pasta de cemento de consistencia plástica.

Esto significa que en una mezcla así hay muy poco o ningún contacto entre las partículas de los agregados, característica que tiende a permanecer en el concreto ya endurecido. Consecuentemente con ello, el comportamiento mecánico de este material y su durabilidad en servicio, depende de 3 aspectos básicos:

- Las características, composición y propiedades de la pasta de cemento, o matriz cementante, endurecida.
- La calidad propia de los agregados, en el sentido más amplio.
- La afinidad de la matriz cementante con los agregados y su capacidad para trabajar en conjunto.

En el primer aspecto, debe contemplarse la selección de un cementante apropiado, el empleo de una relación agua/cemento conveniente, y el uso eventual de un aditivo necesario, con todo lo cual debe resultar potencialmente asegurada la calidad de la matriz cementante. De la esmerada atención a estos 3 aspectos básicos, depende sustancialmente la capacidad potencial del concreto, como material de construcción, para responder adecuadamente a las acciones resultantes de las condiciones en que debe prestar servicio.

Pero esto, que sólo representa la previsión de emplear el material potencialmente adecuado, no basta para obtener estructuras resistentes y durables, pues requiere conjugarse con el cumplimiento de previsiones igualmente eficaces en cuanto al diseño, especificación, construcción y mantenimiento de las propias estructuras.

## **1.2. Propiedades generales del concreto**

El concreto presenta 2 estados fundamentales desde el punto de vista práctico. El estado fresco o plástico, en el que admite ser manipulado para su adaptación a los encofrados previstos y el estado endurecido en el que ha adquirido una rigidez tal que impide su manipulación sin producir fracturas visibles o no irreversibles. Estos estados son sinónimos de la fase de colocación en obra y de uso.

El concreto fresco, es el producto inmediato del amasado de sus componentes. Desde el primer momento se están produciendo en su masa reacciones químicas que condicionan sus características finales como material endurecido. Reacciones que se prolongan sustancialmente hasta unos años después de su amasado. El concreto fresco, es una masa heterogénea de fases sólidas, líquidas y gaseosas que se distribuyen en igual proporción si esta bien amasado.

El carácter de concreto endurecido, lo adquiere el concreto a partir del final de fraguado. El concreto endurecido se compone del árido, la pasta de cemento endurecido (que incluye el agua que ha reaccionado con los compuestos del cemento) y las red de poros abiertos o cerrados, resultado de la evaporación del agua sobrante, el aire ocluido (natural o provocado por un aditivo). Las propiedades generales del hormigón fresco y endurecido son:

### **1.2.1. Trabajabilidad**

Se denomina así a la facilidad de colocar, consolidar y acabar al concreto recién mezclado. El concreto debe ser trabajable pero no se debe permitir que se segregue excesivamente. El sangrado es la migración del agua hacia la

superficie superior del concreto recién mezclado, producto del asentamiento de los materiales sólidos (cemento, arena y piedra) dentro de la masa. Este asentamiento es consecuencia del efecto combinado de la vibración y de la gravedad. El sangrado excesivo produce un aumento en la relación agua/cemento cerca de la superficie superior, pudiendo provocarse como resultado una capa superior débil de baja durabilidad, especialmente si se llevan a cabo las actividades de acabado, mientras esta presente el agua de sangrado.

### **1.2.2. Resistencia**

Como material estructural, estas características son generalmente las que determinan su aptitud para el uso que se le desee dar.

Los principales factores que afectan la resistencia, son la relación agua/cemento y la edad, o el grado al que haya progresado la hidratación. La resistencia a la compresión se puede definir como la máxima resistencia medida de un espécimen de concreto o de mortero a carga axial compresiva. Generalmente se expresa en libras por pulgada cuadrada (psi) o kilogramos por centímetro cuadrado, a una edad de 28 días, se le designa con el símbolo  $f'_c$ .

#### **1.2.2.1. Resistencia a compresión**

La resistencia a la compresión del concreto, es la medida más común de desempeño que emplean los ingenieros para diseñar edificios y otras estructuras.

La resistencia a la compresión se mide con probetas cilíndricas de concreto en una máquina de ensayos a compresión, en tanto la resistencia a

la compresión se calcula a partir de la carga de ruptura dividida entre el área de la sección que resiste a la carga.

La resistencia a la compresión del concreto, es su propiedad física fundamental, el concreto de uso general tiene una resistencia a la compresión entre 210 y 350 kilogramos por centímetro cuadrado. El concreto de alta resistencia tiene una resistencia a la compresión de por lo menos 420 kilogramos por centímetro cuadrado. Resistencias de 1 400 kilogramos por centímetro cuadrado se han llegado a utilizar en aplicaciones de construcciones especiales.

#### **1.2.2.2. Resistencia a tensión**

La resistencia a la tracción del concreto, es una forma de comportamiento de gran interés para el diseño y control de calidad en todo tipo de obra y en especial las estructuras hidráulicas y de pavimentación. Sin embargo en razón de que los métodos de ensayo a la tracción aparecen tardíamente, en la década de los cincuenta, la resistencia a la compresión mantiene su hegemonía como indicador de la calidad, principalmente por el largo tiempo de aplicación que ha permitido acumular valiosa experiencia.

Inicialmente, la determinación de la resistencia a la tracción del concreto, se efectuó por ensayos de flexo tracción. Posteriormente, se han desarrollado 2 métodos de prueba conocidos, como ensayos de tracción directa por hendimiento, también denominado de compresión diametral que se puede realizar según la Norma ASTM C-496.

El concreto se caracteriza por tener una excelente resistencia a la compresión, sin embargo su capacidad a la tensión es tan baja que se le

desprecia para propósitos estructurales. La poca capacidad del concreto a la tensión le ayuda a disminuir los agrietamientos que se pueden producir por la influencia de tensiones inducidas por restricciones estructurales, cambios volumétricos u otros fenómenos, generalmente el valor de la capacidad a la tensión se encuentra alrededor del 9 por ciento de la capacidad a compresión en concretos de peso y resistencia normal.

### **1.2.2.3. Resistencia a flexión**

Es una medida de la resistencia a la tracción del concreto. Es una medida de la resistencia a fallar por momento de una viga o losa de concreto no reforzado. Se mide mediante la aplicación de cargas a vigas de concreto de 6 x 6 pulgadas (150 x 150 milímetros) de sección transversal y con luz de como mínimo 3 veces el espesor. La resistencia a la flexión se expresa como el Módulo de Rotura (MR) en libras por pulgada cuadrada (Mpa) y es determinada mediante los métodos de ensayo ASTM C-78 (cargada en los puntos tercios) o ASTM C-293 (cargada en el punto medio).

El Módulo de Rotura (MR), es cerca del 10 al 20 por ciento de la resistencia a la compresión, en dependencia del tipo, dimensiones y volumen del agregado grueso utilizado, sin embargo, la mejor correlación para los materiales específicos, es obtenida mediante ensayos de laboratorio para los materiales dados y el diseño de mezcla. El Módulo de Rotura (MR), determinado por la viga cargada en los puntos tercios, es más bajo que el módulo de rotura determinado por la viga cargada en el punto medio, en algunas ocasiones, tanto como en un 15 por ciento.

### **1.2.3. Peso unitario**

Es el peso que tiene un volumen determinado, tiene gran importancia al momento de diseñar una estructura, pues es este el que determinará el peso final de la estructura. En el caso del concreto de uso convencional (para pavimentos, edificios y en otras estructuras), se estima que tiene un peso unitario en el rango de 2 240 y 2 400 kilogramos por metro cúbico.

El peso unitario del concreto puede variar, dependiendo de las cantidades y de la densidad relativa de los agregados, así como de la cantidad del aire contenido (atrapado o incluido intencionalmente), y de los contenidos de agua y de cemento, los que a su vez se ven influenciados por el tamaño máximo del agregado a utilizar. Para el diseño de estructuras de concreto, generalmente se supone que la combinación del concreto convencional y de las barras de refuerzo (concreto reforzado), tiene un peso unitario de 2 400 kilogramos por metro cúbico.

### **1.2.4. Compacidad del concreto**

Hace referencia a la capacidad de acomodamiento que tienen las partículas de los materiales sólidos que lo componen, y esta definida como la cantidad de materiales sólidos (en volumen absoluto), por unidad de volumen de concreto.

Una alta compacidad, conduce por lo tanto a un alto peso unitario del concreto, dentro de ciertos límites. La compacidad, depende en una buena medida de la calidad y cantidad de los materiales del concreto, lo cual afecta a su vez la solidez del material (un cemento de baja calidad y /o una cuantía baja del mismo, no garantizan una buena solidez).

Por otra parte, dada la naturaleza heterogénea del concreto (por la diversidad de sus componentes), la compacidad se puede ver afectada por el fenómeno de segregación, cuando la mezcla se encuentra en estado plástico. Por ello, la correcta distribución de todos y cada uno de los componentes, a través de su masa, es importante para mantenerlo tan homogéneo como sea posible.

Para que un concreto sea compacto, denso, sólido, homogéneo y por lo tanto resistente y durable, se requiere lo siguiente:

- El uso de un cementante (cemento Portland más eventuales adiciones), de buena calidad y la aplicación de bajas relaciones agua/material cementante.
- El uso de agregados densos, poco porosos y bien gradados (compensados en su relación arena/agregado total).
- El más bajo contenido posible de agua de mezclado, lo cual se logra con el uso de aditivos reductores de agua.
- Un adecuado manejo y una correcta colocación de compactación (sin segregación) del concreto dentro de la formaleta.
- Un cuidadoso procedimiento de retiro de las formaletas.
- Una protección y un curado apropiados, después del fraguado final de la mezcla, acompañado de buenas prácticas de protección y puesta en servicio.



Sin embargo, aún con una alta compacidad y una buena homogeneidad, el concreto presenta en su interior una estructura relativamente porosa; y, eventualmente microfisuras o fisuras. La estructura, forma y tamaño de los poros, lo mismo que la configuración de las fisuras, dependen de muchos factores. Para entender entonces la estructura porosa del concreto, se definirán los siguientes términos.

### **1.2.5. Porosidad**

Esta definida como la cantidad de espacios vacíos que quedan inmersos dentro de la masa del material, como consecuencia de la evaporación del agua libre de la mezcla y de la presencia de aire naturalmente atrapado. Los poros del concreto, dependiendo de su tamaño, se subdividen en:

#### **1.2.5.1. Macroporos**

Estos, corresponden a las burbujas de aire que quedan naturalmente atrapadas y/o intencionalmente incluidas (mediante un aditivo incluso de aire) en la masa de concreto. Es decir, que constituyen los llamados poros de compactación y poros de aire ocluido (aire incluido). En general, su diámetro es mayor de 0,2 milímetros (200 micras) y no suelen estar interconectados.

#### **1.2.5.2. Poros capilares**

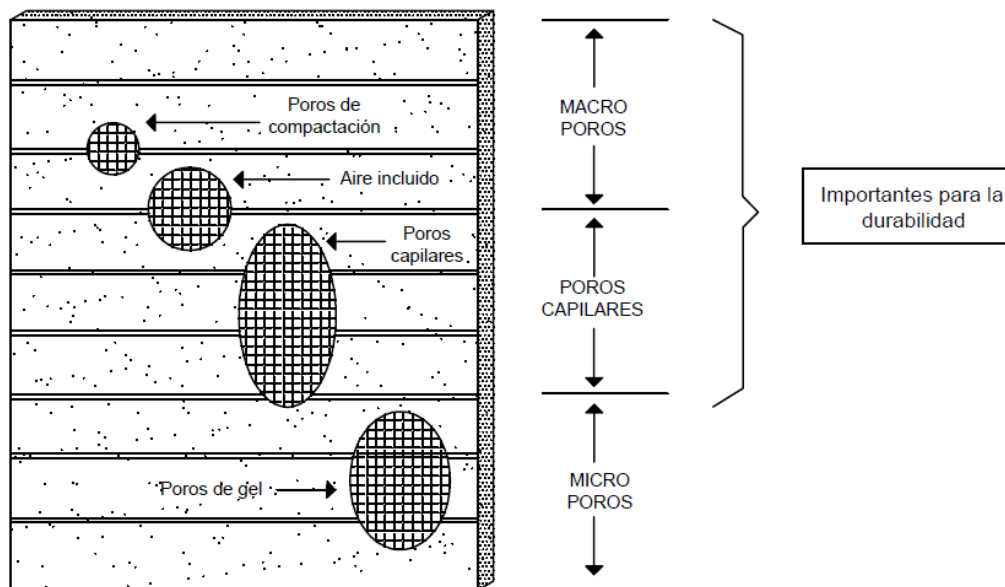
Son los poros que se encuentran por fuera del gel de cemento. Su forma es variable y su tamaño oscila entre 0,00002 milímetros (0,02 micras) y 0,2 milímetros (200 micras) de diámetro. Cuando están interconectados y abiertos al exterior, son susceptibles de ser saturados y por ello ocurre la permeabilidad del concreto a los fluidos. En general, cuando aumenta la cantidad de poros

capilares, se reduce significativamente la resistencia del concreto a los ataques físicos, químicos y/o biológicos.

### 1.2.5.3. Microporos

Son los poros que presenta la pasta de cemento hidratada y endurecida (poros intersticiales del gel de cemento) y su diámetro es menor de 0,00002 milímetros (0,02 micras). Usualmente estos poros no intercambian agua con el medio ambiente, a menos que la humedad que presenten, se encuentre por debajo del 20 por ciento.

Figura 1. **Conformación de la estructura porosa del concreto**



Fuente: grupo español del hormigón. Durabilidad de estructuras de hormigón.

De todos los poros descritos, los más importantes para la durabilidad del concreto, son los poros capilares y los macroporos.

Considerando la estructura porosa que se ha descrito, puede definirse entonces 2 términos de vital importancia para la durabilidad del concreto, como son: la absorción y la porosidad fundamental o abierta.

### **1.3. Curado del concreto**

El proceso de curado tiene una gran importancia, ya que con este se previenen situaciones potencialmente dañinas para el concreto. En general se puede decir que el curado tiene por objeto evitar un secado prematuro, especialmente bajo la acción de los rayos del sol y del viento. Para garantizar que se obtengan las propiedades que se esperan del concreto, especialmente en la zona cercana a la superficie, es necesario curar el concreto fresco durante un período adecuado, iniciando tan pronto sea posible.

En general, el curado puede evitar que ocurra una interrupción en la reacción química que ocurre entre el agua y el cemento, debido a falta de agua, lo cual evita que el concreto alcance las propiedades que su composición permitiría.

También se puede evitar una contracción temprana, por cambios de temperatura, produciendo fisuramiento.

### **1.4. Velocidad de endurecimiento**

El tiempo de fraguado o velocidad de endurecimiento del concreto, es un período en el cual; mediante reacciones químicas del cemento y el agua conducen a un proceso, que mediante diferentes velocidades de reacción, generan calor y dan origen a nuevos compuestos, estos en la pasta de cemento generan que este endurezca y aglutine al agregado de la mezcla de

concreto, y se ponga fuerte y denso, adquiriendo de este modo una cierta resistencia, este tiempo es de suma importancia, debido a que permite colocar y acabar el concreto.

Típicamente, el fraguado inicial ocurre entre 2 y 4 horas después del mezclado, y define el límite de manejo, o sea el tiempo por el cual el concreto fresco ya no puede ser mezclado adecuadamente, colocado y compactado, el fraguado final ocurre entre 4 y 8 horas después del mezclado, y esta definido por el desarrollo de la resistencia, que se genera con gran velocidad.

El fraguado inicial y el fraguado final, se determinan arbitrariamente por el ensayo de resistencia a la penetración.

El método usado, es la Norma ASTM C-403, Test for time of setting of concrete mixtures by penetration resistance (Método de prueba estándar para el tiempo de fraguado de mezclas de hormigón por resistencia a la penetración), que proporciona un procedimiento estándar para la medición del tiempo de fraguado del concreto con un revenimiento mayor de cero, probando el mortero cribado de la mezcla de concreto, en forma breve, se puede decir que la prueba consiste en retirar la fracción de mortero del concreto, compactándolo en un recipiente estándar y midiendo la fuerza requerida para hacer que una aguja penetre 25 milímetros en el concreto.

## **2. POLÍMEROS**

### **2.1. Definición**

Un polímero es una sustancia que consiste en grandes moléculas formadas por muchas unidades pequeñas que se repiten, llamadas monómeros. El número de unidades que se repiten en una molécula grande, se llama grado de polimerización.

Los materiales con un grado elevado de polimerización, se denominan altos polímeros. Los homopolímeros son polímeros con un solo tipo de unidad que se repite. En los copolímeros se repiten varias unidades distintas.

Hoy en día, el uso de los polímeros se ha expandido a varias aplicaciones, debido a su baja densidad, alta resistencia a la corrosión, alta resistencia mecánica y otras propiedades importantes.

### **2.2. Producción de los polímeros**

Los polímeros al igual que muchos materiales, se obtienen a partir de materia prima en plantas especializadas. El proceso para producir un polímero, es llamado polimerización, existen 2 tipos:

#### **2.2.1. Polimerización en cadena**

El material inicial para la polimerización en cadena con frecuencia, es un monómero, en el que hay un enlace doble que se puede abrir con la ayuda de

un compuesto llamado iniciador (sustancia orgánica o inorgánica o también puede ser un catalizador que no se consume en la reacción). Se lleva a cabo utilizando temperatura elevada y presión baja, este proceso es conocido también como polimerización por adición.

Las estructuras más frecuentes para llevar a cabo este tipo de reacción, son los hidrocarburos, en los que el carbono y el hidrógeno pueden formar cadenas rectas (hidrocarburos alifáticos) y anillos de benceno (hidrocarburos aromáticos).

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

En este caso, se unen 2 monómeros en grupos cortos que crecen gradualmente, pero también se libera un derivado de bajo peso molecular, por ello se le llama también reacción por condensación.

En estos polímeros, la longitud promedio de la partícula es controlada cuando se lleva a cabo la reacción, esto significa que el grado de polimerización o número de meros es controlado.

### **2.3. Clasificación de los polímeros**

Los polímeros se definen como macromoléculas compuestas por una o varias unidades químicas que se repiten a lo largo de toda una cadena, estos pueden clasificarse de diferentes maneras, y a su vez, esas clasificaciones, pueden subdividirse en otras.

Existen 3 formas de clasificar los polímeros:

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

### **2.3.1. Por su estructura química**

Esta analiza un polímero en cuanto a la estructura. Existen de cadena carbónica y de cadena heterogénea, la estructura química de los polímeros aportan información del modo en que se enlazan los diferentes átomos, y es lo que genera muchos compuestos que se clasifican de esta manera.

#### **2.3.1.1. Polímeros de cadena carbónica**

Estos influyen de forma importante en las propiedades del polímero, y están formados por un conjunto de varios átomos de carbono, unidos entre sí mediante enlaces covalentes carbono-carbono, formando variadas estructuras, lo que origina infinidad de compuestos diferentes, en esta clasificación están:

- Poliolefinas
- Polímeros de tipo dienos
- Polímeros de tipo estirenicós
- Polímeros de tipo cloruros
- Polímeros de tipo fluoruros
- Polímeros de tipo acrílicos
- Poli (fenol- formaldehído)

### **2.3.1.2. Polímeros de cadena heterogénea**

Entre esta clasificación, los átomos que constituyen la cadena, participan otros elementos distintos del carbono, como son: átomos de oxígeno, azufre, nitrógeno, en esta clasificación están:

- Poliéteres
- Poliésteres
- Policarbonato
- Poliamidas
- Poliuretanos
- Aminoplásticos
- Celulósicos
- Siliconas

### **2.3.2. Clasificación por su comportamiento mecánico**

Los polímeros pueden ser clasificados por su comportamiento mecánico, esto indica la capacidad que tienen los polímeros al ser sometidos a fuerzas aplicadas, y estos se clasifican en:

- Plásticos

Son materiales poliméricos sólidos a temperatura ambiente, son aquellos polímeros que, ante un esfuerzo suficientemente intenso, se deforman irreversiblemente, no pudiendo volver a su forma original. Hay que resaltar que el término plástico se aplica a veces incorrectamente para referirse a la totalidad de los polímeros.



- Elastómeros

Son deformables a temperatura ambiente, al aplicarle un esfuerzo son comprimibles, pero recobran su forma original al ser retirado este. La flexibilidad de los elastómeros, se debe a cadenas flexibles, las cuales se amarran unas con otras. Entre las principales propiedades de los elastómeros, se pueden mencionar:

- Aceptan grandes deformaciones, manteniendo su módulo de elasticidad y resistencia mecánica una vez deformados.
- Una vez retirado el esfuerzo, se recuperan totalmente de la deformación.

- Fibras

Presentan alto módulo de elasticidad y baja extensibilidad, lo que permite confeccionar tejidos cuyas dimensiones permanecen estables, en este grupo se encuentra el *nylon*, polipropileno, poliéster, entre otros.

Las fibras fueron usadas como material de construcción por muchos siglos. En las últimas 3 décadas, hubo un crecimiento por el interés en el uso de fibras en concreto premezclado, concreto prefabricado y concreto lanzado.

La estructura química de las fibras sintéticas, explica las propiedades de estas, y esas propiedades a su vez ayudan a deducir la estructura molecular y macro-molecular de las fibras. Forma y dimensión: la forma y dimensión de las fibras es tan importante como la distribución del valor medio de estos parámetros. Una alteración en la fibra produce una irregularidad en el hilo, que se traduce en menor resistencia y menor brillo.

La longitud tiene influencia sobre el estiraje, la resistencia del hilo, la velocidad del hilo, comportamiento en la hilatura, regularidad del hilo, distribución de fibras en mezclas, rigidez a la flexión y a la torsión, brillo de hilos y tejidos, facilidad de absorción de colorantes y en algunos casos es factor predominante de la resistencia.

### **2.3.3. Clasificación por su desempeño mecánico**

Se basa en cuanto al desempeño mecánico cuando son utilizados para diferentes funciones, ya que hay diferentes exigencias y algunos polímeros deben tener propiedades específicas o superiores.

- Termoplásticos convencionales

Se componen de largas e inconexas moléculas de polímeros, por lo general con un alto peso molecular. Dado que las cadenas moleculares no están conectadas, se basan en otras interacciones, tales como las interacciones dipolodipolo, o los anillos aromáticos apilados, o las fuerzas de *Van der Waals*. Los termoplásticos, generalmente forman una estructura cristalina cuando se enfrían por debajo de cierta temperatura, dando como resultado un acabado de superficie lisa y una fuerza estructural importante, por encima de esta temperatura, los termoplásticos son elásticos. A medida que aumenta la temperatura, los termoplásticos gradualmente se ablandan, pudiendo llegar a fundirse.

Algunos de los polímeros termoplásticos convencionales que se encuentran más habitualmente, incluyen el polietileno, polipropileno, cloruro de polivinilo (PVC), poliestireno, politetrafluoroetileno (PTFE, comúnmente

conocido como teflón), estireno acrilonitrilo butadieno (ABS) y la poliamida (comúnmente conocida como *nylon*).

- Termoplásticos especiales

Se trata de un grupo de polímeros con un volumen de producción pequeño, pero que, debido a su resistencia al calor y a sus especiales características mecánicas, se consideran insustituibles en determinadas aplicaciones, entre los termoplásticos especiales se puede mencionar; policarbonatos, poliacetales, fluoroplástico.

- Termoplásticos de ingeniería

El desarrollo tanto económico como técnico experimentado por los termoplásticos, ha superado y por mucho, al resto de los materiales poliméricos. A él han contribuido de una manera muy especial los denominados termoplásticos ingenieriles, que en los últimos 20 años han evolucionado de una forma tan extraordinaria que muchos de los avances tecnológicos de los que hoy disfruta, no hubieran sido posibles sin ellos.

Los termoplásticos ingenieriles se agrupan no por ser similares en estructura química o morfología, sino por poseer una serie de propiedades específicas o superiores. La combinación de estas propiedades es la que permite a los polímeros ingenieriles su uso en aplicaciones rigurosas, no solo dentro del campo de la electrónica y automoción, sino también en áreas de medicina, óptica y construcción.



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

#### **3.1. Antecedentes**

El uso de las fibras naturales como un componente más en materiales de relleno o aglomerantes, no es así nuevo, y se remonta varios siglos atrás. En concreto existen referencias tempranas de experimentación con un refuerzo discontinuo (clavos, segmentos de cable, ganchos) que se remontan a 1910.

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

En este caso, las fibras de asbesto le conferían al material el monolitismo y la resistencia a la tensión buscada, sin embargo por consideraciones de salud, estas fibras de asbesto han sido sustituidas por otras de diferentes materiales, que no tienen ningún efecto sobre la salud humana.

Ya en 1910 Porter y en 1911 Graham, sugieren la utilización de armado de barras y fibras. En 1927 G. Martin, introduce la primera patente mundial de refuerzos con fibras. Las investigaciones de Romualdi & Bastón y Romualdi & Mandel sobre fibras aleatorias, en los años 50 formaron unas bases importantes para el posterior uso de fibras para refuerzos de elementos. A principio de 1960,

se usaban fibras sintéticas para experimentos en concretos con y sin refuerzos por armaduras longitudinales o mallas.

Experimentos con fibras sintéticas o poliméricas, se llevaron a cabo en los Estados Unidos a principios de 1950, además en Inglaterra y Rusia. Las aplicaciones de FRC (*Fiber Reinforced Concrete*) se han realizado desde mediados de 1960 y se realizaron principalmente sobre pavimentos y losas de concreto, sobre materiales refractarios y productos en general de concreto.

En 1950 aparecen estudios y patentes de aglomerados de cemento con fibras distribuidas al azar, y en los años 60 diversos científicos publican artículos que despiertan el interés de la investigación académica e industrial sobre el tema. A partir de ese momento, ha existido una actividad muy intensa de investigación sobre estos materiales, a la vez que se ha construido con dichos productos.

### **3.2. Definición**

Un concreto modificado, es aquel que rompe con los esquemas comunes de agua, cemento, arena y grava, para incorporar elementos innovadores que logren mejorar las características de un concreto convencional o que al menos las compare, teniendo como consecuencia otros beneficios tales como; económico, estético, ecológico o que modifique sus propiedades mecánicas. Cabe notar que aquellos productos denominados como aditivos, podrían considerarse dentro de los materiales capaces de modificar el concreto.

El comportamiento del concreto modificado con fibras sintéticas, depende de la composición de la matriz, mortero o concreto, y del material de la fibra, su geometría, distribución, orientación y concentración.

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

Grupos de fibras, cuya característica principal es ser hechas en su totalidad por la mano del hombre, que parten de sustancias químicas como materia prima, y a través de ciertos procesos, frecuentemente de polimerización, obtiene filamentos sintéticos de aplicación textil.

Los polímeros ordenados en fibras como estas, pueden ser hilados y usados como textiles. Las prendas de uso diario están hechas de fibras poliméricas, al igual que las alfombras, y las sogas. Aquí se tienen algunos de los polímeros que pueden ser empleados como fibras: polietileno, polipropileno, poliéster, *nylon*, celulosa, kevlar y nomex.

Las fibras también tienen sus inconvenientes. Si bien poseen buena fuerza tensil, es decir que son resistentes cuando se las estira, por lo general tienen baja fuerza compresional, son débiles cuando se aprietan o se comprimen. Además, las fibras tienden a ser resistentes en una dirección, en la cual están orientadas. Si se las estira en ángulos rectos a la dirección de su orientación, tienden a debilitarse.

Las fibras sintéticas se utilizan para mejorar diferentes propiedades que el concreto armado no posee. La más importante aplicación de las fibras sintéticas, esta en la prevención de formación de grietas por tracción. Esto puede ser necesario en diferentes situaciones de los hormigones.

Otra mejora que las fibras sintéticas aportan al concreto, es su resistencia a la corrosión. Como se sabe, el concreto armado, presenta un gran problema con la corrosión de sus armaduras, producidas por agentes agresivos como son los cloruros y los ácidos. Los concretos armados están diseñados con un

recubrimiento mínimo de las armaduras, pero esto no es suficiente, ya que el concreto es un material frágil y una vez cargado y sometido a tracción se fisura. Por estas fisuras acceden los agentes agresivos hasta las armaduras de acero, produciendo corrosión, por tanto, debilitando su capacidad portante. Las fibras sintéticas son inertes a la corrosión y debido a sus características y adicionadas a la matriz del concreto, cosen estas fisuras, evitando que las armaduras estructurales principales sean corroídas.

Otra mejora del concreto con fibras sintéticas, es la influencia que estas tienen sobre la retracción plástica, cuando el concreto se encuentra en estado plástico, se produce una pérdida de humedad del concreto debido principalmente a la evaporación a la atmósfera y a la absorción por parte del encofrado. En este proceso de pérdida de agua, se produce un efecto de capilaridad por presiones negativas, las cuales desarrollan en el concreto deformaciones de compresión. Estas deformaciones de compresión, provocan lejos de dicha zona, tracciones que causan grietas internas en concretos que todavía tiene una corta edad. Al igual que en el caso anterior, la adición de fibras sintéticas evita dentro de lo posible que se formen esas grietas internas, cosiendo la matriz del concreto.

Es importante aclarar, que las fibras sintéticas no reemplazan el refuerzo estructural principal del concreto, ya que agregan poca o ninguna resistencia.

Pero el esfuerzo estructural no suministra su beneficio hasta que el hormigón haya endurecido. Es por esto por lo que se adicionan fibras sintéticas como refuerzo secundario.



### **3.3.1. Nylon**

Es uno de los polímeros más comunes usados como fibra. En todo momento se encuentra *nylon* en la ropa, pero también en otros lugares, en forma de termoplástico. El verdadero éxito del *nylon* vino primeramente con su empleo para la confección de medias femeninas, alrededor de 1940. Fue un gran suceso, pero pronto se hicieron muy difíciles de conseguir, porque al año siguiente los Estados Unidos entraron en la Segunda Guerra Mundial y el *nylon* fue necesario para hacer material de guerra, como cuerdas y paracaídas.

Pero antes de las medias o de los paracaídas, el primer producto de *nylon* fue el cepillo de dientes con cerdas de *nylon*. Al *nylon* también se le llama poliamida, debido a los característicos grupos amida en la cadena principal. Las proteínas, tales como la seda, a la cual el *nylon* reemplazó, también son poliamidas. Estos grupos amida, son muy polares y pueden unirse entre sí mediante enlaces por puente de hidrógeno. Debido a esto y a que la cadena de *nylon* es tan regular y simétrica, el *nylon* es a menudo cristalino, y forma una excelente fibra.

### **3.3.2. Polipropileno**

Es uno de esos polímeros versátiles que andan a nuestro alrededor. Cumple una doble tarea, como plástico y fibra. Como plástico se utiliza para hacer artículos como envases para alimentos capaces de ser lavados en un lavaplatos. Esto es factible porque no se funde por debajo de 160 grados centígrados.

Como fibra, el polipropileno se utiliza para hacer alfombras de interior y exterior, la clase que usted encuentra siempre alrededor de las piscinas y las

canchas de mini-golf. Funciona bien para alfombras al aire libre porque es sencillo hacer polipropileno de colores y porque el polipropileno, a diferencia del *nylon*, no absorbe el agua.

Entre las ventajas del polipropileno están:

- Ligero
- Alta resistencia a la tensión y a la compresión
- Excelentes propiedades dieléctricas
- Resistencia a la mayoría de los ácidos y álcalis
- Bajo coeficiente de absorción de humedad

### **3.3.3. Polietileno**

Es probablemente el polímero que más se ve en la vida diaria. Es el plástico más popular del mundo. Este es el polímero que hace las bolsas de almacén, los frascos de champú, los juguetes de los niños, e incluso chalecos a prueba de balas. Por ser un material tan versátil, tiene una estructura muy simple, la más simple de todos los polímeros comerciales. Una molécula del polietileno no es nada más que una cadena larga de átomos de carbono, con 2 átomos de hidrógeno unidos a cada átomo de carbono.

El polietileno (PE), es un material termoplástico blanquecino, de transparente a translúcido, y es frecuentemente fabricado en finas láminas transparentes. Las secciones gruesas son translúcidas y tienen una apariencia de cera. Mediante el uso de colorantes puede obtenerse una gran variedad de productos coloreados.

En general hay 2 tipos de polietileno:

- De baja densidad (LDPE)
- De alta densidad (HDPE)

El de baja densidad tiene una estructura de cadena enramada, mientras que el polietileno de alta densidad tiene esencialmente una estructura de cadena recta.

El polietileno de baja densidad, fue producido comercialmente por primera vez en el Reino Unido en 1939, mediante reactores autoclave (o tubular) necesitando presiones de 14 500 libras sobre pulgada cuadrada (100 Mpa) y una temperatura de unos 300 grados centígrados. El polietileno de alta densidad, fue producido comercialmente por primera vez en 1956-1959 mediante los procesos de Philips y Ziegler, utilizando un catalizador especial. En estos procesos; la presión y temperatura para la reacción de conversión del etileno en polietileno fueron considerablemente más bajas. Por ejemplo, el proceso Philips opera de 100 a 150 grados centígrados y 290 a 580 libras sobre pulgada cuadrada (2 a 4 MPa) de presión.

Sobre 1976 se desarrolló un nuevo proceso simplificado a baja presión para la producción de polietileno, el cual utiliza una presión de 100 a 300 libras sobre pulgada cuadrada (0,7 a 2 Mpa) y una temperatura de unos 100 grados centígrados. El polietileno producido puede describirse como un polietileno lineal de baja densidad (LLDPE) y tiene una estructura de cadena lineal con ramificaciones laterales cortas, inclinadas.

### **3.3.4. Poliéster**

Son los polímeros en forma de fibras, que fueron utilizados en los años 70 para confeccionar toda esa ropa maravillosa que se usaba en las confiterías bailables. Pero desde entonces, las naciones del mundo se han esforzado por desarrollar aplicaciones más provechosas para los poliésteres, como esas formidables botellas plásticas irrompibles que contienen su gaseosa favorita. Como puede apreciar, los poliésteres pueden ser tanto plásticos como fibras.

Las fibras de poliéster se obtienen por polimerización de monómeros a base de ácido tereftálico y glicol etilénico. De una forma parecida a las de poliamida, estas fibras se han popularizado por los nombres de las 2 primeras aparecidas en el mercado: terylene y el tergal. Las fibras de poliéster, pueden ser fabricadas con 2 tipos de resistencia: de alta tenacidad y de tenacidad media.

Su aspecto es liso y brillante, aunque puede ser fabricada sin brillo o mates. Son resistentes a la acción de los ácidos y tienen resistencia también a los álcalis y agentes oxidantes o reductores. Son solubles en fenol.

Al igual que las poliamidas, las fibras de poliéster son poco higroscópicas, lo que las hace poco absorbentes del sudor y de difícil tintura.

Es también termoplástico, por esta razón es conveniente fijar sus dimensiones en las operaciones de acabado (termofijado) a temperaturas que pueden llegar hasta los 220 grados Celsius. El planchado de las prendas que lo contienen, debe hacerse a temperaturas moderadas.

Es mal conductor de la electricidad. Esta propiedad produce una carga de electricidad estática, de la que no puede desprenderse fácilmente, dando lugar a las operaciones de hilatura, tisaje, acabado y confección a dificultades como la de pegarse en las partes mecánicas de la máquina produciendo atascos y rupturas, cargarse de polvo y suciedad y producir descargas cuando se la toca.

Las fibras de poliéster pueden ser empleadas en forma de filamento continuo o cortadas. Las cortadas han encontrado gran aplicación mezcladas con las naturales (algodón, lana, lino) las artificiales (rayón viscosa, acetato y triacetato) y las sintéticas (acrílicas) empleándose para la fabricación de tejidos para camisería, pantalones, faldas, trajes completos, ropa de cama y mesa, género de punto, y otras.

- Propiedades
  - Se adapta muy bien en mezclas con fibras naturales, contribuyendo al fácil cuidado.
  - Resistencia a la absorción muy buena.
  - Producen carga electroestática.
  - Poseen baja absorción de humedad.

### **3.4. Fibras a utilizar**

Las fibras que se analizarán más a detalle, serán las que fueron utilizadas para el estudio del concreto modificado a base de fibras, las cuales son el *nylon* y polipropileno.

### 3.4.1. *Nylon*

El concreto por naturaleza se agrieta cuando se endurece y se refuerza con fibras, lo cual no es un proceso nuevo en la construcción. La práctica para agregar fibras para concreto, mortero y otros cementos compuestos para anular grietas, empezó hace miles de años, hay evidencias de estas fibras, humanas y animales, y otras fibras naturales que han sido utilizadas en materiales en la lejana Grecia, en el Imperio Romano y en cada dinastía del antiguo Egipto.

- Características

El uso de fibras sintéticas (artificiales) para el armado del hormigón fue originalmente desarrollado por el cuerpo de ingenieros del ejército de los EE.UU, en su búsqueda de realizar *bunkers* y silos de misiles de alta resistencia al impacto. El cuerpo de ingenieros realizó experimentos con numerosos tipos de fibras sintéticas y halló que el *nylon* era el mejor producto para aumentar las propiedades de resistencia a las ondas explosivas del hormigón. Esta tecnología fue patentada, con mezcla de hormigón resistente al impacto. Las fibras de *nylon* presentes en el hormigón sirven para reducir la fisuración por contracción plástica, deteniendo las microgrietas desde sus primeros comienzos. La fisuración plástica es provocada por el asentamiento y/o la contracción debida a la rápida evaporación del agua de exudación.

Las fibras actúan para interceptar las microgrietas absorbiendo y dispersando la energía que sí se deja sin control, podría producir grietas más grandes. Esta interceptación de microgrietas se logra mediante la diseminación de millones de fibras individuales, que forman una red de refuerzo tridimensional.

Las fibras de *nylon* contribuyen a controlar el agrietamiento, por asentamientos que a menudo se produce en el concreto recién colado. Las fibras contribuyen a reducir la segregación de los agregados y favorecen una mayor homogeneidad de la mezcla de concreto. El resultado final se traduce en un producto de concreto más duradero, de mayor integridad y una vida útil más larga.

Las fibras de *nylon* son una alternativa a la tela o malla de alambre soldado, como armado secundario en el concreto. Con un tiempo de mezcla de tan sólo cuatro minutos, el armado de fibras queda correctamente colocado en el concreto. Estas fibras contribuyen asimismo a aumentar la ductilidad, es decir, la capacidad de absorber energía, aumentando la resistencia al impacto. No sólo se necesitan más golpes para agrietar un panel de concreto armado con las fibras, sino que, más importante aún, se necesitan más golpes para que el concreto se desintegre completamente después de haberse agrietado.

El uso de las fibras aumentará la durabilidad global del concreto. Con más de 34 millones de fibras por libra distribuidas por todas partes por yarda cúbica de concreto, son más que suficientes para evitar grietas. Dentro del estado plástico del concreto reforzado con fibra tuvo más flexibilidad dúctil, esto incrementa la resistencia al impacto, a la fatiga y a la resistencia térmica y abrasión.

Se reduce el ancho y largo de las grietas, así como la pérdida de agua, menor permeabilidad y cambio de volumen, las fibras son no corrosivas y no mantienen humedad. También ha quedado demostrado que el concreto armado con fibras, es considerablemente menos permeable que el hormigón sin fibras. Esto se obtiene gracias a la reducción de grietas microscópicas y huecos que con frecuencia se forman durante la colada del concreto.

Al reducir la formación de grietas y controlar la segregación y asentamiento de los agregados, se reduce la permeabilidad del concreto y se aumenta la integridad del mismo. La reducción de la penetración del agua contribuye a una mayor durabilidad ante los ciclos de congelación y deshielo. Puesto que los ciclos de congelación y deshielo pueden perjudicar el concreto, provocando agrietamiento y escamación, las fibras de *nylon* constituyen un método eficaz para aumentar la durabilidad frente a la congelación y deshielo y la resistencia del concreto a los agentes atmosféricos en general.

La fibra como refuerzo secundario en concreto, así como su ciclo de vida, son especificaciones claves en el buen funcionamiento del concreto, mejorando el curado del mismo y su trabajabilidad, el concreto simple es quebradizo con baja capacidad de esfuerzos a tensión, las fibras permiten al concreto una resistencia mayor a los esfuerzos de tensión, cuando estos están expuestos a los cambios ambientales, la ductibilidad aumenta y por consiguiente ayuda a obtener una mejor capacidad para soportar las cargas, así como prolonga la vida útil del concreto.

- Propiedades de la fibra

Tabla I. **Propiedades de la fibra de *nylon***

Diámetro del filamento	23 micrones
Largo de la fibra	variable
Gravedad específica	1,16
Esfuerzo a tensión	138 psi (896 Mpa)
Dureza	103 Mpa
Punto de derretimiento	435°F 225°C
Conteo de la fibra	34 millones /libra
Elongación máxima	20%
Absorción del agua	3%



Continuación de la tabla I.

Polaridad	Anti-magnética
Orientación de la fibra	Multidimensional

Fuente: ficha técnica nycon-RC fibers.

- Ventajas
  - Reducción de agrietamientos por contracción plástica.
  - Reducción de la permeabilidad del concreto.
  - Aumento de la durabilidad del concreto.
  - Conformidad con la Norma ASTM C1116.
  - Reducción de agrietamiento por asentamiento plástico.
  - Aumento de la resistencia al impacto.

### 3.4.2. Polipropileno

Entre todas las fibras sintéticas, las de mayor uso actual como refuerzo de las mezclas de concreto son las fibras de polipropileno, se producen al estirar en dirección axial los polímeros sintéticos hasta llegar a la formación de monofilamentos que son cortados posteriormente con la longitud requerida.

El polipropileno es absolutamente inerte y estable, no se corroe y posee una resistencia a los álcalis muy alta. Además es antiestático, no magnético y tiene una vida útil ilimitada, por lo que su compatibilidad con morteros cementosos y hormigones, es muy alta.

Como antes se ha mencionado, históricamente las fibras han sido utilizadas para mejorar y reforzar diferentes tipos de materiales de construcción.

Estas fibras anteriormente eran de origen vegetal. En tiempos modernos; las fibras de vidrio, asbestos, acero y poliméricas han ganado popularidad para remediar y mejorar problemas en el concreto.

- Características

Durante muchos años, la tendencia del concreto a agrietarse ha sido aceptada como un hecho natural. Hay solamente una razón por la que las grietas ocurren en el concreto, existen tensiones que exceden la resistencia del concreto en un momento específico.

Las tensiones derivadas de las fuerzas externas, pueden ser compensadas proveyendo resistencias estructurales mayores en las estructuras de concreto, en los pavimentos y en las losas. Sin embargo, históricamente ha sido un problema controlar las tensiones intrínsecas, ocasionadas por el encogimiento dentro del propio concreto, debido a su variedad y ocurrencia impredecibles.

El tipo más común de grietas intrínsecas aparece en el estado plástico, y este es ocasionado por la retracción al ocurrir el secado. Estas grietas se forman dentro de las primeras 6 horas posteriores a la colocación del concreto. Por lo general, las grietas debido a la retracción plástica cruzan toda la losa y forman planos débiles que reducen permanentemente la integridad de la estructura, antes de que el concreto tenga la oportunidad de obtener la resistencia de diseño.

En muchas ocasiones, las grietas por retracción plástica no se observan, sino hasta que transcurra un tiempo. Con frecuencia, estas son selladas en la superficie al llevar a cabo la operación de terminado o simplemente, no son lo

suficientemente anchas para ser observadas sino hasta que el concreto se encoge más o una carga hace que estos planos débiles aumenten hasta convertirse en grietas visibles.

Las fibras vienen en algunos casos impregnados con aditivos antibacterianos. Por lo general son fibras del tipo multifilamento, compuestas de polipropileno virgen, las cuales al aplicarse en la mezcla se dispersan tridimensionalmente y de forma homogénea, alcanzando una compactación máxima del hormigón.

Dicha distribución tridimensional, tiene un efecto inmediato en la reducción del agrietamiento del concreto, manteniendo su estabilidad estructural frente a la retracción plástica, reduciendo la aparición de micro grietas. De esta forma el concreto se ve estabilizado ante el esfuerzo, y adquiere una mayor resistencia a la fatiga (por tanto el concreto se hace más durable), resistencia al impacto y reducción de la permeabilidad, contribuyen a una mayor duración del concreto, reduciendo los costos de mantenimiento.

Otra de las características de estas fibras, es que son 100 por ciento ecológicas y reciclables, de esta forma no dañan el medio ambiente; son también resistentes a los rayos UV.

- Ventajas

Se distribuye multidimensionalmente en forma uniforme en el concreto. La enorme cantidad de fibras en la matriz fresca del concreto provee un alto grado de refuerzo secundario. Este refuerzo reduce la formación de todo tipo de fisuras incipientes y protege al concreto cuando su resistencia a la tracción esta en su punto más bajo. De otra manera, las fisuras causadas por contracción de

fraguado, asentamientos, y otras tensiones internas, darán como resultado un concreto débil. La incorporación reduce la permeabilidad, aumenta la resistencia a la fatiga, a los impactos y a la abrasión.

Las técnicas de producción avanzadas, hacen que sea una fibra de larga vida y que virtualmente sea invisible en el concreto fresco. Esto reduce las objeciones respecto al aspecto del producto terminado y provee al mismo tiempo un producto con el más alto grado de protección contra las grietas.

Puede agregarse al concreto en cualquier etapa del amasado o del proceso de mezcla. Puede adicionarse a los agregados durante el pesaje o carga de la mezcla en la central o al camión, antes, durante o después de la carga. El concreto debe ser mezclado durante 5 minutos, o en su defecto 70 revoluciones después de agregar la fibra para asegurar que la distribución sea uniforme.

- Propiedades de la fibra

**Tabla II. Propiedades de la fibra de polipropileno**

Diámetro del filamento	18 micrones
Largo de la fibra	12 milímetros
Peso específico	0,91 g/cm <sup>3</sup>
Sección	Circular
Temperatura de fusión	160 grados centígrados
Resistencia a la tracción	300 Mpa
Color	Blanco
Conteo de la fibra	300 000 000 por kilo
Elongación máxima	80%
Área superficial	225 m <sup>2</sup> /kg

Fuente: ficha técnica fibromac 12, maccaferri.

## 4. DESARROLLO EXPERIMENTAL

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

Como se describe en American Society for Testing Materials (ASTM), una norma es un documento que ha sido desarrollado y establecido dentro de los principios de consenso de la organización, y que cumple los requisitos de los procedimientos y regulaciones de ASTM. Las normas elaboradas por consenso, se elaboran con la participación de los sectores que tienen intereses en el desarrollo o uso de las normas.

El estudio a realizar consiste en la comparación de 3 mezclas de concreto, entre estas la mezcla patrón, la cual se realizó únicamente con los resultados de análisis completos de agregados, sin ninguna adición de fibra, mientras las otras 2 tienen la modificación de las fibras sintéticas de *nylon* y polipropileno en 2 diferentes proporciones. Se utilizará la Norma Técnica Guatemalteca que es equivalente a las norma internacional de referencia ASTM para la realización de los diferentes ensayos aplicados a las mezclas de concreto, dichas normas proporcionaran una guía y parámetros para el control de calidad, tanto de los materiales como de las mezclas.

A continuación se describen los parámetros a estudiar y comparar, así como los aspectos, procedimientos y normas más importantes que regirán los procesos de cada ensayo, los resultados obtenidos de todos los ensayos, también se describen e interpretaran en este capítulo.

#### **4.1.1. Norma NTG-41007. Especificación estándar de agregados para concreto (ASTM C-33)**

Esta especificación define los requisitos para la calificación, calidad de agregado fino y grueso para uso en concreto. El agregado fino deberá consistir en arena natural, manufacturada, o una combinación de los mismos, el agregado fino deberá estar libre de cantidades perjudiciales de impurezas orgánicas. El agregado grueso estará compuesto por grava, grava triturada, piedra triturada, refrigerado por aire, escoria de alto horno, o triturado de concreto de cemento hidráulico, o una combinación de los mismos. Los métodos de muestreo y pruebas, deberán hacerse con la clasificación y prueba de módulo de finura, prueba de impurezas orgánicas, efecto de las impurezas orgánicas en la prueba de resistencia, prueba de solidez, terrones de arcilla.

##### **4.1.1.1. Objeto**

Entre los objetivos de la especificación para agregados para concreto, define algunos requisitos indispensables para la realización del ensayo de análisis completos para agregados.

- 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 a proveer, que se suministra.

- Es también para ser utilizada en especificaciones de proyecto para definir la calidad del agregado, el tamaño nominal máximo, 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 la adición de tamaños de agregados para combinar, si así se requiere o aprueba.
- Los valores expresados en unidades del sistema internacional o en unidades libra por pulgada, deben ser considerados separadamente como estándar, los valores dados en cada sistema no necesariamente son equivalentes exactos, por lo tanto cada sistema debe ser usado independiente del otro. Combinando valores de los 2 sistemas, puede dar lugar a la no conformidad con la norma.

#### **4.1.2. Norma NTG-41052. Método de prueba estándar para el asentamiento del concreto (ASTM C-143)**

Este método de ensayo, se desarrolló originalmente para proporcionar una técnica de monitoreo de la consistencia del concreto fresco. En condiciones de laboratorio, con un control estricto de todos los materiales constituyentes del concreto, se ha encontrado que por lo regular, el asentamiento aumenta proporcionalmente con el contenido de agua en una mezcla de concreto dada, por lo tanto, es inversamente proporcional a la resistencia del concreto, principalmente el objeto de este ensayo, es tener un control de calidad sobre los diseños de mezclas.

#### **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 a base de cemento hidráulico.

- Este método se considera aplicable al concreto plástico preparado con agregado grueso de hasta 37,5 milímetros (1 ½ pulgadas) de tamaño. Si el tamaño de partícula del agregado grueso es mayor de 37,5 milímetros (1 ½ pulgadas), el método de ensayo es aplicable en la fracción del concreto que pasa la malla de 37,5 milímetros (1 ½ pulgadas), 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 ASTM C- 172.
- Este método de ensayo, no se considera aplicable a los concretos no plásticos y no cohesivos.

#### **4.1.2.2. Procedimiento**

El proceso para la realización del ensayo de asentamiento, se describe a continuación según indica la Norma NTG-41052, es importante realizar cada uno de los siguientes pasos.

- Humedecer el molde y colocarlo en una superficie plana, húmeda y no absorbente. Deberá ser sostenido firmemente en su lugar durante el llenado por un operador, parándose sobre los 2 apoyos para los pies. Llenar el molde inmediatamente con el concreto, en 3 capas, cada una aproximadamente de 1/3 del volumen del molde.



- Apisonar cada capa con 25 golpes, distribuyéndolos uniformemente sobre la sección transversal de la capa. Para la capa inferior será necesario inclinar levemente el apisonador y dar la mitad de los golpes cerca del perímetro. El apisonamiento de la segunda y tercera capa, debe abarcar su propia profundidad, de modo que los golpes penetren únicamente dicha capa.
- Llenar y apisonar la parte superior del cono, con suficiente material, si el apisonamiento causa que el nivel del concreto baje del borde superior del molde, agregar concreto adicional de modo que se mantenga un exceso de concreto sobre la parte superior del molde durante todo el proceso. Luego de apisonar la capa superior, rasar el exceso del concreto, rodando el apisonador sobre el borde superior del molde. Continuar sosteniendo el molde firmemente, y remover el concreto que se encuentre en la zona circundante a la base del molde para evitar interferencias con el movimiento para realizar la prueba de asentamiento.
- Remover el molde inmediatamente del concreto, levantándolo cuidadosamente en dirección vertical, levantar el molde una distancia de 12 pulgadas en  $5 \pm 2$  segundos en un movimiento firme hacia arriba sin movimiento lateral o torsional. Todo el proceso, desde el llenado hasta la remoción del molde, deberá realizarse sin interrupción y en un lapso de tiempo de  $2 \frac{1}{2}$  segundos.
- Inmediatamente después, medir el asentamiento, mediante la determinación de la diferencia de altura entre la altura del molde y la altura del centro original de la superficie superior del concreto. En caso de que el concreto caiga hacia un lado o parezca haber perdido volumen

de un solo lado, no tomar en cuenta el ensayo y hacer otro ensayo con otra porción de la mezcla.

#### **4.1.3. Norma NTG-41053. Método de prueba estándar para la medición de la temperatura del concreto hidráulico recién mezclado (ASTM C-1064)**

Este método de ensayo, permite medir la temperatura de mezclas de concreto recién mezclado, la temperatura medida representa la temperatura al tiempo del ensayo y puede no ser indicativa de la temperatura del concreto recién mezclado a un tiempo posterior. Puede ser usado para verificar que el concreto satisfaga un requisito específico de temperatura.

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

El proceso para la realización del ensayo de medición de temperatura del concreto, se describe a continuación según indica la Norma NTG-41053, es importante realizar cada uno de los siguientes pasos.

- El aparato medidor de temperatura, debe ser capaz de medir con exactitud, la temperatura de la mezcla de concreto recién mezclado con una aproximación de +/- 0,5 grados centígrados (+/- 1 grado Fahrenheit) dentro de un rango de 0 grados centígrados a 50 grados centígrados (30° a 120° Fahrenheit). El diseño del dispositivo sensor de temperatura, debe ser tal que permita una inmersión de 75 milímetros (3 pulgadas).
- Colocar el dispositivo medidor de temperatura, de modo que el sensor de temperatura este sumergido al menos 75 milímetros (3 pulgadas) 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 2 minutos, pero no más de 5 minutos hasta que se estabilice la lectura; entonces leer y registrar la misma, con una aproximación de 0,5 grados Celsius (1° Fahrenheit). No retirar del concreto el dispositivo, cuando haga 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 método de ensayo, cubre la determinación del 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, hay 3 métodos distintos para realizarlo y estos son el método de presión, gravimétrico y volumétrico.

- 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 de la Norma ASTM C-138/C138M y C-173/C173M, 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 2 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 o después de que el concreto sea bombeado y otros factores.

#### **4.1.4.2. Procedimiento**

El proceso para la realización del ensayo de contenido de aire del concreto, se describe a continuación según indica la Norma NTG-41017h17, es importante realizar cada uno de los siguientes pasos.

- Humedecer el interior del recipiente de medición y colóquelo en una superficie plana, nivelada y firme. Utilizando un cucharón, coloque 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.
- Colocar el concreto en el recipiente de medición en 3 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 tenga cuidado de evitar causar daño al fondo del recipiente. Para cada capa superior, permita a la varilla penetrar a través de la capa que se está varillando y penetrar en la capa inferior, aproximadamente 25 milímetros (1 pulgada). Después de que cada capa haya sido varillada, golpee los lados del recipiente de medida, de 10 a 15 veces con el mazo de hule para cerrar cualquier vacío dejado por la varilla de apisonar y para expulsar las burbujas grandes de aire que pudieran haber quedado atrapadas. Colocar la capa final de concreto, de tal forma que se evite un sobrellenado excesivo.
- Después de concluir la consolidación del concreto, enrase la superficie superior deslizando la paleta enrasadora, apoyada en el reborde o pestaña superior del recipiente de medición, con un movimiento de aserrado hasta que el recipiente esté justo al nivel de llenado. Al terminar la consolidación, el recipiente no debe presentar un exceso o deficiencia de concreto, la remoción de 3 milímetros (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 según Norma ASTM 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 logre un cierre hermético a presión. Ensamblar el aparato, cerrar la válvula principal de aire dispuesto entre la cámara de aire y el recipiente de medición, y abra ambas válvulas de paso situadas en la tapa, inyectar agua con una jeringa de látex, a través de una de las válvulas hasta que el agua misma surja en la válvula opuesta. Sacudir el medidor suavemente hasta que salga todo el aire por la misma llave de purga.
- Cerrar la válvula de purga de aire de la cámara de aire y bombee aire en la cámara hasta que la aguja del medidor de presión este 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, luego 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 no se cierra la válvula principal del aire antes de liberar la presión, tanto del recipiente como de la cámara de aire, ello ocasionará que el agua se introduzca en la cámara de aire, y provoque un error en las mediciones

subsiguientes. En caso de que el agua se introduzca 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 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**

El llenado y proporción del ensayo, es el mismo realizado en el ensayo de contenido de aire del concreto, con la diferencia que no se inyecta agua, solo se deja enrasado y limpio todo el exterior del recipiente, libre de concreto, solo se pesa para determinar la masa del material y el volumen.

#### **4.1.6. Norma NTG-41060. Practica estándar para preparación y curado de especímenes de ensayo de concreto en laboratorio (ASTM C-192)**

Esta práctica, trata sobre 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 como se describe aquí.

#### **4.1.6.1. Procedimiento**

El proceso para la preparación y curado de especímenes de concreto, se describe a continuación según indica la Norma NTG-41060, es importante realizar cada uno de los siguientes pasos.

- Previo a iniciar la rotación de la mezcladora, se adiciona el agregado grueso y parte del agua de mezclado, cuando se requiere. Encienda la mezcladora, y luego adicione 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 esta 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, mezcle el concreto durante 3 minutos.
- Se mide el asentamiento de cada bachada 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 C-231. 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. Descarte 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-1064.
- 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, llévelos al lugar de almacenamiento inmediatamente después de ser desmoldados. Ubique los moldes 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, seleccione 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, esto para prevenir la segregación durante el moldeo de los especímenes. Mueva el cucharón o cuchara de albañil 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 previo al inicio de 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, varille 25 veces cada capa con el extremo redondeado de la varilla de manera uniforme, varille la capa del fondo 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 esta siendo varillada y en la capa inmediatamente inferior aproximadamente 1 pulgada.

Luego 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 de aire grande que pueda estar atrapada, use 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, empareje 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, enrarse la superficie del concreto y acábelo con la varilla de acuerdo con el método concerniente. Si no es especificado el acabado, 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 que este 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 determine 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  $73,5 \pm 3,5$  grados Fahrenheit ( $23,0 \pm 2,0$  grados Celsius) 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. Curar 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 método de ensayo trata sobre 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.

Se obtiene una muestra de mortero por el tamizado de una muestra representativa de concreto recién mezclado. El mortero se coloca en un recipiente y se almacena a una temperatura ambiente especificada, a intervalos regulares, se mide la resistencia a la penetración del mortero por agujas estándar.

Se hace una gráfica de la resistencia a la penetración en función del tiempo transcurrido, de la cual se determinan los tiempos de fraguado inicial y final.

##### **4.1.7.1. Significación y uso**

Algunos aspectos importantes que se deben conocer antes de realizar el ensayo de velocidad de endurecimiento del concreto, se describen a continuación:

- 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, tales 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 con el propósito de 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.
- Se registra el tiempo en que se produce el contacto inicial entre el cemento y el agua de mezcla.
- Se obtiene la muestra de mortero por tamizado en húmedo de la porción seleccionada de concreto, a través de un tamiz de 4,75 milímetros y sobre una superficie no absorbente, de acuerdo al procedimiento de la práctica de la Norma NTG 41057 (ASTM C-172).
- Para los ensayos bajo condiciones de laboratorio, la temperatura de almacenaje de los especímenes debe estar dentro del rango de 20 a 25 grados Celsius o como sea especificado por el usuario.
- Se mide y se registra la temperatura del aire ambiental al principio y al final del ensayo, para prevenir una evaporación excesiva de la humedad, se mantienen los especímenes cubiertos con algún material adecuado,

como una franela húmeda, o una tapadera ajustada e impermeable, por el período de duración del ensayo, excepto cuando se este removiendo el agua exudada o se estén haciendo los ensayos de resistencia a la penetración.

#### **4.1.7.2. Procedimiento**

El proceso para realizar el ensayo de tiempo de fraguado de mezclas concreto, se describe a continuación según indica la Norma NTG-41017h12, es importante realizar cada uno de los siguientes pasos.

- 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 grados 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  $25 \pm 2$  milímetros ( $1 \pm 1/16$  pulgadas), como se indica por la marca en la aguja. El tiempo requerido para penetrar la profundidad de 25 milímetros (1 pulgada) debe ser de  $10 \pm 2$  segundos, se registra la fuerza requerida para producir la penetración y el tiempo de la 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 2 diámetros de la aguja que se este usando, pero no menor de 15 milímetros (1/2 pulgada).
- 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 de 1/2 hora.
- Se deben hacer por lo menos 6 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 27,6 megaPascales (4 000 libras por pulgada cuadrada).

#### **4.1.8. Norma NTG-41017h1. Método de prueba estándar para la resistencia a la compresión de especímenes cilíndricos de concreto (ASTM C-39)**

Este método de ensayo cubre la determinación de la resistencia a compresión de especímenes cilíndricos de concreto, tales como cilindros moldeados y núcleos perforados. Se encuentra limitado al concreto que tiene una masa unitaria mayor que 800 kilogramos por metro cúbico (50 libras por pie cúbico).

Este método de ensayo, consiste en aplicar una carga axial de compresión a los cilindros moldeados o núcleos a una velocidad que se encuentra dentro de un rango prescrito hasta que ocurra la falla. La resistencia a la compresión de un espécimen, se calcula dividiendo la carga máxima alcanzada durante el ensayo, por el área de la sección transversal del espécimen.

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

Se describen algunos parámetros importantes para la realización de este ensayo que se deben tomar en cuenta, de esta manera se tendrá el mínimo de errores.

- Se debe tener cuidado en la interpretación del significado de las determinaciones de resistencia a la compresión por este método de ensayo, 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, métodos de muestreo, moldeo, fabricación



y de la edad, temperatura, y las condiciones de humedad durante el curado.

- Este método de ensayo, es usado para determinar la resistencia a la compresión de especímenes cilíndricos preparados y curados de acuerdo con las prácticas de la Norma ASTM C 31/C 31M, C 192/C 192M, C 617, y C 1231/C 1231M y los métodos de ensayo de la Norma ASTM C 42/C 42M y C 873.
- 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.
- El individuo que ensaye los cilindros de concreto para el ensayo de aceptación, debe cumplir los requisitos de técnico de laboratorio de concreto de la práctica de la Norma ASTM C-1077, incluyendo un examen donde se requiera una demostración del desempeño que es evaluado por un examinador independiente.
- Previo al ensayo, ningún extremo de los especímenes de ensayo debe apartarse de la perpendicularidad a los ejes en más de 0,5 grados aproximadamente equivalente a 1 milímetro en 100 milímetros (0,12 pulgadas en 12 pulgadas). Los extremos de los especímenes de ensayo de compresión que no sean planos dentro de 0,050 milímetros (0,002 pulgadas) deben ser aserrados o esmerilados para cumplir aquella tolerancia, o nivelados de acuerdo tanto con la práctica de la Norma

ASTM C-617 o, cuando se permita, con la práctica de la Norma ASTM C-1231/C 1231M.

#### **4.1.8.2. Procedimiento**

El proceso para realizar el ensayo a compresión de especímenes de concreto, se describe a continuación, según indica la Norma NTG-41017h1, es importante realizar cada uno de los siguientes pasos.

- Los ensayos de compresión de especímenes curados en aire húmedo, deben ser hechos 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 de sacar del almacenamiento húmedo y el ensayo. Deben ser ensayados en condición húmeda.
- Colocar 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 coloque 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.
- La carga debe aplicarse a una velocidad de movimiento (medida desde la platina a la cruceta) correspondiente a una velocidad de esfuerzo sobre el espécimen de  $0,25 \pm 0,05$  Mpa/s ( $35 \pm 7$  lb/pulg<sup>2</sup>/s). La velocidad de

movimiento designada debe ser mantenida al menos durante la última mitad de la fase de carga prevista.

- Aplicar la carga de compresión hasta que el indicador de carga muestre que la carga esta decreciendo progresivamente y el espécimen muestre un patrón de fractura bien definido. Para una máquina de ensayo equipada con un detector de rotura de espécimen, esta prohibido el apagado automático de la máquina de ensayo hasta que la carga haya caído a un valor que sea menor que el 95 por ciento de la carga pico.

Continuar comprimiendo el espécimen hasta que el usuario este 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, si el modelo de fractura no es uno de los modelos típicos, bosqueje y describa brevemente el modelo de fractura. Si la resistencia medida es menor de lo esperado, examinar el concreto fracturado y anote la presencia de vacíos de aire grandes, evidencia de segregación, si las fracturas pasan predominantemente alrededor o a través de las partículas de agregado grueso, y verifique si las preparaciones de los extremos fueron de acuerdo con la práctica de la Norma ASTM C-617 o la práctica de la Norma ASTM C-1231/C-1231M.

- Calcular la resistencia a la compresión del espécimen, dividiendo la carga máxima soportada por el espécimen durante el ensayo, por el promedio del área de la sección transversal del cilindro.

#### **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 en los tercios de la luz (ASTM C-78)**

Este método de ensayo cubre la determinación del esfuerzo de flexión del concreto en especímenes preparados y curados, utilizando una viga simplemente soportada con cargas perpendiculares aplicadas en los tercios de la luz.

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

Algunos aspectos importantes que se deben conocer antes de realizar el ensayo para determinar la resistencia a la flexión del concreto, son descritos a continuación, con ellos determinaremos el Modulo de Ruptura (MR).

- Este método de ensayo, se usa para determinar el esfuerzo de flexión de especímenes preparados y curados de acuerdo con el método de ensayo de la Norma ASTM C-42/C 42M o las prácticas de la Norma ASTM C-31/C 31M 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.

- El método de carga en los tercios de la luz, debe ser utilizado al realizar ensayos de flexión de concretos, utilizando bloques de aplicación de carga que aseguren que las fuerzas aplicadas a la viga sean perpendiculares a la cara del espécimen y sean aplicadas sin excentricidad.
- Los especímenes de ensayo, deben ser conforme a todos los requisitos del método de ensayo de la Norma ASTM C-42/C 42M o de las prácticas de la Norma ASTM C-31/C 31M, aplicables a especímenes de vigas o prismas, y deben tener al ensayarse, una separación de apoyos dentro del 2 por ciento de 3 veces su espesor. Los lados del espécimen deben formar ángulo recto con la parte superior e inferior. Todas las superficies deben ser lisas y libres de concavidades, agujeros o marcas de identificación inscritas.

#### **4.1.9.2. Procedimiento**

El proceso para realizar el ensayo a flexión, utilizando vigas simplemente apoyadas de especímenes de concreto, se describe a continuación, según indica la Norma NTG-41017h2, es importante realizar cada uno de los siguientes pasos.

- 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, colocar el espécimen de tal manera que la cara de tensión corresponda a la parte superior o inferior del espécimen como fue cortado del material original.

Se debe 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 y 6 por ciento de la última carga estimada. Usando medidores de espesor tipo hoja de 0,10 milímetros (0,004 pulgadas) y 0,38 milímetros (0,015 pulgadas), 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 milímetros (1 pulgadas) o más.

Se tendrá que esmerilar o usar bandas de cuero sobre la superficie de contacto para eliminar cualquier vacío en exceso de 0,10 milímetros (0,004 pulgadas). Las cintas de cuero deben ser uniformes de 6,4 milímetros (1/4 pulgada) de espesor, de 25 a 50 milímetros (1 a 2 pulgadas) de ancho y deben extenderse a través del ancho total del espécimen. Los vacíos en exceso de 0,38 milímetros (0,015 pulgadas) deben ser eliminados únicamente por encabezado o esmerilado. El esmerilado de las superficies laterales debe ser minimizado, considerando que este puede cambiar las características físicas de los especímenes. El cabeceado debe ser de acuerdo con la sección aplicable de la práctica de la Norma ASTM C-617.

- La carga se deberá aplicar en el espécimen uniformemente y sin sacudidas, 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 y 1,21 mega Pascales por minuto (125 y 175 libras pulgada cuadrada por minuto) hasta que la ruptura ocurra.
- Para determinar las dimensiones de la sección del espécimen a utilizar en el cálculo del módulo de ruptura, tomar medidas a través de una de las caras fracturadas después del ensayo. Para cada dimensión, tomar una medida a cada extremo y una al centro de la sección transversal, tomar 3 medidas por cada dirección para determinar el ancho promedio y el espesor promedio. Tomar todas las medidas al más cercano de 1 milímetro (0,05 pulgada). Si la fractura ocurre en una sección cabeceada, incluir el espesor encabezado en la medida.

#### **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 método de ensayo trata sobre la determinación de la resistencia a la tracción indirecta de especímenes cilíndricos de concreto, tales como cilindros moldeados y núcleos perforados.

Este método de ensayo, consiste en aplicar una fuerza de compresión diametral a lo largo de la longitud del espécimen cilíndrico de concreto a una velocidad que esta dentro de un rango prescrito hasta que ocurra la falla. Esta carga induce esfuerzos de tracción sobre el plano que contiene la carga aplicada y esfuerzos de compresión relativamente altos en el área inmediatamente alrededor de la carga aplicada. Ocurre más bien la falla por

tracción, en lugar de la falla por compresión, porque las áreas de aplicación de carga, están en un estado de compresión triaxial, permitiendo de ese modo soportar esfuerzos de compresión mucho más altos que los que estarían indicados por un resultado de ensayo de resistencia a la compresión uniaxial.

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

Entre los aspectos importantes que se deben conocer al momento de realizar el ensayo para determinar la resistencia a tracción indirecta de especímenes de concreto, se describen a continuación:

- 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.
- Los especímenes de ensayo deben cumplir con los requisitos de tamaño, moldeado y curado establecidos en la práctica de la Norma ASTM C-31/C-31M (especímenes de obra) o en la práctica de la Norma ASTM C-192/C-192M (especímenes de laboratorio). Los núcleos perforados deben cumplir con los requisitos de tamaño y de acondicionamiento de humedad establecidos en el método de ensayo de la Norma ASTM C-42/C-42M. Los especímenes curados en agua saturada con hidróxido de calcio, durante el período entre su remoción del ambiente de curado y el ensayo, deben ser mantenidos húmedos, cubriéndolos con una arpillera



o una manta mojada, y deben ser ensayados en condición húmeda tan pronto como sea posible.

#### **4.1.10.2. Procedimiento**

El proceso para realizar el ensayo de resistencia a tracción indirecta de especímenes de concreto se describe a continuación, según indica la Norma NTG-41017h15.

- Se determina el diámetro del espécimen de ensayo al 0,25 milímetros (0,01 pulgadas) 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. Determine la longitud del espécimen al 2 milímetros (0,1 pulgadas) 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 0,7 a 1,4 mega Pascales por minuto (100 a 200 libras pulgada cuadrada por minuto), hasta la falla del espécimen registre la máxima carga aplicada por la máquina de ensayo, anote el tipo de falla y la apariencia del concreto.

#### **4.2. Análisis completo para agregados**

Se realizó el estudio de los agregados en el Centro de Investigaciones de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala (CII/USAC),

determinando los parámetros de granulometría y calidad del material que indica la Norma NTG 41007.

#### 4.2.1. Agregado fino

El agregado fino utilizado fue arena de río, la cual se especifica a continuación, con los resultados obtenidos y de esta manera determinar la calidad del mismo.

Se indican las normas utilizadas para cada uno de los ensayos:

Tabla III. **Resumen de resultados**

<b>Norma</b>	<b>Característica física</b>	<b>Resultado</b>
	Peso específico	2,13
NTG 41010h2	Peso unitario (kg/m <sup>3</sup> )	1 231,91
NTG 41010h2	Peso unitario suelto (kg/m <sup>3</sup> )	1 116,30
NTG 41010h2	Porcentaje de vacíos	42,30
NTG 41010h9	Porcentaje de absorción	4.20
NTG 41010h4	Contenido de materia orgánica	2
NTG 31010h3	Porcentaje que pasa tamiz 200	3,80
	Módulo de finura	2,70
	Porcentaje retenido tamiz 6,35	9,10

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

##### 4.2.1.1. Granulometría

Este método de ensayo se utiliza para determinar la graduación de materiales propuestos para su uso como agregados o que están siendo utilizados como agregados. Los resultados se usan para determinar la conformidad de la distribución por tamaños de partículas con los requisitos

aplicables de la especificación requerida y para proporcionar los datos necesarios para el control de la producción de varios productos de agregados y de mezclas que contengan agregados, los datos también pueden ser útiles para desarrollar relaciones concernientes a la porosidad y al acomodo de partículas.

Para el desarrollo de este ensayo, se utilizó la Norma NTG 41010 h1, con una muestra de ensayo de agregado seco de masa conocida, se separa a través de una serie de mallas de aberturas progresivamente más pequeñas para la determinación de la distribución por tamaño de partículas.

Tabla IV. **Resultados granulometría del agregado fino**

<b>Tamiz No.</b>	9,50	4,75	2,36	1,18	0,60	0,30	0,15
<b>% Que pasa</b>	98,05	92,07	79,56	67,13	50,42	31,87	13,27

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

Según los resultados obtenidos, se analizó la granulometría y se determinó que no ha cumplido con algunos parámetros de graduación que indican la Norma NTG 41007, el agregado contiene mucha piedra pómez que afecta en la calidad del material como podría afectar en las mezclas diseñadas.

El módulo de finura si se encuentra en el rango que indica la norma, el cual es de 2,3 – 3,1, de la misma manera, el contenido de materia orgánica no excedió del máximo permitido que indica la Norma NTG 41007.

#### 4.2.2. Agregado grueso

El agregado grueso que se utilizó fue pedrín triturado de ½ pulgada de diámetro, se utilizó este tamaño de agregado ya que se considera que es apto para las mezclas utilizadas en elementos estructurales.

Se indican las normas utilizadas para cada uno de los ensayos:

Tabla V. Resumen de resultados

Norma	Característica física	Resultado
	Peso específico	2,63
NTG 41010h2	Peso unitario (kg/m <sup>3</sup> )	1 469,90
NTG 41010h2	Peso unitario suelto (kg/m <sup>3</sup> )	1 385,50
NTG 41010h2	Porcentaje de vacíos	44,14
NTG 41010h9	Porcentaje de absorción	0,18
NTG 31010h3	Porcentaje que pasa tamiz 200	0,34

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

##### 4.2.2.1. Granulometría

Para el desarrollo de este ensayo, se utilizó la Norma NTG 41010 h1, utilizando una muestra de ensayo de agregado seco de masa conocida, utilizando el mismo procedimiento que se hizo con el agregado fino.

Tabla VI. **Resultados granulometría del agregado grueso**

<b>Tamiz No.</b>	1 ½"	1"	3/8"	1/2"	3/8"	No. 4	No. 8
<b>% Que pasa</b>	100,00	99,83	84,51	23,51	7,54	1,22	0,00

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

El agregado grueso se encuentra entre los límites que especifica la Norma NTG 41007, por lo que se le considera de muy buena calidad para las mezclas a realizar.

#### **4.3. Análisis de fibras sintéticas en adición**

Se realizó una caracterización de fibra en el CII/USAC para conocer las propiedades más importantes de los filamentos de polipropileno y *nylon*, como complemento en este trabajo de investigación. Se analizaron las 2 fibras, realizándoles ensayos que se especifican a continuación.

##### **4.3.1. Fibra de polipropileno**

Las fibras de polipropileno utilizadas, fueron de una casa comercial (Maccaferri), dicho producto se encuentra comercialmente en el medio con el nombre fibras para refuerzo del concreto FibroMac 12, estas fibras cuentan con una ficha técnica donde indica sus propiedades físicas y mecánicas.

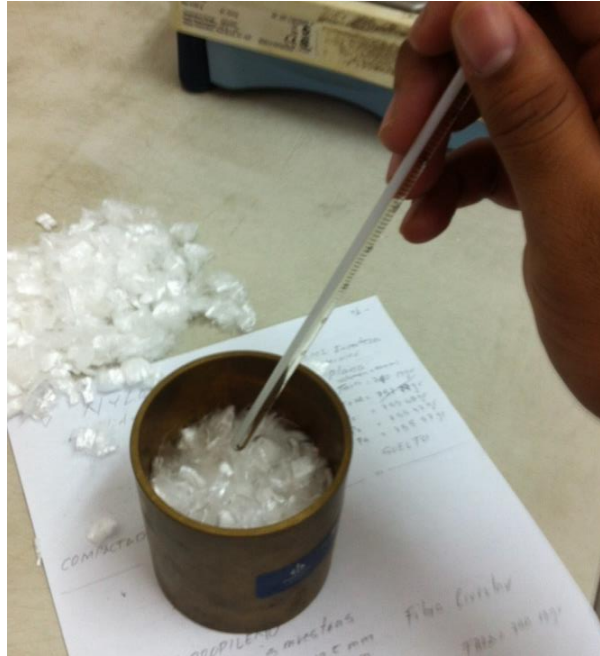
Figura 2. **Fibra de polipropileno**



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

Para un estudio más amplio, se les realizó la caracterización de fibra a los filamentos, para determinar ciertas propiedades que se describen en el siguiente cuadro resumen.

Figura 3. **Ensayos a la fibra**



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

Tabla VII. **Caracterización de fibra 1a**

<b>Fibra de polipropileno</b>	
<b>Ensayo</b>	<b>Resultado</b>
Forma	Fibra circular
Longitud (milímetros)	12,56
Densidad ( $\text{kg}/\text{cm}^3$ ) [ $\text{kg}/\text{m}^3$ ]	0,9756 [975,61]
Gravedad específica	0,9756
Masa unitaria suelta ( $\text{kg}/\text{m}^3$ )	69,74
Masa unitaria compactada ( $\text{kg}/\text{m}^3$ )	91,92

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

#### 4.3.2. Fibra de *nylon*

La fibra de *nylon* se obtuvo en una fábrica de lazos de *nylon* en Guatemala, ya que los lazos están hechos de filamentos de este polímero.

La fibra son residuos de los cortes de lazos de diferentes tamaños y fueron cortados para que tuvieran una longitud aproximada de 1 centímetro, muy semejante a la longitud de las fibras de polipropileno.

Figura 4. Fibra de *nylon*



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

Se realizaron los mismos ensayos a la fibra de *nylon*, que consistieron en observar ciertas propiedades físicas como forma, longitud y otros ensayos como la densidad del material y la gravedad específica.



Figura 5. **Ensayos a la fibra**



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

Tabla VIII. **Caracterización de fibra 2b**

<b>Fibra de polipropileno</b>	
<b>Ensayo</b>	<b>Resultado</b>
Forma	Fibra plana
Longitud (milímetros)	12,66
Densidad ( $\text{kg}/\text{cm}^3$ ) [ $\text{kg}/\text{m}^3$ ]	0,7282 [728,16]
Gravedad específica	0,7282
Masa unitaria suelta ( $\text{kg}/\text{m}^3$ )	38,48
Masa unitaria compactada ( $\text{kg}/\text{m}^3$ )	58,69

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

#### **4.4. Diseño de mezcla**

Es un proceso que consiste en calcular las proporciones de los materiales que forman el concreto, con el fin de obtener los mejores resultados.

La demanda del concreto ha sido la base para la elaboración de los diferentes diseños de mezcla, ya que estos métodos permiten a los usuarios

conocer no sólo las dosificaciones precisas de los componentes del concreto, sino también la forma más apropiada para elaborar la mezcla. Los métodos de diseño de mezcla están dirigidos a mejorar calificativamente la resistencia, calidad y durabilidad de todos los usos que pueda tener el concreto.

El adecuado proporcionamiento de los componentes del concreto dan a este la resistencia, durabilidad, comportamiento, consistencia, trabajabilidad y otras propiedades que se necesitan en determinada construcción y condiciones de trabajo y exposición de este, además con el óptimo proporcionamiento, se logrará evitar las principales anomalías en el concreto fresco y endurecido como la segregación, exudación, fisuramiento por contracción plástica y secado entre otras.

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

Las mezclas fueron diseñadas por el método del CII/USAC, con asentamiento entre 8–10 centímetros (3–4 pulgadas), se diseñaron 5 mezclas con una resistencia nominal de 210 kilogramos por centímetro cuadrado (3 000 psi) y una resistencia promedio requerida de 246 kilogramos por centímetro cuadrado con cemento UGC.

Según los resultados de los análisis completos de agregados antes descritos, se determinó que la relación agua/cemento es de 0,57, tomando en cuenta el porcentaje de humedad de los agregados, de acuerdo a estas consideraciones, se determinó que la proporción para los diferentes diseños de mezcla es la misma, la cual fue de 1:2.32:2.97:0.57, la única variación en las mezclas es el tipo de fibra y porcentaje en adición.

#### 4.4.1.1. Diseño teórico de mezcla patrón

Se contempló un diseño que se le denominó mezcla patrón, la cual no contiene ninguna adición de fibra sintética, la misma se utilizó como mezcla tradicional y por medio de esta se pueden hacer las comparaciones de las otras mezclas modificadas con fibras y ver si presentan una mejora en resistencia a flexión, tensión indirecta y compresión.

Se detalla en la siguiente tabla resumen, las proporciones utilizadas, tanto en peso (kilogramos) como en volumen (kilogramos por metro cúbico) para esta mezcla patrón.

Tabla IX. Datos del diseño teórico de la mezcla patrón

Concreto normal $f'_c=246 \text{ kg/cm}^2$		
Materiales	Proporción en peso (Kg)	Proporción en volumen ( $\text{kg/m}^3$ )
Cemento	1	351,00
Arena	2,32	813,60
Piedrín	2,95	1 035,40
Agua libre	0,57	200,00

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

#### 4.4.1.2. Diseño teórico de mezcla con fibra de polipropileno

Para el diseño de mezcla con adición de fibra de polipropileno, se utilizó la misma proporción que la mezcla patrón, con la diferencia que se realizaron 2 mezclas con diferentes porcentajes de adición de fibras, utilizando como base la

dosificación recomendada en la ficha técnica de la fibra de polipropileno FibroMac 12 (fibra utilizada), que indica que para un metro cúbico de concreto, se agregan 600 gramos de fibra, para el caso del diseño, se realizaron batchadas de 0,06 metros cúbicos, a la que se le agrego 100 por ciento de fibra que era equivalente a 18 gramos y para el caso de la segunda mezcla se le agrego 60 por ciento de fibra que es equivalente a 10,8 gramos.

Tabla X. **Datos del diseño teórico con fibra de polipropileno**

<b>Concreto normal <math>f'_c=246 \text{ kg/cm}^2</math></b>		
<b>Materiales</b>	<b>Proporción en peso (Kg)</b>	<b>Proporción en volumen (kg/m<sup>3</sup>)</b>
Cemento	1	351,00
Arena	2,32	813,60
Piedrín	2,95	1 035,40
Agua libre	0,57	200,00

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

- Adición de fibra de polipropileno (g/m<sup>3</sup>)
  - 100 por ciento (600 gramos)
  - 60 por ciento (360 gramos)

#### **4.4.1.3. Diseño teórico de mezcla con fibra de *nylon***

El diseño de mezcla con adición de fibra de *nylon*, se realizó bajo las mismas condiciones de los otros diseños, se utilizó la misma proporción y con las mismas variaciones de porcentaje de adición, la fibra utilizada fue residuo de lazos de *nylon* obtenidos en una fábrica de lazos en Guatemala.

Las batchadas fueron de 0,06 metros cúbicos, la adición de fibras fue en 2 porcentajes diferentes, al igual que en el diseño con fibra de polipropileno, 100 por ciento de fibra (18 gramos) y para el caso de la segunda mezcla se adiciono 60 por ciento de fibra (10,8 gramos).

Tabla XI. **Datos del diseño teórico con fibra de *nylon***

<b>Concreto normal <math>f'_c=246 \text{ kg/cm}^2</math></b>		
<b>Materiales</b>	<b>Proporción en peso (Kg)</b>	<b>Proporción en volumen (kg/m<sup>3</sup>)</b>
Cemento	1	351,00
Arena	2,32	813,60
Piedrín	2,95	1 035,40
Agua libre	0,57	200,00

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

- Adición de fibra de *nylon* (g/m<sup>3</sup>)
  - 100 por ciento (600 gramos)
  - 60 por ciento (360 gramos)

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

Los diseños de mezcla fueron realizados en el CII/USAC, siguiendo las proporciones especificadas en el diseño de mezcla teórico.

Para cumplir con los parámetros de asentamiento especificados en el diseño teórico, fue necesario modificar la cantidad de agua para estar dentro del rango de asentamiento del concreto, esto se debió a la saturación de los agregados.

Se describe el proceso que se llevó a cabo en cada uno de los diseños de mezclas realizados para este trabajo de investigación, en el inciso 4.1 de este capítulo se describen a detalle las normas y procedimientos para la realización de cada uno de los ensayos.

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

Los materiales fueron pesados en una balanza digital, el volumen de mezcla para cada diseño es de 0,12 metros cúbicos, con el cual se realizaron 8 cilindros, 4 vigas y 1 viga para el ensayo de velocidad de endurecimiento del concreto.

**Figura 6. Pesaje de los materiales**



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

Tabla XII. **Cantidad de material por bachada**

<b>Material</b>	<b>Dosificación</b>
Cemento	21,10 kg
Arena	48,82 kg
Piedrín	62,12 kg
Agua	12 litros
Fibra	18 gramos

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

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

Teniendo los materiales pesados se procedió a realizar la mezcla de concreto, se coloca la mezcladora en un lugar seguro y se procede agregar parte del agua a utilizar para humedecer las paredes de la misma y posteriormente se agrega el piedrín y la arena para su mezclado durante un tiempo en el que los agregados se homogenizan, se procede a verter el cemento, la fibra y el agua, este proceso dura entre 3 y 5 minutos para que la mezcla quede homogénea.

La cantidad de agua por bachada es de 12 litros, no se coloca la cantidad completa, cuando el rango de agua oscila entre 10 y 12 litros, se verifica la consistencia del concreto y se le realiza el ensayo de asentamiento para comprobar que estuviera en el rango de diseño, si se diera el caso que no cumpliera, se le agrega el resto de agua, en algunos casos la cantidad fue menor a 12 litros y en otros fue mayor a los 12 litros, esto se realizaba con el fin de evitar que el asentamiento no quedará fuera de los parámetros de diseño, ya que los materiales tenían diferente porcentaje de humedad en especial la arena de río.

Figura 7. **Mezclado de los materiales**



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

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

Estas pruebas se llevaron a cabo después del mezclado del concreto, antes del llenado de cilindros y vigas, los ensayos realizados al concreto en estado fresco son los siguientes:

- Asentamiento

El ensayo de asentamiento se realizó 2 veces por bachada para verificar que la mezcla quedara con un asentamiento entre 8 - 10 centímetros, se realizó bajo las especificaciones y procedimientos de la Norma NTG-41052 descrita en el inciso 4.1.2., obteniendo el resultado de:



- Mezcla patrón: 7,5 centímetros.
- Mezcla con 100 % de fibra de polipropileno: 9,5 centímetros.
- Mezcla con 60 % de fibra de polipropileno: 9,5 centímetros.
- Mezcla con 100 % de fibra de *nylon*: 7,5 centímetros.
- Mezcla con 60 % de fibra de *nylon*: 11 centímetros.

Figura 8. **Llenado y apisonado en ensayo de asentamiento**



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

Figura 9. **Medición del asentamiento del concreto**



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

- Temperatura

La medición de la temperatura del concreto recién mezclado, se realiza para satisfacer los requisitos de la Norma NTG-41053, posterior de realizar la prueba de asentamiento se traslada el concreto en carretilla al área de llenado de cilindros, estando en la carretilla se toma el dato de la temperatura, introduciendo el termómetro al menos 3 pulgadas en la mezcla durante un período mínimo de 2 minutos y no mayor a 5 minutos, durante este tiempo, se registra la lectura de la temperatura, la cual fue de:

- Mezcla patrón: 21,11 °C.
- Mezcla con 100 % de fibra de polipropileno: 21,6 °C.
- Mezcla con 60 % de fibra de polipropileno: 21,67 °C.
- Mezcla con 100 % de fibra de *nylon*: 23,89 °C.
- Mezcla con 60 % de fibra de *nylon*: 22,78 °C.

Figura 10. **Prueba de temperatura del concreto**



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

- **Peso unitario del concreto**

Uno de los ensayos importantes al concreto fresco, es el peso unitario, se realizó conforme la Norma NTG-41017h5 con el procedimiento especificado en el inciso 4.1.5, en una breve descripción, se utiliza un recipiente de volumen conocido y se llena en 3 capas y cada capa es varillada 25 veces de manera uniforme sobre su sección transversal, al realizar cada capa después del varillado, se golpea con el mazo de hule a los lados del recipiente para eliminar burbujas de aire, al terminar las 3 capas se enrasa con la varilla y se le da un acabado liso, después de enrasar y limpiar todo el concreto en el exterior del recipiente, se procede a pesar, obteniendo como resultado:

- Mezcla patrón: 2 158,58 kg/m<sup>3</sup>
- Mezcla con 100 % de fibra de polipropileno: 2 170 kg/m<sup>3</sup>
- Mezcla con 60 % de fibra de polipropileno: 2 193 kg/m<sup>3</sup>
- Mezcla con 100 % de fibra de *nylon*: 2 214,28 kg/m<sup>3</sup>
- Mezcla con 60 % de fibra de *nylon*: 2 281,42 kg/m<sup>3</sup>

Figura 11. **Ensayo de peso unitario del concreto**



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

Figura 12. **Enrase y limpieza exterior del recipiente**



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

- **Contenido de aire del concreto**

Luego de haber realizado el ensayo de peso unitario, con el mismo recipiente con concreto, se utiliza para realizarle el ensayo de contenido de aire con el procedimiento que indica la Norma NTG-41017h17, este método trabaja por medio de la observación del cambio de volumen del concreto producido por un cambio en la presión. Para conocer el procedimiento completo del ensayo se detalla en el inciso 4.1.4., los resultados obtenidos son:

- Mezcla patrón: 3 por ciento
- Mezcla con 100 % de fibra de polipropileno: 3,5 por ciento
- Mezcla con 60 % de fibra de polipropileno: 1,3 por ciento
- Mezcla con 100 % de fibra de *nylon*: 1,2 por ciento
- Mezcla con 60 % de fibra de *nylon*: (Dato no obtenido)

Figura 13. **Ensayo para el contenido de aire del concreto**



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

- Velocidad de endurecimiento

Este ensayo determina el tiempo de fraguado del concreto por medio de mediciones de resistencia a la penetración, se tamiza un mortero de la mezcla de concreto usado para el llenado de cilindros y vigas.

Figura 14. **Tamizado del mortero**



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

El mortero se coloca en un molde para viga y se almacena a una temperatura ambiente, a intervalos de tiempo se mide la resistencia a la penetración del mortero con agujas de diferente diámetro, este proceso se realizó bajo la Norma NTG 41017h12, la cual se especifica a detalle en el inciso 4.1.7.

Figura 15. **Llenado de la viga con mortero**



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

Figura 16. **Penetración del mortero a diferentes intervalos de tiempo**



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

- Preparación de los especímenes de ensayo a compresión y tensión

La preparación de los especímenes, esta especificada en la Norma NTG 41060 en el inciso 4.1.6., esta práctica indica los procedimientos para preparar y curar los especímenes de concreto para ensayo en laboratorio bajo un control de materiales y condiciones de ensayo. La norma también indica el posterior curado de los especímenes.

- Llenado de moldes cilíndricos

Los moldes utilizados para conformar los cilindros de ensayo, son de 6 pulgadas de diámetro por 12 pulgadas de altura. Los moldes son de acero, cortados longitudinalmente para poder abrirlos al momento de desencofrar, con tornillos y mariposas para cerrarlos y abrirlos fácilmente. Antes de verter el concreto, los moldes fueron aceitados con el objeto de que no existiera adherencia entre ellos y el concreto, logrando así un desencofrado más fácil, todo esto especificado por la norma.

El proceso de llenado de los cilindros, consiste en 3 capas requeridas aproximadamente de igual volumen, varille cada capa 25 veces de manera uniforme al terminar cada capa se debe golpear con un mazo de hule de manera uniforme la superficie de la probeta de 10 a 15 veces para eliminar cualquier burbuja de aire atrapada, para cada capa superior se debe penetrar al menos 1 pulgada la capa inferior.

Como último proceso, se enrasa la superficie del concreto, dándole un acabado con la varilla o con una paleta metálica de acuerdo con el método especificado en la norma.



Se deben retirar los especímenes de los moldes 24 horas después de su fundición y luego deben ser curados en un ambiente húmedo, esto significa que los especímenes de ensayo deben mantener agua libre sobre su superficie completa en todo momento, esta condición se debe realizar en tanques de almacenamiento de agua con saturación de hidróxido de calcio, los especímenes hechos fueron almacenados bajo estas condiciones hasta las edades a las cuales fueron ensayadas, 3, 7, y 28 días.

El proceso de curado tiene una gran importancia, ya que con este se previenen situaciones potencialmente dañinas para el concreto. En general se puede decir que el curado tiene por objeto evitar un secado prematuro, especialmente bajo la acción de los rayos del sol y del viento. Para garantizar que se obtengan las propiedades que se esperan del concreto, especialmente en la zona cercana a la superficie, es necesario curar el concreto fresco durante un período adecuado, iniciando tan pronto sea posible.

Por cada diseño realizado, se elaboraron 8 especímenes cilíndricos para ensayarlos a tres edades distintas.

Figura 17. **Llenado de especímenes**



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

Figura 18. **Especímenes terminados**



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

Figura 19. **Desencofrado y curado de especímenes**



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

- Llenado de moldes para vigas

Los moldes utilizados para hacer las vigas, son de forma rectangular de acero con tornillos y mariposas para abrirlos y cerrarlos de manera fácil, de la misma manera que los moldes cilíndricos, estos también son engrasados para evitar que se adhiera el concreto a las paredes del molde.

Las vigas se llenan en 2 capas y en cada capa se varilla toda la superficie con concreto de manera uniforme, luego de terminar este proceso, se procedió a darle golpes en todo el contorno del molde para eliminar las burbujas de aire atrapadas en el concreto. Al finalizar la segunda capa, se engrasa la superficie de la viga con la varilla, dándole un acabado uniforme, y para darle un acabado liso se realizó con una paleta metálica.

Se desencofran las vigas 24 horas después de su fundición y al igual que los cilindros fueron colocadas en tanques de almacenamiento de agua donde se dejaron sumergidas por completo y eran sacadas para ensayarlas a las diferentes edades.

Por cada diseño de mezcla se realizaron 4 vigas para su ensayo a 3, 7 y 28 días.

Figura 20. **Fundición de vigas**



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

Figura 21. **Vigas terminadas**



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

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

Los ensayos realizados al concreto en estado fresco; fueron las pruebas de asentamiento, temperatura, peso unitario, contenido de aire y velocidad de endurecimiento del concreto, estos ensayos antes descritos se realizaron a las diferentes mezclas, los resultados obtenidos se presentan a continuación en tablas resumen.

- Mezcla patrón

En el diseño de la mezcla patrón, la proporción utilizada fue de 1:2,31:2,94:0,64 en la tabla XIII de resumen, se especifican los resultados de los ensayos al concreto fresco.

Tabla XIII. Resultados de ensayos al concreto fresco

Ensayo	Resultado
Asentamiento de mezcla	7,5 centímetros
Temperatura	21,11 grados centígrados
Peso unitario	2 158,58 kg/m <sup>3</sup>
Contenido de aire	3 por ciento

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

Del ensayo de velocidad de endurecimiento, la temperatura del mortero después del tamizado fue de 23,6 grados Celsius, al momento de colocar la viga, se determinó que la temperatura ambiente al inicio del ensayo fue de 23, 6 grados Celsius y al finalizar el ensayo, la temperatura ambiente fue de 21, 4 grados Celsius.

Tabla XIV. **Resultado velocidad de endurecimiento del concreto**

<b>Ensayo</b>	<b>Resultado</b>	
Velocidad de endurecimiento NTG 41017h12 (ASTM C-403)	500 psi	5 hrs, 40 min
	3000 psi	9 hrs, 10 min

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

- Mezcla con 100 por ciento de fibra de polipropileno

En el diseño de mezcla con adición del 100 por ciento de fibra de polipropileno, la proporción utilizada fue de 1:2,31:2,94:0,57 en la tabla XV de resumen, se especifican los resultados de los ensayos al concreto fresco.

Tabla XV. **Resultados de ensayos al concreto fresco**

<b>Ensayo</b>	<b>Resultado</b>
Asentamiento de mezcla	9,5 centímetros
Temperatura	21,6 grados centígrados
Peso unitario	2 170 kg/m <sup>3</sup>
Contenido de aire	3,5 por ciento

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

- Mezcla con 60 por ciento de fibra de polipropileno

En el diseño de mezcla con adición del 60 por ciento de fibra de polipropileno, la proporción utilizada fue de 1:2,31:2,94:0,57 en tabla XVI de resumen, se especifican los resultados de los ensayos al concreto fresco.

Tabla XVI. **Resultado de ensayos al concreto fresco 2b**

<b>Ensayo</b>	<b>Resultado</b>
Asentamiento de mezcla	9,5 centímetros
Temperatura	21,67 grados centígrados
Peso unitario	2 193 kg/m <sup>3</sup>
Contenido de aire	1,3 por ciento

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

Del ensayo de velocidad de endurecimiento, la temperatura del mortero después del tamizado fue de 21,67 grados Celsius, al momento de colocar la viga, se determinó que la temperatura ambiente al inicio del ensayo fue de 23 grados Celsius y al finalizar el ensayo la temperatura ambiente fue de 21 grados Celsius.

Tabla XVII. **Resultado velocidad de endurecimiento del concreto**

<b>Ensayo</b>	<b>Resultado</b>	
Velocidad de endurecimiento NTG 41017h12 (ASTM C-403)	500 psi	5 hrs, 20 min
	3000 psi	8 hrs, 20 min

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

- Mezcla con 100 por ciento de fibra de *nylon*

En el diseño de mezcla con adición del 100 por ciento de fibra de *nylon*, la proporción utilizada fue de 1:2,31:2,94:0,55 en la tabla XVIII de resumen, se especifican los resultados de los ensayos al concreto fresco.

Tabla XVIII. **Resultados de ensayos al concreto fresco 1a**

<b>Ensayo</b>	<b>Resultado</b>
Asentamiento de mezcla	7,5 centímetros
Temperatura	23,89 grados centígrados
Peso unitario	2 214,28 kg/m <sup>3</sup>
Contenido de aire	1,2 por ciento

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

- Mezcla con 60 por ciento de fibra de *nylon*

En el diseño de mezcla con adición del 60 por ciento de fibra de *nylon*, la proporción utilizada fue de 1:2,31:2,94:0,52 en la tabla XIX de resumen, se especifican los resultados de los ensayos al concreto fresco.

Tabla XIX. **Resultado de ensayos al concreto fresco 2b**

<b>Ensayo</b>	<b>Resultado</b>
Asentamiento de mezcla	11 centímetros
Temperatura	22,78 grados centígrados
Peso unitario	2 281,42 kg/m <sup>3</sup>
Contenido de aire	-

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



Del ensayo de velocidad de endurecimiento, la temperatura del mortero después del tamizado fue de 22,78 grados Celsius, al momento de colocar la viga, se determinó que la temperatura ambiente al inicio de ensayo fue de 23 grados Celsius y al finalizar el ensayo la temperatura ambiente fue de 22 grados Celsius.

Tabla XX. **Resultado velocidad de endurecimiento del concreto**

Ensayo	Resultado	
Velocidad de endurecimiento NTG 41017h12 (ASTM C-403)	500 psi	4 hrs, 20 min
	3000 psi	6 hrs, 50 min

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

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

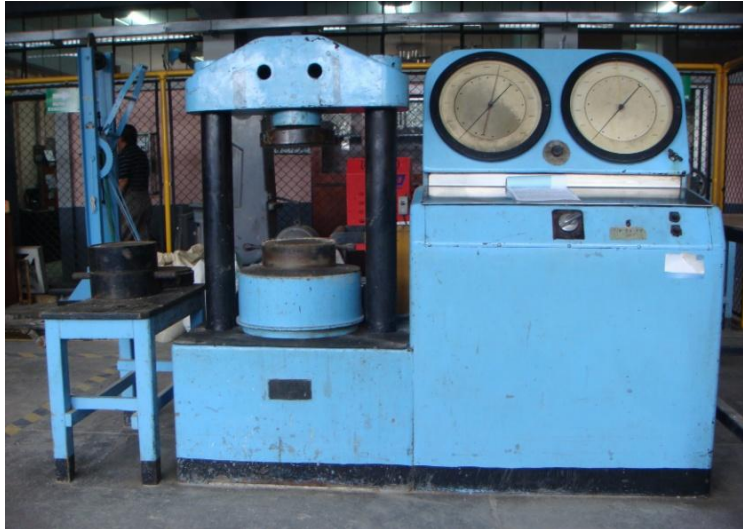
Los ensayos realizados al concreto endurecido son; compresión, flexión y tensión indirecta, con estas pruebas se determinará la resistencia del concreto modificado a base de fibras sintéticas.

Cada ensayo fue realizado bajo las especificaciones de la Norma Técnica Guatemalteca, las cuales están especificadas en este capítulo, en el inciso 4.1.

- Ensayo para la resistencia a la compresión

Los ensayos fueron realizados en una máquina de compresión Riehle en el CII/USAC, la cual tiene una capacidad de 300 000 libras.

Figura 22. **Máquina de ensayos a compresión RIEHLE**



Centro de Investigaciones de Ingeniería. USAC.

El procedimiento comienza con el pesaje y medición de los cilindros a ensayar, se miden los diferentes diámetros, tanto en los extremos como en el medio, y la altura, estas mediciones se realizan con un vernier con 0,1 milímetros de aproximación. Este proceso se realizó con cada espécimen a ensayar.

Figura 23. **Pesaje y medición de probetas**



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

Ya hechas las mediciones, se puede realizar el ensayo a compresión de las probetas, se coloca el espécimen en la máquina de ensayos Riehle con sellos de neopreno en los extremos, la carga aplicada debe ser a una velocidad constante y continua de 20 a 50 libras pulgada cuadrada por segundo.

Aplicar la carga hasta que el indicador muestre la carga máxima y el espécimen muestra un patrón de fractura definido, registrar la carga máxima soportada por el espécimen durante el ensayo.

Figura 24. **Ensayo a compresión**



Centro de Investigaciones de Ingeniería. USAC.

- Ensayo para la resistencia a la flexión

Los ensayos para determinar la resistencia a flexión, fueron realizados en una máquina universal en el CII/USAC, este ensayo se lleva a cabo con vigas simplemente soportada con cargas en los tercios de luz, los resultados se calculan e informan por medio del módulo de ruptura (esfuerzo a flexión  $\text{kg}_f/\text{cm}^2$ ).

Figura 25. **Máquina universal**



Fuente: Centro de Investigaciones de Ingeniería. USAC.

Las vigas en todo momento permanecieron en un ambiente húmedo como lo indica la norma, para realizar el ensayo previamente se procede a realizar las mediciones de la viga y se pesan.

Es necesario marcar los tercios de su luz para referenciar las distancias a las que van a ser colocados los apoyos, este proceso se realizó con cada una de las vigas que fueron ensayadas para determinar los resultados de este trabajo de investigación.

El montaje de la viga, se realiza sobre apoyos de acero, los cuales ya se encuentran a la distancia que la norma exige, se coloca la viga centrada con relación a la fuerza aplicada, la carga debe ser aplicada de manera uniforme y sin sacudidas a una velocidad constante hasta el punto de ruptura.

Al momento de la ruptura, se observa en que tercio de la luz de la viga ocurrió la fractura, esto es necesario al momento de calcular el módulo de ruptura.

**Figura 26. Ensayo a flexión de vigas**



Fuente: Centro de Investigaciones de Ingeniería. USAC.

**Figura 27. Análisis de la fractura**



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

- Ensayo para la resistencia a tracción indirecta

Los cilindros ensayados para determinar la resistencia a la tensión indirecta al igual que los otros ensayos, se realizaron en una máquina para especímenes a tensión, estos se realizaron en el CII/USAC.

Con el mismo proceso explicado en los ensayos a compresión, se realiza la toma de medidas de los diferentes diámetros y longitud del espécimen, este método de ensayo consiste en aplicar una fuerza de compresión diametral a lo largo de la longitud del espécimen cilíndrico a una velocidad que esta dentro del rango descrito en la norma, esta carga induce esfuerzos de tracción sobre el plano que tiene la carga aplicada, ocurre más bien la falla por tracción en vez de la falla por compresión, porque las áreas aplicadas de carga están en un estado de compresión triaxial.

La carga se debe aplicar de forma continua a una velocidad constante dentro del rango de un esfuerzo de tracción indirecta de 100 a 200 libras por minuto hasta la falla del espécimen, en ese momento se registra la carga máxima aplicada por la máquina de ensayo.

Figura 28. **Ensayo a tracción indirecta**



Fuente: Centro de Investigaciones de Ingeniería. USAC.

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

Los ensayos al concreto en estado endurecido, fueron resistencia a compresión, flexión y tensión indirecta, en las siguientes tablas resumen se presentan los resultados obtenidos de los ensayos a las diferentes edades y de las distintas mezclas diseñadas.

Los resultados fueron tabulados por el personal técnico del CII/USAC, todo bajo los procedimientos que indica la Norma Técnica Guatemalteca, esto se realizó para cada uno de los ensayos efectuados a los especímenes de concreto.

Se utilizará una nomenclatura para identificar los distintos tipos de mezclas y cilindros ensayados, los denominaremos de la siguiente forma:



- MP: mezcla patrón
- M100POL: mezcla con 100% de fibra de polipropileno
- M60POL: mezcla con 60% de fibra de polipropileno
- M100NYLON: mezcla con 100% fibra de *nylon*
- M60NYLON: mezcla con 60 % fibra de *nylon*

#### 4.4.2.6.1. Resultado de ensayos a compresión

Se tabularon los siguientes resultados de los ensayos realizados, a los distintos diseños de mezcla mediante los procedimientos ya definidos de acuerdo con las normas citadas. La máquina registra la carga en libras se procede a calcular la resistencia a la compresión dividiendo la carga máxima soportada por el promedio del área de la sección transversal del cilindro.

Tabla XXI. Resultado a compresión de mezcla patrón

No. de cilindro	Edad en días	Peso en kg	Diámetro en cm	Altura en cm	Carga en libras	Resistencia Mpa	Resistencia lb/plg <sup>2</sup>	Tipo de fractura
MP1	3	12,110	15,143	30,250	24 662	6,10	890	E
MP2	3	12,050	15,202	30,210	29 448	7,20	1 040	E
MP3	7	11,950	15,163	30,580	42 342	10,40	1 510	E
MP4	28	11,810	15,040	30,350	70 295	17,60	2 550	E

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

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

No. de cilindro	Edad en días	Peso en kg	Diámetro en cm	Altura en cm	Carga en libras	Resistencia Mpa	Resistencia lb/plg <sup>2</sup>	Tipo de fractura
M100POL1	3	11,890	15,150	30,270	33 416	8,20	1 190	E
M100POL2	7	11,890	15,160	30,190	48 292	11,90	1 730	B
M100POL3	28	12,110	15,093	30,480	78 512	19,50	2 830	B

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

Tabla XXIII. **Resultados a compresión de mezcla con 60 % polipropileno**

No. de cilindro	Edad en días	Peso en kg	Diámetro en cm	Altura en cm	Carga en libras	Resistencia Mpa	Resistencia lb/plg <sup>2</sup>	Tipo de fractura
M60POL1	3	11,980	15,183	30,370	32 424	8,00	1 160	B
M60POL2	7	12,020	15,070	30,470	43 333	10,80	1 570	C
M60POL3	28	12,050	15,113	30,340	79 479	19,70	2 860	E

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

Tabla XXIV. **Resultados a compresión de mezcla con 100 % nylon**

No. de cilindro	Edad en días	Peso en kg	Diámetro en cm	Altura en cm	Carga en libras	Resistencia Mpa	Resistencia lb/plg <sup>2</sup>	Tipo de fractura
M100NYLON1	3	11,870	15,160	30,460	30 440	7,50	1 090	E
M100NYLON2	7	12,120	15,160	30,340	51 268	12,60	1 830	E
M100NYLON3	28	12,050	15,130	30,320	79 479	19,70	2 860	B

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

Tabla XXV. **Resultados a compresión de mezcla con 60 % nylon**

No. de cilindro	Edad en días	Peso en kg	Diámetro en cm	Altura en cm	Carga en libras	Resistencia Mpa	Resistencia lb/plg <sup>2</sup>	Tipo de fractura
M60NYLON1	3	12,360	15,100	30,370	38 374	9,50	1 380	B
M60NYLON2	7	12,410	15,230	30,320	56 227	13,70	1 990	B
M60NYLON3	28	12,490	15,190	30,490	84 796	20,80	3 020	B

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

#### 4.4.2.6.2. Resultado de ensayos a flexión

Para determinar el módulo de ruptura, la norma proporciona la fórmula, dicha fórmula depende en que tercio de la viga sucede la fractura, en el caso de los ensayos realizados a las distintas mezclas diseñadas, todas las fracturas ocurrieron en el tercio medio de la viga sin sobrepasar en más de 5 por ciento de su longitud.

La forma utilizada para el cálculo del módulo de ruptura en el tercio medio es la siguiente:

$$MR = \frac{PL}{bh^2}$$

Donde:

MR	=	Módulo de Ruptura
P	=	carga máxima aplicada en kilogramos fuerza
L	=	distancia entre apoyos en centímetros
b	=	ancho promedio del espécimen en centímetros
h	=	peralte promedio del espécimen en centímetros

Se ensayó 1 viga para 3 y 7 días y 2 vigas para 28 días, esto para cada mezcla diseñada, esto para tener un parámetro del aumento de la resistencia del concreto, pero como los datos que interesan son los ensayos a 28 días, se presenta una tabla resumen de las vigas que mejor resultado dieron a esa edad, la nomenclatura será la misma que ya se describió.

Tabla XXVI. **Resultados de ensayos de resistencia a la flexión**

No. de viga	Edad en días	Ancho en cm	Alto en cm	Largo en cm	Luz entre apoyos en cm	Carga de ruptura en Kg	Módulo de ruptura en kg/cm <sup>2</sup>	Módulo de ruptura en psi
MP	28	15,00	15,00	53,35	45,50	2 719,45	36,66	521,45
M100POL	28	15,00	15,00	53,35	45,50	2 769,45	37,33	531,01
M60POL	28	15,20	15,10	53,35	45,50	2 869,45	37,67	535,81
M100NYLON	28	15,00	15,40	53,35	45,50	3 019,45	38,62	549,30
M60NYLON	28	15,00	15,00	53,35	45,50	2 819,45	38,01	540,63

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

#### 4.4.2.6.3. **Resultado de ensayos a tensión indirecta**

Para la resistencia a tensión indirecta, por lo general se ensayan a 3, 7 y 28 días, el procedimiento de ensayo ya se ha definido. Al momento de obtener la carga máxima aplicada, se calcula la resistencia que tiene el concreto con la siguiente fórmula:

$$T = \frac{2p}{\pi \cdot d \cdot l}$$

Donde:

- T = resistencia a la tracción indirecta, Mpa (psi)
- p = carga máxima aplicada en libras fuerza
- d = diámetro del espécimen en centímetros
- l = longitud del espécimen en centímetros

Tabla XXVII. **Resultados a tensión indirecta de mezcla patrón**

No. de cilindro	Edad en días	Peso en kg	Diámetro en cm	Altura en cm	Carga en libras	Resistencia Mpa	Resistencia lb/plg <sup>2</sup>
MP5	3	12,090	15,158	30,530	15 250	0,90	135
MP6	7	12,230	15,133	30,300	33 000	2,00	295
MP7	7	12,110	15,193	30,260	33 000	2,00	295
MP8	28	12,280	15,110	30,440	48 000	3,00	430

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

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

No. de cilindro	Edad en días	Peso en kg	Diámetro en cm	Altura en cm	Carga en libras	Resistencia Mpa	Resistencia lb/plg <sup>2</sup>
M100POL5	3	11,880	15,085	30,420	24 000	1,45	210
M100POL6	7	11,930	15,186	30,575	37 500	2,30	331
M100POL7	28	12,130	15,103	30,330	49 000	3,05	441

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

Tabla XXIX. **Resultados a tensión indirecta de mezcla con 60 % polipropileno**

No. de cilindro	Edad en días	Peso en kg	Diámetro en cm	Altura en cm	Carga en libras	Resistencia Mpa	Resistencia lb/plg <sup>2</sup>
M60POL4	3	11,950	15,213	30,490	24 000	1,45	210
M60POL5	7	12,110	15,010	30,470	36 000	2,25	325
M60POL7	28	12,090	15,186	30,300	42 000	2,60	375
M60POL8	28	12,080	15,203	30,125	41 000	2,55	370

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

Tabla XXX. **Resultados a tensión indirecta de mezcla con 100 % nylon**

No. de cilindro	Edad en días	Peso en kg	Diámetro en cm	Altura en cm	Carga en libras	Resistencia Mpa	Resistencia lb/plg <sup>2</sup>
M100NYLON4	3	11,780	15,093	30,335	22 000	1,40	200
M100NYLON6	7	12,130	15,260	30,730	38 000	2,30	330
M100NYLON7	28	12,030	15,193	30,450	53 000	3,25	470
M100NYLON8	28	11,990	15,198	30,600	51 000	3,10	450

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

Tabla XXXI. **Resultados a tensión indirecta de mezcla con 60 % nylon**

No. de cilindro	Edad en días	Peso en kg	Diámetro en cm	Altura en cm	Carga en libras	Resistencia Mpa	Resistencia lb/plg <sup>2</sup>
M60NYLON4	3	12,330	15,076	30,150	24 000	1,50	215
M60NYLON5	7	12,400	15,083	30,200	37 000	2,30	335
M60NYLON8	28	12,070	15,155	30,510	48 000	2,95	425

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



## 5. COMPARACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

Como ya se ha explicado en el capítulo 4, se realizaron 5 diseños prácticos de mezcla, en los cuales se calculó el proporcionamiento de los materiales, la proporción 1:2,32:2,97:0,57 permite conocer las dosificaciones precisas de los materiales del concreto y de esta manera obtener los resultados de los ensayos realizados a los especímenes a 3, 7 y 28 días.

La resistencia con la cual se diseñaron las mezclas, fue de 210 kilogramos por centímetro cuadrado (3 000 psi), para tener una mezcla tradicional y poder realizar la comparación de las mezclas modificadas, se realizó la mezcla patrón, la cual fue elaborada sin ninguna adición de fibras sintéticas. Para las otras mezclas se utilizó 2 tipos de fibras, las cuales ya se especificaron en cuanto a sus características, estas son fibra de *nylon* y polipropileno, ambas son de origen sintético.

Como ya se mencionó, en las mezclas con adición de fibra, se utilizó la misma proporción, ya que el propósito de esta investigación es determinar si el concreto modificado a base de fibras tiene una mejor resistencia utilizando la misma proporción que una mezcla tradicional, se realizará el análisis y comparación de las mezclas en este capítulo.

Se utilizaran para realizar las comparaciones, los mejores resultados obtenidos para cada edad, ya que en algunos casos se ensayaron 2 especímenes por edad.

## 5.1. Concreto sin adición

Como ya se sabe, el concreto sin adición, es la muestra patrón, por medio de los resultados de este diseño, se pueden hacer las comparaciones de las otras mezclas con adición de fibra y ver si presentan una mejora en resistencia tanto a flexión, tensión indirecta y compresión.

Tabla XXXII. **Resultado de mezcla patrón**

<b>Edad en días</b>	<b>Resistencia lb/plg<sup>2</sup></b>	<b>Resistencia Mpa</b>
<b>Resistencia a compresión de MP</b>		
3	1 040	7,20
7	1 510	10,40
28	2 550	17,60
<b>resistencia a flexión de MP</b>		
28	521,45	36,66
<b>Resistencia a tensión indirecta de MP</b>		
3	135	0.90
7	295	2
28	430	3

Fuente: elaboración propia.

## 5.2. Concreto con fibra de polipropileno

La mezcla con adición de fibras de polipropileno se realizó con 2 porcentajes de fibras distinto, una con la adición del 100 por ciento de fibra como lo recomienda la ficha técnica de FibroMac 12 (fibra utilizada), y la otra mezcla con la adición del 60 por ciento de fibra, los datos obtenidos son los siguientes:

Tabla XXXIII. Resultados de mezclas con fibra de polipropileno

Edad en días	Resistencia lb/plg <sup>2</sup>	Resistencia Mpa
<b>Resistencia a compresión de M100POL</b>		
3	1 190	8,20
7	1 730	11,90
28	2 830	19,50
<b>Resistencia a compresión de M60POL</b>		
3	1 160	8,00
7	1 570	10,80
28	2 860	19,70
<b>resistencia a flexión de MP100POL</b>		
28	531,01	37,33
<b>resistencia a flexión de MP60POL</b>		
28	535,81	37,67

Continuación de la tabla XXXIII.

Edad en días	Resistencia lb/plg <sup>2</sup>	Resistencia Mpa
<b>Resistencia a tensión indirecta de M100POL</b>		
3	210	1,45
7	331	2,30
28	441	3,05
<b>Resistencia a tensión indirecta de M60POL</b>		
3	210	1,45
7	325	2,25
28	375	2,60

Fuente: Elaboración propia.

### 5.3. Concreto con fibras de *nylon*

El diseño de mezcla con adición de fibras de *nylon* se realizó bajo las mismas condiciones que la mezcla con adición de polipropileno, se realizaron 2 mezclas con distintos porcentajes de fibra, una con 100 por ciento y la otra con 60 por ciento de fibra de *nylon*, la fibra que se utilizó fue residuo de lazos de dicho polímero obtenido en una fábrica de lazos en el medio, los datos obtenidos de resistencia a compresión, flexión y tensión indirecta son los siguientes:

Tabla XXXIV. Resultado de mezclas con fibra de *nylon*

Edad en días	Resistencia lb/plg <sup>2</sup>	Resistencia Mpa
<b>Resistencia a compresión de M100NYLON</b>		
3	1 090	7,50
7	1 830	12,60
28	2 860	19,70
<b>Resistencia a compresión de M60NYLON</b>		
3	1 380	9,50
7	1 990	13,70
28	3 020	20,80
<b>resistencia a flexión de MP100NYLON</b>		
28	549,30	38,62
<b>resistencia a flexión de MP60NYLON</b>		
28	540,63	38,01
<b>Resistencia a tensión indirecta de M100NYLON</b>		
3	200	1,40
7	330	2,30
28	470	3,25
<b>Resistencia a tensión indirecta de M60POL</b>		
3	215	1,50
7	335	2,30
28	425	2,95

Fuente: elaboración propia.

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

Es importante realizar una comparación de los resultados para tener un mejor punto de vista de las resistencias de las distintas mezclas, así se podrá determinar y recomendar que adición de fibra tiene mejor rendimiento al momento de trabajar en conjunto con el concreto.

Tabla XXXV. Comparación de resultados de ensayos realizados

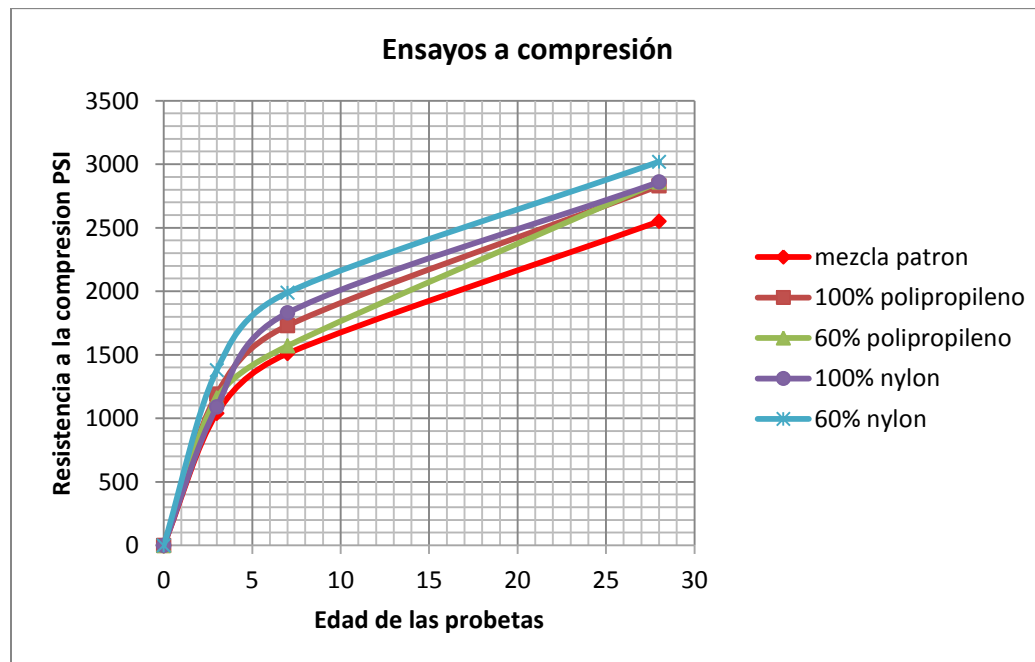
Ensayo	Edad en días	Mezcla patrón lb/plg <sup>2</sup>	Mezcla con fibra de polipropileno lb/plg <sup>2</sup>		Mezcla con fibra de nylon lb/plg <sup>2</sup>	
			100 %	60%	100%	60 %
		Sin adición				
Compresión	3	1 040	1 190	1 160	1 090	1 380
	7	1 510	1 730	1 570	1 830	1 990
	28	2 550	2 830	2 860	2 860	3 020
Tensión indirecta	3	135	210	210	200	215
	7	295	331	325	330	335
	28	430	441	375	470	425
Flexión	3	253,03	253,03	272,09	272,09	272,09
	7	368,10	291,30	329,69	300,82	396,83
	28	521,45	531,01	535,81	549,30	540,63

Fuente: elaboración propia.

### 5.4.1. Gráficas

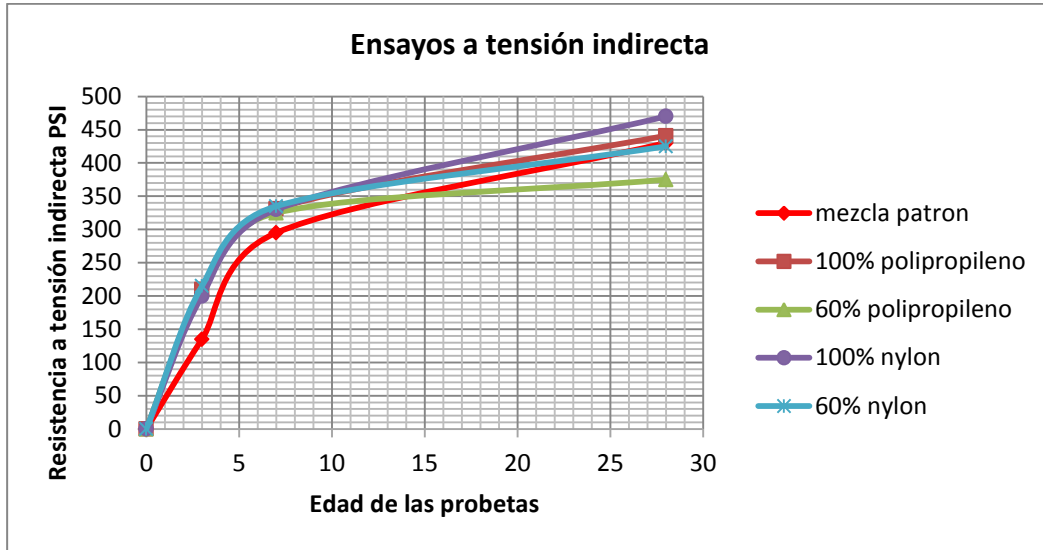
Las siguientes gráficas ilustran la relación de la resistencia a compresión, tensión indirecta y flexión de los 5 diseños de mezclas realizados, a partir de la mezcla patrón, se observará si hay una mejora de la resistencia del concreto al agregar fibras sintéticas a las otras mezclas modificadas.

Figura 29. **Comportamiento de las mezclas ensayadas a compresión**



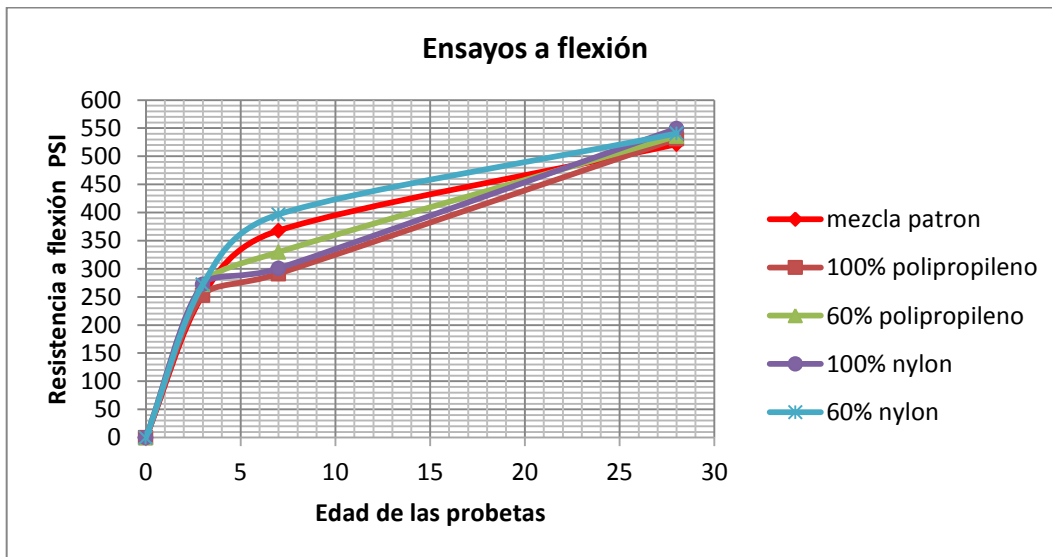
Fuente: elaboración propia.

Figura 30. **Comportamiento de las mezclas ensayadas a tensión**



Fuente: elaboración propia.

Figura 31. **Comportamiento de las mezclas ensayadas a flexión**



Fuente: elaboración propia.



## 5.5. Interpretación de los resultados

Se analizaran los resultados de los ensayos a compresión, tensión indirecta y flexión, como se puede observar en las gráficas, algunas mezclas presentaron buen rendimiento comparándolas con la mezcla patrón, a continuación se hará el análisis.

La trabajabilidad del concreto no se afectó de ninguna manera al adicionar fibras sintéticas a la mezcla, y el acomodamiento de fibras se observó que fue de manera homogénea, ya que se distribuyó muy bien.

El acabado que presento el concreto en estado endurecido, tampoco se vio afectado por las fibras sintéticas, ya que se observó poca presencia de las fibras en su superficie, cuando los especímenes fueron ensayados y presentaron falla en la parte interna, se observó que las fibras se encontraban bien distribuidas en el concreto.

La velocidad de endurecimiento del concreto, estuvo muy parecida en las distintas mezclas a diferencia de la mezcla con 60 por ciento de adición de fibra de *nylon* tuvo un endurecimiento más rápido, comparado con las otras mezclas que tuvieron un endurecimiento muy parecido que alcanzó las 500 libras por pulgada cuadrada entre las 5 – 6 horas, y las 3 000 libras por pulgada cuadrada las alcanzo entre las 8 – 9 horas.

La mezcla de 60 por ciento de *nylon* endureció más rápido alcanzando las 500 libras por pulgada cuadrada a las 4 horas con 20 minutos, y las 3 000 libras por pulgada cuadrada a las 6 horas con 50 minutos.

### **5.5.1. Análisis de las distintas mezclas ensayadas a compresión**

Según el análisis de los resultados en la tabla XXXV, en las diferentes mezclas se obtuvo un resultado satisfactorio, ya que los resultados se elevaron respecto a la mezcla patrón, las mezclas con adición de fibra de polipropileno, la resistencia no aumentó en función a la cantidad de adición de fibra, eso quiere decir que la mezcla con 100 por ciento de adición, presentó menos resistencia a los 28 días respecto a la que tiene 60 por ciento de fibra, la resistencia a la compresión aumenta cuando tiene menos porcentaje de fibra, en este caso el 60 por ciento.

Las mezclas con adición de fibra de *nylon*, aumentaron su resistencia con respecto a la mezcla patrón, de esta manera se verificó que la resistencia de las mezclas aumentó al adicionar fibra de *nylon*, de igual manera que la mezcla con 60 por ciento de polipropileno se tuvo mejor resultado en la mezcla que se le adicionó el 60 por ciento de fibra de *nylon*, ya que tiene mejores resultados en la resistencia, respecto a la mezcla se le adicionó el 100 por ciento de fibra de *nylon*.

De esta manera todas las mezclas modificadas presentaron un aumento de la resistencia a la compresión respecto a una mezcla tradicional sin ninguna adición, recordando que la adición de fibra se hizo respecto a la recomendación de la ficha técnica de las fibras de polipropileno, donde indica que la dosificación mínima es de 600 gramos de fibras por cada metro cúbico de concreto.

La adición de fibra de *nylon* tuvo mejor resultado, ya que fue la que más aumentó la resistencia a la compresión del concreto a los 28 días.

### **5.5.2. Análisis de las distintas mezclas ensayadas a tensión indirecta**

Los resultados de los ensayos realizados a tensión indirecta, también presentaron una mejora en la resistencia al adicionar fibras sintéticas, ya que los resultados fueron mayores a los obtenidos en la mezcla patrón, en el caso de estos ensayos, la tendencia que tienen las fibras es que al trabajar a tensión responden de una mejor manera, al trabajar con 2 porcentajes de fibras se tiene un mejor resultado con la adición del 100 por ciento, eso significa que mientras más fibra tenga la mezcla, más aumenta su resistencia a tensión indirecta.

Según el análisis de los resultados y las gráficas, la mezcla con fibra de polipropileno el aumento de resistencia fue significativo, ya que el aumento de resistencia fue tan solo de 11 libras sobre pulgada cuadrada comparándola con la mezcla patrón, como ya se mencionó, esto fue con la mezcla que tiene la adición del 100 por ciento de fibra, esto aplica a los dos tipos de fibra.

La mezcla con adición de fibra de *nylon* fue la que presentó mejores resultados, ya que el aumento de la resistencia fue de 40 libras por pulgada cuadrada, recordando que todo el análisis se hace comparándolo con la mezcla patrón.

La adición de fibra de *nylon*, da mejores resultados, al agregar 100 por ciento de fibras, es importante recordar que la dosificación que se denomina como 100 por ciento, fue recomendada por la ficha técnica de la fibra de polipropileno, donde indica que esa cantidad es el mínimo que se puede utilizar, entonces se puede agregar más de 600 gramos de fibras por cada metro cúbico y probablemente se tenga aún mejores resultados en la resistencia a tensión indirecta en las mezclas de concreto.

### 5.5.3. Análisis de las distintas mezclas ensayadas a flexión

Los especímenes ensayados a flexión, también presentaron una mejora en la resistencia, ya que aumento al agregarle fibras sintéticas, los especímenes ensayados a 3 días empezaron a dar mejor resultado respecto a la mezcla patrón, el comportamiento que tuvieron es que las mezclas que tenían el 100 por ciento de adición de fibra tuvieron más resistencia o igual respecto a la mezcla patrón y la mezcla con 60 por ciento de fibra, esto entre los 3 y 7 días de edad.

El análisis más importante, es con los ensayos a 28 días, que es cuando el concreto alcanza la resistencia esperada, se sabe que la resistencia aún puede aumentar después de los 28 días, pero ya es un aumento significativo, por lo tanto las mezclas con adición de fibra de polipropileno, tienen un aumento de resistencia cuando se agrega el 100 por ciento de fibra, la diferencia respecto a la que se le adicionó el 60 por ciento, fue de  $\Delta=0,9$  por ciento que fueron aproximadamente 5 libras por pulgada cuadrada más.

Las mezclas con adición de fibra de *nylon*, tuvieron un caso especial, ya que el análisis de los resultado y las gráficas se observa que entre la edad de 3 y 7 días la resistencia aumento según el porcentaje de fibra que se le agrego, eso quiere decir que la mezcla con 100 por ciento de adición, tuvo mayor resistencia que la que se le adiciono 60 por ciento, la tendencia que se esperaba, es que a los 28 días se mantuviera esta relación que la mezcla con más fibra tuviera mayor resistencia, pero en este caso a los 28 días la mezcla con 60 por ciento de adición presento mayor resistencia respecto a la que tenia 100 por ciento de fibras, el porcentaje de diferencia fue de  $\Delta=1,6$  por ciento en aumento de resistencia que fueron aproximadamente 9 libras por pulgada cuadrada, es posible que ocurriera un error al momento de realizar el ensayo ya

que como se mencionó según la tendencia que se traía a 3 y 7 días tuvo que dar mayor resistencia a los 28 días la mezcla con 100 por ciento de fibra de *nylon*.

De la misma forma que la mezcla con adición de polipropileno, la mezcla de *nylon* también presenta una mejora en la resistencia cuando se agrega mayor porcentaje de fibras.



## CONCLUSIONES

1. La adición de fibras sintéticas aumenta la resistencia a compresión, tensión indirecta y flexión, de esta manera se comprobó que las mezclas modificadas con fibras sintéticas son una opción para aumentar la resistencia del concreto usado en elementos estructurales.
2. La resistencia a la compresión se comprobó que aumenta más cuando se le agrega el 60 por ciento de fibra, ya sea de *nylon* o polipropileno, esto es debido a que existen más espacios libres donde los agregados encuentran un mejor acomodamiento.
3. La resistencia a la tensión del concreto, es favorecida con el empleo de fibras de *nylon* y polipropileno, existe una diferencia notable entre el concreto elaborado sin fibra y el concreto elaborado con fibra, las mezclas con fibra aumentan su resistencia a edades tempranas y aunque esta disminuye su ritmo de aumento, sigue incrementándose con respecto al tiempo, durante todas las pruebas realizadas.
4. Cuando el concreto trabaja a flexión, las fibras también actúan a favor del aumento de la resistencia, ya que se tuvo un aumento respecto a una mezcla que no contenía ningún tipo de adición de fibra sintética, como en el caso de los ensayos a tensión indirecta, las mezclas que contengan mayor porcentaje de fibras tendrán mayor resistencia, todo esto bajo dosis recomendadas por las casas distribuidoras de este tipo de fibras para mezclas de concreto.

5. Las fibras sintéticas aportan a las mezclas de concreto mayor resistencia cuando trabaja a tensión indirecta y flexión, y la resistencia aumenta más cuando se adiciona más fibras, caso contrario a lo que sucede a compresión.
6. Según los ensayos de velocidad de endurecimiento, el concreto modificado con fibras sintéticas endurece a menos tiempo que una mezcla tradicional que no tiene ninguna adición.
7. Fue posible observar cuando se ensayaron los especímenes, las fallas del concreto no fueron explosivas, esto puede ser útil en los elementos estructurales, ya que en los diseños de dichos elementos lo que se busca es que no existan fallas explosivas en el concreto para salvaguardar a las personas al momento de que ocurran sismos.
8. Las fibras sintéticas aportan un control sobre la fisuración y el agrietamiento del concreto, esto es debido a que las fibras se encuentran distribuidas uniformemente en todas las direcciones, generando así un refuerzo secundario tridimensional, muy efectivo para el control de las grietas.



## RECOMENDACIONES

1. Se verificó que las fibras aportan un aumento significativo en la resistencia a la compresión del concreto, pero este no fue muy elevado, por lo tanto se cree conveniente no usar fibras en elementos estructurales sometidos a compresión, ya que de esta manera disminuirá el costo de la mezcla.
2. Las fibras sintéticas tienen un mejor rendimiento cuando trabajan en elementos estructurales sometidos a tensión y flexión, ya que brindan un aumento de resistencia, por lo tanto es recomendable su uso en mezclas de concreto.
3. Realizar como un nuevo proyecto de investigación, pruebas con otros porcentajes de fibras que sean mayores a las ya realizadas, ya que en este caso se usa la dosificación mínima, esto con el propósito de determinar si se obtienen mejores características mecánicas de las mezclas de concreto, tomando en cuenta dosificaciones máximas recomendadas, y también para que no exista un aumento muy grande en los costos de fabricación.
4. Existen otro tipo de ensayos que se pueden realizar al concreto endurecido, como lo son pruebas de impacto, abrasión, fatiga, tenacidad entre otros con los cuales se determinara si las fibras brindan algún otro beneficio más a las mezclas de concreto, dichas pruebas quedan fuera del alcance de la presente investigación.



## BIBLIOGRAFÍA

1. AVELLÁN CRUZ, Martha Dina. *Asfaltos modificados con polímeros*. Trabajo de graduación de Ing. Civil. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 2007. 125 p.
2. BORRAYO DEL VALLE, Byron René. *Revestimiento en muros de mampostería utilizando fibras*. Trabajo de graduación de Ing. Civil. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 2004. 89 p.
3. BRAVO CELIS, José Patricio. *Comportamiento mecánico del hormigón reforzado con fibra de vidrio: influencia del porcentaje de fibra adicionado*. Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Departamento de Ingeniería de los Materiales, Chile: 2008. 82 p.
4. Comisión Guatemalteca de Normas. Norma Técnica Guatemalteca NTG-41007 Especificación estándar de agregados para concreto. Guatemala: Coguanor, 2010.
5. \_\_\_\_\_. Norma Técnica Guatemalteca. NTG-41017h1 método de prueba estándar para la resistencia a la compresión de especímenes cilíndricos de concreto. Guatemala: Coguanor, 2010.
6. \_\_\_\_\_. Norma Técnica Guatemalteca. NTG-41017h2 método de prueba estándar para la resistencia a la flexión del concreto

utilizando una viga simplemente soportada con cargas en los tercios de la luz. Guatemala: Coguanor, 2010.

7. \_\_\_\_\_. Norma Técnica Guatemalteca. NTG-41017h5 método de prueba estándar para determinar el peso unitario del concreto. Guatemala: Coguanor, 2010.
8. \_\_\_\_\_. Norma Técnica Guatemalteca. NTG-41017h7 método de prueba estándar para el contenido de aire del concreto recién mezclado por el método de presión. Guatemala: Coguanor, 2010.
9. \_\_\_\_\_. Norma Técnica Guatemalteca. NTG-41017h12 método de prueba estándar para el tiempo de fraguado de mezclas de concreto por resistencia a la penetración. Guatemala: Coguanor, 2010.
10. \_\_\_\_\_. Norma Técnica Guatemalteca. NTG-41017h15 método de prueba estándar para la resistencia a tracción indirecta de especímenes cilíndricos de concreto. Guatemala: Coguanor, 2010.
11. \_\_\_\_\_. Norma Técnica Guatemalteca. NTG-41052 método de prueba estándar para el asentamiento del concreto. Guatemala: Coguanor, 2010.
12. \_\_\_\_\_. Norma Técnica Guatemalteca. NTG-41053 método de prueba estándar para la medición de la temperatura del concreto hidráulico recién mezclado. Guatemala: Coguanor, 2010.

13. \_\_\_\_\_. Norma Técnica Guatemalteca. NTG-41060 practica estándar para preparación y curado de especímenes de ensayo de concreto en laboratorio. Guatemala: Coguanor, 2010.
14. HERNÁNDEZ HERNÁNDEZ, Billy Josealberto. *Estudio comparativo de la resistencia a la compresión en mezclas de concreto elaboradas con material de reciclaje: plástico y llanta*. Trabajo de graduación de Ing. Civil. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 2011. 87 p.
15. KOSMATKA, Steven H.; KERKHOFF, Beatrix; PANARESE, William C.; TANESI, Jussara. *Diseño y Control de Mezclas de Concreto*. Portland Cement Association. Skokie, Illinois: 2004. 452 p.
16. MEHTA, P. Kumar; MONTERIO, Paulo. *Concreto: Estructura, propiedades y materiales*. Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto. México D.F.: 1998. 381 p.
17. Revista el concreto en la obra, problemas, causas y soluciones. *Concreto reforzado con fibras*. Instituto mexicano del cemento y el concreto. México: 2007. 6 p.
18. VINCENT VELA, María Cinta; ALVAREZ BLANCO, Silvia; ZARAGOZA CARBONELL, José Luis. *Ciencia y tecnología de polímeros*. Universidad Politécnica de Valencia. Valencia: 2005. 125 p.

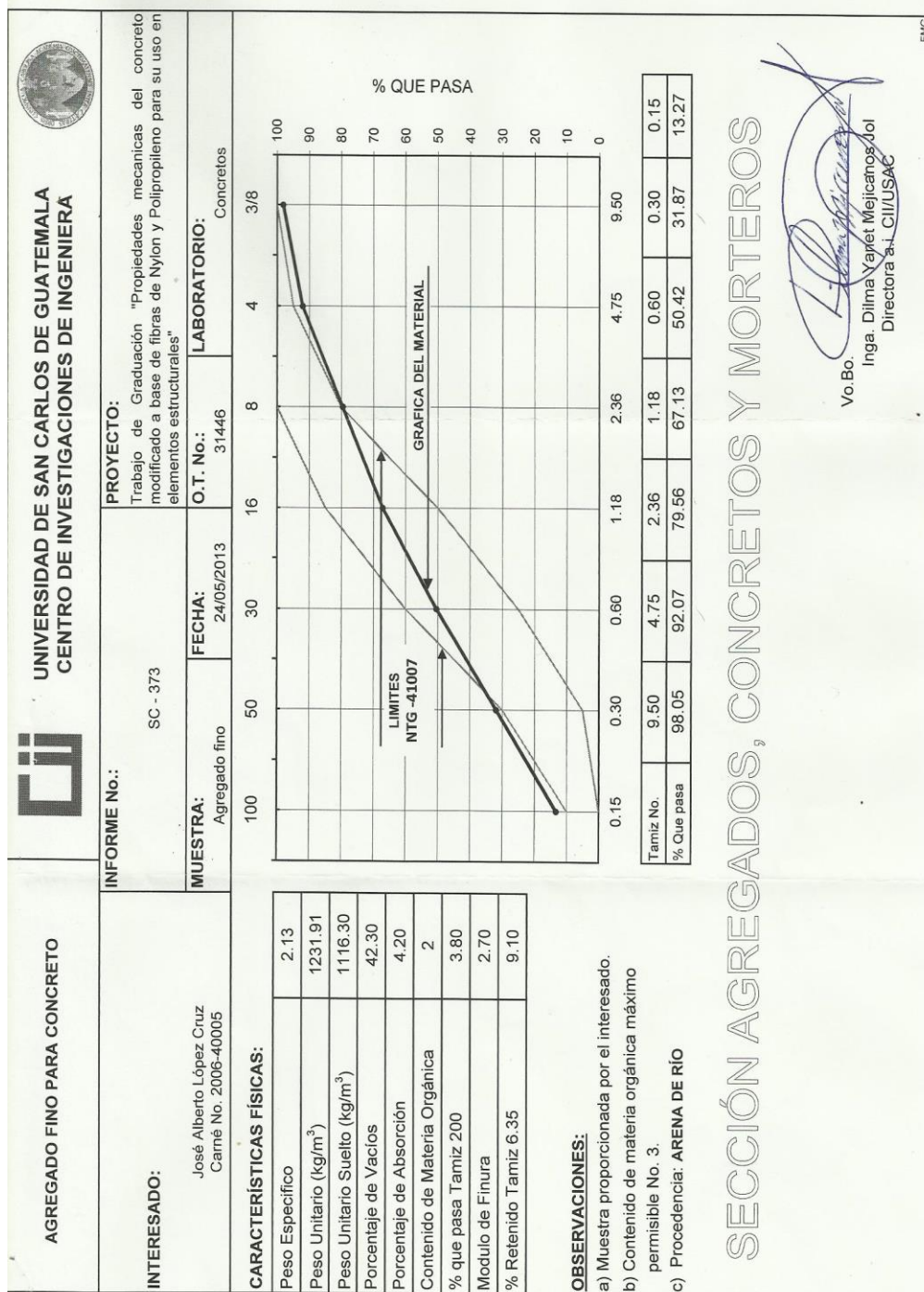


## **ANEXOS**



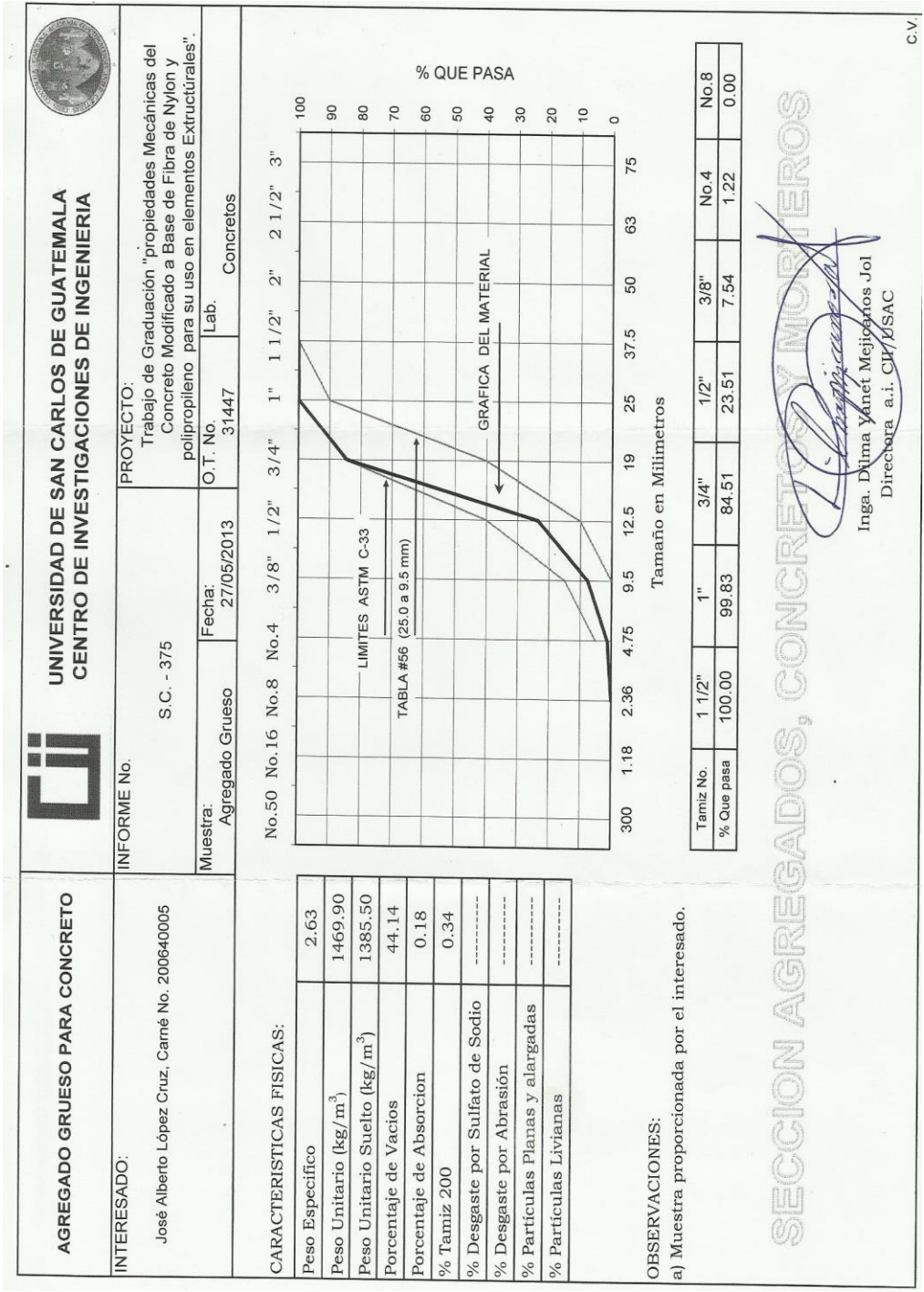


Figura 32. Análisis completo de agregado fino



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

Figura 33. Análisis completo de agregado grueso




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

Figura 34. Diseño teórico para mezcla patron



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



---

**DISEÑO TEÓRICO DE MEZCLA DE CONCRETO**  
INFORME No. S.C. 376

**O.T. No. 31448**

---

INTERESADO: José Alberto López Cruz, Carné 20064005  
 PROYECTO: Trabajo de graduación: PROPIEDADES MECÁNICAS DEL CONCRETO MODIFICADO A BASE DE FIBRAS DE NYLON Y POLIPROPILENO PARA SU USO EN ELEMENTOS ESTRUCTURALES  
 DIRECCION: 22 calle B 14-75, zona 11. Granai 3  
 FECHA: 27 de mayo de 2013

---

1. GENERALIDADES
  - 1.1 El interesado proporcione el material y solicite a este Centro de Investigaciones, el análisis completo para agregados fino y agregado grueso, para realizar un diseño teórico de mezcla para concreto de 3 000 psi (210 kg/cm<sup>2</sup>), con Cemento UGC.
2. CARACTERÍSTICAS DE LOS AGREGADOS
  - 2.1 Análisis granulométrico de agregado fino. INFORME No. S.C. -373
  - 2.2 Análisis granulométrico de agregado grueso. INFORME No. S.C. -375
3. DISEÑO DE MEZCLA
  - 3.1 Resistencia Nominal 210 kg/cm<sup>2</sup>
  - 3.2 Resistencia Promedio Requerida 246 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:

MATERIALES	CONCRETO NORMAL $f'_c = 246 \text{ kg/cm}^2$			
	PROPORCIÓN EN PESO	EN	PROPORCIÓN EN VOLUMEN (LITROS)	EN VOLUMEN (kg/m <sup>3</sup> )
CEMENTO	1		1 SACO	351,00
ARENA	2,32		88,30	813,60
PIEDRIN / GRAVA	2,95		94,50	1035,40
AGUA LIBRE	0,57		24,22	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.
  - 4.5 Considerar el número de contaminación de materia orgánica en el agregado fino, aplicando algún proceso para su estabilización.

Atentamente,




Inga. Digna Yanet Mejicanos Jol  
Directora a.i. 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: Laboratorios de agregados, concretos y morteros CII/USAC.

Figura 35. Diseño teórico para mezcla con fibra de polipropileno



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



---

**DISEÑO TEÓRICO DE MEZCLA DE CONCRETO**  
INFORME No. S.C. 377

**O.T. No. 31448**

---

INTERESADO: José Alberto López Cruz, Carné 20064005  
 PROYECTO: Trabajo de graduación: PROPIEDADES MECÁNICAS DEL CONCRETO MODIFICADO A BASE DE FIBRAS DE NYLON Y POLIPROPILENO PARA SU USO EN ELEMENTOS ESTRUCTURALES  
 DIRECCION: 22 calle B 14-75, zona 11 Granaj 3  
 FECHA: 27 de mayo de 2013

---

**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 para concreto de 3 000 psi (210 kg/cm<sup>2</sup>), con Cemento UGC y fibra de polipropileno, según ficha técnica colocar 600 gramos por metro cúbico de fundición.

**2. CARACTERISTICAS DE LOS AGREGADOS**

2.1 Análisis granulométrico de agregado fino. INFORME No. S.C. -373  
 2.2 Análisis granulométrico de agregado grueso. INFORME No. S.C. -375

**3. DISEÑO DE MEZCLA**

3.1 Resistencia Nominal 210 kg/cm<sup>2</sup>  
 3.2 Resistencia Promedio Requerida 246 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 $f'_c = 246 \text{ kg/cm}^2$					
MATERIALES	PROPORCIÓN EN PESO	PROPORCIÓN EN VOLUMEN (LITROS)	EN	PROPORCIÓN EN VOLUMEN (kg/m <sup>3</sup> )	EN
CEMENTO	1	1 SACO		351,00	
ARENA	2,32	88,30		813,60	
PIEDRIN / GRAVA	2,95	94,50		1035,40	
AGUA LIBRE	0,57	24,22		200,00	

3.6 Adición de fibra de polipropileno: 100 % (600 gramos)  
 60 % ( 360 gramos)


**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.  
 4.5 Considerar el número de contaminación de materia orgánica en el agregado fino, aplicando algún proceso para su estabilización.

Asentamiento,



Inga. Dilma Yaret Mejicanos  
Directora a.i. CII/USAC




---


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

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

Figura 36. Diseño teórico para mezcla con fibra de *nylon*



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



---

**DISEÑO TEÓRICO DE MEZCLA DE CONCRETO**  
INFORME No. S.C. 378

**O.T. No. 31448**

---

**INTERESADO:** José Alberto López Cruz, Carné 20064005  
**PROYECTO:** Trabajo de graduación: PROPIEDADES MECÁNICAS DEL CONCRETO MODIFICADO A BASE DE FIBRAS DE NYLON Y POLIPROPILENO PARA SU USO EN ELEMENTOS ESTRUCTURALES  
**DIRECCION:** 22 calle B 14-75, zona 11 Granai 3  
**FECHA:** 27 de mayo de 2013


---

- 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 para concreto de 3 000 psi (210 kg/cm<sup>2</sup>), con Cemento UGC y fibra de polipropileno, según ficha técnica colocar 600 gramos por metro cúbico de fundición.
- 2. CARACTERISTICAS DE LOS AGREGADOS**
  - 2.1 Análisis granulométrico de agregado fino. INFORME No. S.C. -373
  - 2.2 Análisis granulométrico de agregado grueso. INFORME No. S.C. -375
- 3. DISEÑO DE MEZCLA**
  - 3.1 Resistencia Nominal 210 kg/cm<sup>2</sup>
  - 3.2 Resistencia Promedio Requerida 246 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 $f'_c = 246 \text{ kg/cm}^2$					
MATERIALES	PROPORCIÓN EN PESO	EN	PROPORCIÓN EN VOLUMEN (LITROS)	EN	PROPORCIÓN EN VOLUMEN (kg/m <sup>3</sup> )
CEMENTO	1		1 SACO		351,00
ARENA	2,32		88,30		813,60
PIEDRIN / GRAVA	2,95		94,50		1035,40
AGUA LIBRE	0,57		24,22		200,00

  - 1.6 Adición de fibra de Nylon (residuo plástico) : 100 % (600 gramos)  
60 % (360 gramos)
- 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.
  - 4.5 Considerar el número de contaminación de materia orgánica en el agregado fino, aplicando algún proceso para su estabilización.

Atentamente,



Inga. Dilma Yañet Mejicanos Jol  
Directora a.i. CII/USAC

---

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

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

Figura 37. **Resultados de ensayos a compresión de cilindros de mezcla patrón**



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

Figura 38. Resultados de ensayos a compresión de cilindros de mezcla con 100% de fibra de polipropileno



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



---

**RESISTENCIA DE CILINDROS DE CONCRETO  
NORMA NTG 41017h1 (ASTM C-39)**  
 INFORME No. S.C. - 542 O.T. No. **31149**  
 HOJA 1/1

**INTERESADO:** José Alberto López Cruz, Carné No. 200640005  
**PROYECTO:** Trabajo de graduación "Propiedades mecánicas del concreto modificado a base de fibras y nylon y polipropileno para su uso en elementos estructurales"  
**DIRECCIÓN:** 22 calle B 14-75, zona 11, Granai 3  
**FECHA:** 31 de julio de 2013

No. CILINDRO OBRA	No. CILINDRO LABORATORIO	FECHA DE FUNDICIÓN	FECHA DE RUPTURA	EDAD en días	CILINDRO REPRESENTATIVO DE LA FUNDICIÓN	PESO en kg	DIAMETRO en cm	ALTURA en cm	CARGA en libras	RESISTENCIA Mpa	RESISTENCIA lb/in <sup>2</sup>	TIPO DE FRACTURA
3	88-7	31/05/2013	03/06/2013	3	Mezcla 100 % de polipropileno	11,890	15,150	30,270	33 416	8,20	1190	E
4	89-7	31/05/2013	07/06/2013	7	Mezcla 100 % de polipropileno	11,890	15,160	30,190	48 292	11,90	1730	B
6	90-7	31/05/2013	28/06/2013	28	Mezcla 100 % de polipropileno	12,110	15,093	30,480	78 512	19,50	2830	B

**OBSERVACIONES :**  
 a) Diseño de mezcla realizado bajo condiciones de laboratorio.  
 b) Muestras ensayadas en máquina de compresión RIEHLE Testing Machine División con capacidad de 300,000 libras.  
 c) Dial utilizado para lectura de cargas: 300,000 libras.  
 d) Cilindros cabeceados según norma ASTM C-1231.  
 e) Asentamiento de mezcla: 9,5 cm.  
 f) Peso unitario: 2170 Kg/m<sup>3</sup>.  
 g) Contenido de aire: 3,5 %  
 h) Temperatura: 21,6 °C.  
 i) Proporción utilizada: **1 : 2,31 : 2,94 : 0,57.**

**BOSQUEJO DE TIPOS DE FRACTURA**



A. CONO    B. CONO Y CLIVAJE    C. CONO Y RUPTURA    D. CORTE    E. COLUMNAR

ATENTAMENTE,



Inga. Dilma Yanet Mejicanos Jol  
 Jefa Sección Agregados, Concretos y Morteros  
 SECCIÓN DE AGREGADOS, CONCRETOS Y MORTEROS  
 CII / USAC



Vo.Bo.  
 Inga. Telma Maricela Cano Morales  
 Directora CII/USAC

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

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

Figura 39. **Resultados de ensayos a compresión de cilindros de mezcla con 60% de fibra de polipropileno**



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



Figura 40. Resultados de ensayos a compresión de cilindros de mezcla con 100% de fibra de nylon



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



---

**RESISTENCIA DE CILINDROS DE CONCRETO  
NORMA NTG 41017h1 (ASTM C-39)  
INFORME No. S.C. - 544**

O.T. No. **31149**

HOJA 1/1

**INTERESADO:** José Alberto López Cruz, Carné No. 200640005  
**PROYECTO:** Trabajo de graduación "Propiedades mecánicas del concreto modificado a base de fibras y nylon y polipropileno para su uso en elementos estructurales"  
**DIRECCIÓN:** 22 calle B 14-75, zona 11, Granai 3  
**FECHA:** 31 de julio de 2013

Nº. CILINDRO OBRA	Nº. CILINDRO LABORATORIO	FECHA DE FUNDICIÓN	FECHA DE RUPTURA	EDAD en días	CILINDRO REPRESENTATIVO DE LA FUNDICIÓN	PESO en kg	DIAMETRO en cm	ALTURA en cm	CARGA en libras	RESISTENCIA Mpa	RESISTENCIA lb/pulg <sup>2</sup>	TIPO DE FRACTURA
3	94-7	07/06/2013	10/06/2013	3	Mezcla 100 % nylon	11,870	15,160	30,460	30 440	7,50	1090	E
4	95-7	07/06/2013	14/06/2013	7	Mezcla 100 % nylon	12,120	15,160	30,340	51 268	12,60	1830	E
6	96-7	07/06/2013	05/07/2013	28	Mezcla 100 % nylon	12,050	15,130	30,320	79 479	19,70	2860	B

**OBSERVACIONES :**

- Diseño de mezcla realizado bajo condiciones de laboratorio.
- Muestras ensayadas en máquina de compresión RIEHLE Testing Machine División con capacidad de 300,000 libras.
- Dial utilizado para lectura de cargas: 300,000 libras.
- Cilindros cabeceados según norma ASTM C-1231.
- Asentamiento de mezcla: 7,5 cm.
- Peso unitario: 2214,28 Kg/m<sup>3</sup>.
- Contenido de aire: 1,2
- Temperatura: 23,89 °C.
- Proporción utilizada: 1 : 2,31 : 2,94 : 0,55.

**BOSQUEJO DE TIPOS DE FRACTURA**



A. CONO



B. CONO Y CLIVAJE



C. CONO Y RUPTURA



D. CORTE



E. COLUMNAR

ATENTAMENTE,



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



Vo.Bo.



Inga. Telma Maricela Cano Morales  
Directora CII/USAC



ER

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

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

Figura 41. **Resultados de ensayos a compresión de cilindros de mezcla con 60% de fibra de nylon**



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

Figura 42. Caracterización de fibras de polipropileno y nylon



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



---

**ENSAYO DE CARACTERIZACIÓN DE FIBRA**  
 INFORME No. S.C. - 462  
 HOJA 1/1

O.T. No. **31450**

**INTERESADO:** José Alberto López Cruz, Carné No. 200640005  
**PROYECTO:** Trabajo de Graduación "Propiedades mecánicas del concreto modificado a base de fibras de Nylon y Polipropileno para su uso en elementos estructurales"  
**DIRECCIÓN:** 22 Calle "B" 14-75, zona 11 Granai 3  
**FECHA:** 27 de junio de 2013

---

**RESULTADOS:**

FIBRA DE NYLON	
ENSAYO	RESULTADO
Forma	Fibra Plana
Longitud (mm)	12,66
Densidad (g/cm <sup>3</sup> ) [kg/m <sup>3</sup> ]	0,7282 [728,16]
Gravedad Especifica	0,7282
Masa Unitaria Suelta (kg/m <sup>3</sup> )	38,48
Masa Unitaria Compactada (kg/m <sup>3</sup> )	58,69

FIBRA DE POLIPROPILENO	
ENSAYO	RESULTADO
Forma	Fibra Circular
Longitud (mm)	12,56
Densidad (g/cm <sup>3</sup> ) [kg/m <sup>3</sup> ]	0,9756 [975,61]
Gravedad Especifica	0,9756
Masa Unitaria Suelta (kg/m <sup>3</sup> )	69,74
Masa Unitaria Compactada (kg/m <sup>3</sup> )	91,92

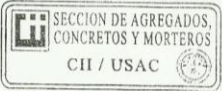
**OBSERVACIONES:**

a) Muestras proporcionadas por el interesado.

ATENTAMENTE,



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



Vo.Bo.



Inga. Telma Maricela Cano Morales  
Directora CII/USAC



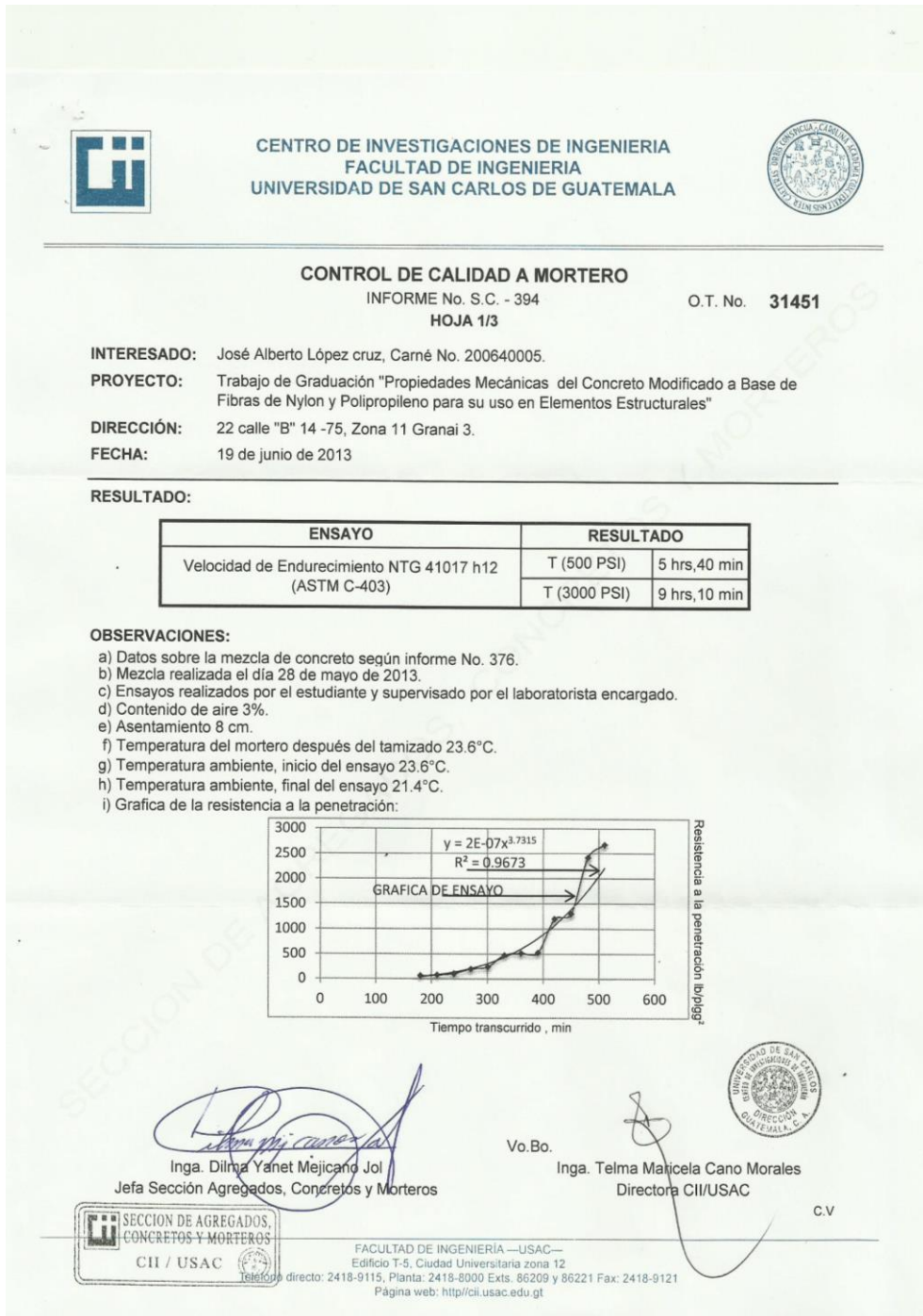
EMG

---

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

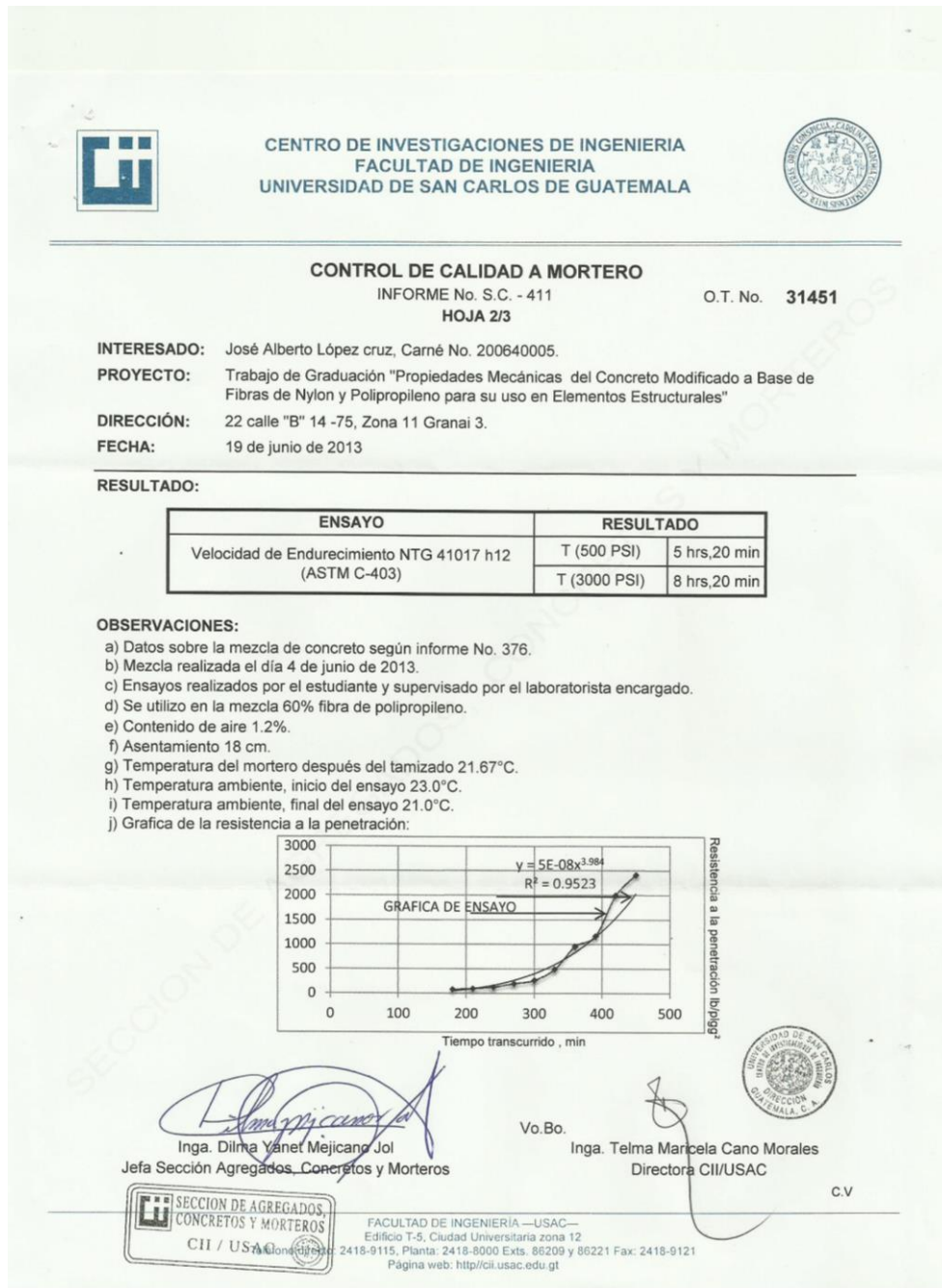
Fuente: Laboratorios de agregados, concretos y morteros CII/USAC.

Figura 43. Resultado de velocidad de endurecimiento de mezcla patron



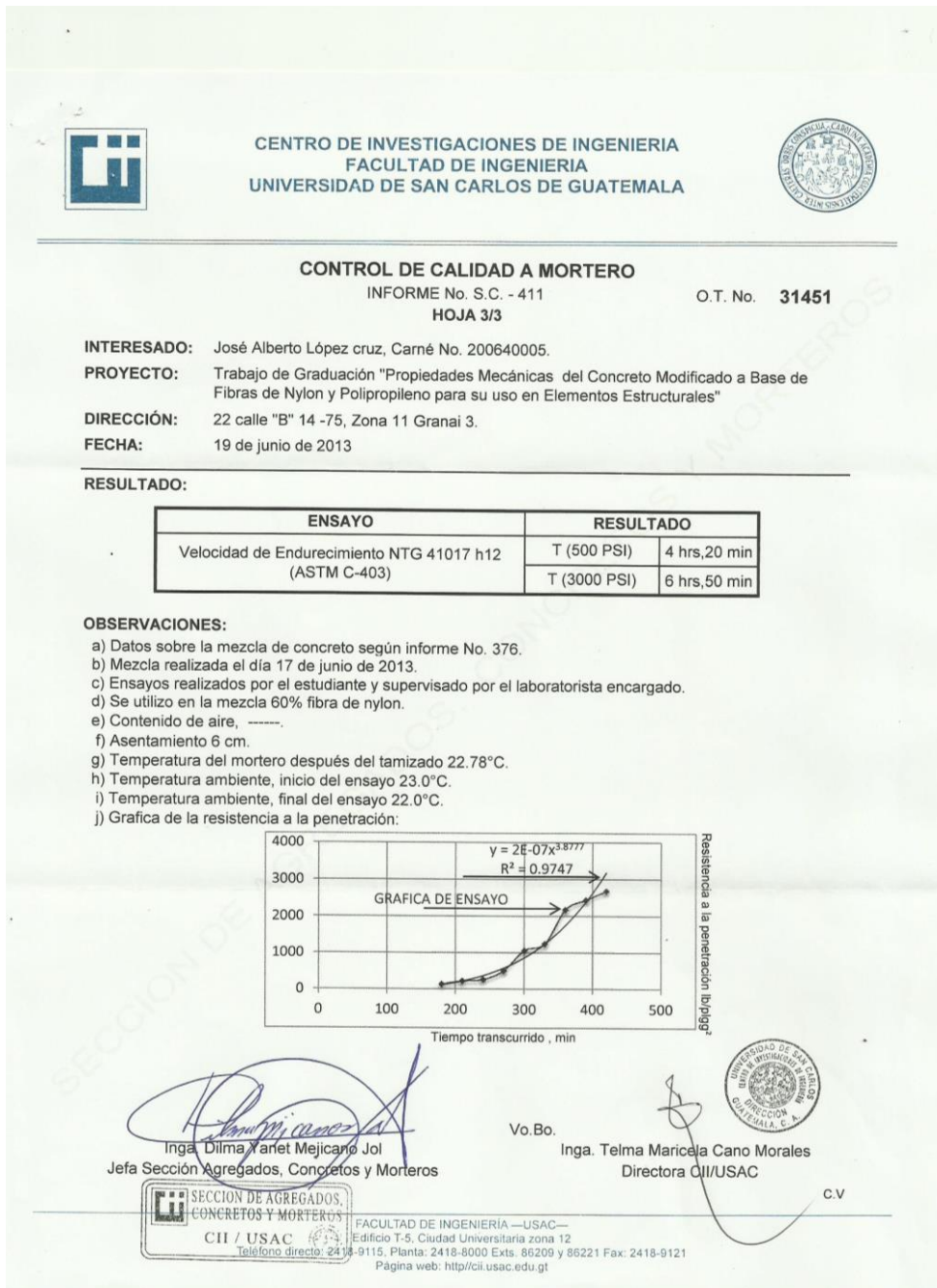
Fuente: Laboratorios de agregados, concretos y morteros CII/USAC.

Figura 44. Resultados de velocidad de endurecimiento de mezcla con 60% de fibra de polipropileno



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

Figura 45. **Resultados de velocidad de endurecimiento de mezcla con 60% de fibra de nylon**



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

Figura 46. Resultados de ensayo a flexión en vigas



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



---

**ENSAYO A FLEXIÓN DE VIGAS DE CONCRETO**  
**NORMA ASTM C-78**  
 INFORME No. S.C. - 551  
 HOJA 1/1

O.T. No. **31452**

**INTERESADO:** Jose Alberto Lopez Cruz, Carné: 200640005  
**PROYECTO:** Trabajo de graduacion "Propiedades mecanicas del concreto modificado a base de fibras de nylon y polipropileno para su uso en elementos estructurales"  
**DIRECCIÓN:** 22 Calle "B" 14-75, zona 11 Granai 3.  
**FECHA:** 6 de agosto de 2013

---

**RESULTADOS:**

MUESTRA	FECHA DE HECHURA	FECHA DE RUPTURA	EDAD (días)	ANCHO (cm)	ALTO (cm)	LARGO (cm)	LUZ ENTRE APOYOS (cm)	CARGA RUPTURA (kg)	ESFUERZO A FLEXIÓN (kg/cm <sup>2</sup> )	ESFUERZO A FLEXIÓN (PSI)
Patron	28/05/2013	25/06/2013	28	15,00	15,00	53,35	45,50	2719,45	36,66	521,45
Nylon 60%	17/06/2013	15/07/2013	28	15,00	15,00	53,35	45,50	2819,45	38,01	540,63
Polipropileno 60%	04/06/2013	02/07/2013	28	15,20	15,10	53,35	45,50	2869,45	37,67	535,81

**OBSERVACIONES:**


a) Para las tres vigas la falla ocurrió en el tercio medio de la viga sin sobrepasar en más de 5%.

ATENTAMENTE,



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

Vo.Bo.



Inga. Telma Maricela Cano Morales  
Directora CII/USAC

SECCION DE AGREGADOS,  
CONCRETOS Y MORTEROS  
CII / USAC

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

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


Figura 47. Ficha técnica de fibra de polipropileno

## FibroMac® 12

**Fibras para Refuerzo del Concreto**

**Características técnicas**

FibroMac® 12 es una fibra de polipropileno producida a partir de multifilamentos, indicada para el refuerzo de concretos y morteros con la finalidad de generar un compuesto homogéneo y controlar la fisuración por retracción.



Propiedades Físicas		
Diámetro	µm	18
Sección		Circular
Largo	mm	12
Alargamiento	%	80
Matéria-prima		polipropileno
Peso Específico	g/cm <sup>3</sup>	0.91


Propiedades Mecánicas		
Temperatura de fusión	°C	160
Resistencia a la tracción	MPa (N/mm <sup>2</sup> )	300
Módulo de Yang	MPa	3 000

Aplicación	
Campos de aplicación indicados	concreto proyectado, prefabricados, pavimentos, pisos, revestimientos.
Cantidad de fibras por kilo	300 000 000
Área superficial específica	m <sup>2</sup> / kg
Dosaje (recomendación mínima)	g / m <sup>3</sup>
	600

Presentación	
Las fibras sintéticas FibroMac® 6 son acondicionadas en sacos hidrosolubles de 600g.	



Maccaferri se reserva el derecho de revisar estas especificaciones en cualquier momento, de acuerdo con las características de los productos fabricados.

[www.maccaferri.com.br](http://www.maccaferri.com.br)

Sistema de Gestión de Calidad  
Certificado de conformidad con la  
Norma ISO 9001  
Ago. 2008

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