



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

**UTILIZACIÓN DE FIBRA SINTÉTICA PARA LA REDUCCIÓN DE FISURAS
POR CONTRACCIÓN TÉRMICA EN LOSAS DE CONCRETO REFORZADO**

Jafid Abinady Pineda Rodriguez

Asesorado por el Ing. Haroldo Iván Argueta Cabrera

Guatemala, junio de 2015

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**UTILIZACIÓN DE FIBRA SINTÉTICA PARA LA REDUCCIÓN DE FISURAS
POR CONTRACCIÓN TÉRMICA EN LOSAS DE CONCRETO REFORZADO**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA

POR

JAFID ABINADY PINEDA RODRIGUEZ

ASESORADO POR EL ING. HAROLDO IVÁN ARGUETA CABRERA

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO CIVIL

GUATEMALA, JUNIO DE 2015

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Angel Roberto Sic García
VOCAL I	
VOCAL II	Ing. Pablo Christian de León Rodríguez
VOCAL III	Inga. Elvia Miriam Ruballos Samayoa
VOCAL IV	Br. Narda Lucía Pacay Barrientos
VOCAL V	Br. Walter Rafael Véliz Muñoz
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Murphy Olympto Paiz Recinos
EXAMINADOR	Ing. Rafael Enrique Morales Ochoa
EXAMINADOR	Ing. Mario Estuardo Arriola Ávila
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:

UTILIZACIÓN DE FIBRA SINTÉTICA PARA LA REDUCCIÓN DE FISURAS POR CONTRACCIÓN TÉRMICA EN LOSAS DE CONCRETO REFORZADO

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Civil,
con fecha 1 de abril de 2014.



Jafid Abinady Pineda Rodriguez

Guatemala, 6 de febrero de 2015

Ingeniero
Guillermo Francisco Melini Salguero
Coordinador del Área de Materiales y Construcciones Civiles
Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Guatemala

Respetado Ingeniero:

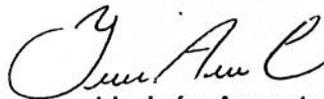
Me dirijo a usted para informarle que he revisado el trabajo de graduación titulado **"UTILIZACIÓN DE FIBRA SINTÉTICA PARA LA REDUCCIÓN DE FISURAS POR CONTRACCIÓN TÉRMICA EN LOSAS DE CONCRETO REFORZADO"**. Elaborado por el estudiante universitario Jafid Abinady Pineda Rodriguez de la carrera de Ingeniería Civil, con carné No. 2009-24638, quien contó con mi asesoría.

Considero que el trabajo desarrollado por el estudiante **Pineda Rodriguez**, satisface los requerimientos exigidos, por lo cual recomiendo su aprobación.

Agradezco a usted la atención de la presente.

Atentamente

**HAROLDO IVÁN ARQUETA CABRERA
INGENIERO CIVIL
COLEGIADO No. 4649**



Ingeniero Haroldo Iván Argueta Cabrera
Colegiado activo No. 4649
Asesor de Trabajo de Graduación



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,
11 de febrero de 2015

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 UTILIZACIÓN DE FIBRA SINTÉTICA PARA LA REDUCCIÓN DE FISURAS POR CONTRACCIÓN TÉRMICA EN LOSAS DE CONCRETO REFORZADO, desarrollado por el estudiante de Ingeniería Civil Jafid Abinady Pineda Rodriguez, quien contó con la asesoría del Ing. Haroldo Iván Argueta Cabrera.

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

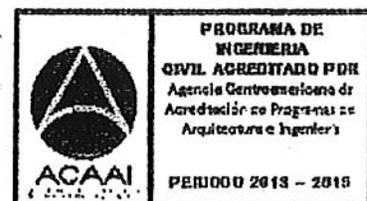
Ing. Civil Guillermo Francisco Melini Salguero
Coordinador del Área de Materiales y
Construcciones Civiles



FACULTAD DE INGENIERÍA
ÁREA 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 del Asesor Ing. Haroldo Iván Argueta Cabrera y del Coordinador del Área de Materiales y Construcciones Civiles, Ing. Guillermo Francisco Melini Salguero, al trabajo de graduación del estudiante Jafid Abinady Pineda Rodríguez, titulado UTILIZACIÓN DE FIBRA SINTÉTICA PARA LA REDUCCIÓN DE FISURAS POR CONTRACCIÓN TÉRMICA EN LOSAS DE CONCRETO REFORZADO, da por este medio su aprobación a dicho trabajo.

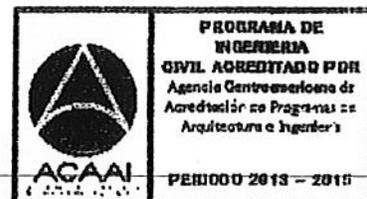
Hugo Leonel Montenegro Franco
 Ing. Hugo Leonel Montenegro Franco



Guatemala, junio 2015

/bbdeb.

Mas de 134 años de Trabajo Académico y Mejora Continua





DTG. 300.2015

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: **UTILIZACIÓN DE FIBRA SINTÉTICA PARA LA REDUCCIÓN DE FISURAS POR CONTRACCIÓN TÉRMICA EN LOSAS DE CONCRETO REFORZADO**, presentado por el estudiante universitario: **Jafid Abinady Pineda Rodríguez**, y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:

Ing. Angel Roberto Sic García
Decano

Guatemala, 30 de junio de 2015

/gdech



ACTO QUE DEDICO A:

Dios	Gracias a Él he podido llegar hasta este punto tan importante en mi vida.
Mis padres	Rudy Arístides Pineda Mérida y Alma Lucrecia Rodríguez de Pineda, porque sin su eterno apoyo no habría progresado en mi vida.
Mi hermano	Kenneth Pineda, por ser siempre un amigo fiel a quien debo toda mi admiración.
Mi esposa	Sohari González, por apoyarme en los momentos decisivos de mi vida profesional.
Mi familia	Por estar siempre pendientes de mi progreso y celebrar cada paso conmigo.
Ing. Iván Argueta	Por el apoyo manifestado en la realización del trabajo de graduación.
SAHE Guatemala	Por el apoyo brindado en la elaboración del trabajo de graduación.
Ingeniero Melinton Cabrera	Por ser un verdadero amigo.

Mis compañeros

Por la amistad dedicada en los años de estudios universitarios.

AGRADECIMIENTOS A:

Dios	Por darme la bendición de progresar académicamente.
Facultad de Ingeniería	Por brindarme la formación académica que me acompañará siempre.
Ing. Iván Argueta	Por su asesoría y colaboración en la realización de este proyecto.
SAHE Guatemala	Por su asistencia y patrocinio en la elaboración de este proyecto.
Centro de Investigaciones de Ingeniería	Por el apoyo brindado en la realización de este proyecto.
Mi familia	Por siempre esperar lo mejor de mí, y apoyarme en todo momento.
Sohari González	Por acompañarme en este tiempo tan importante en mi vida.
Ing. Melinton Cabrera	Por ser el amigo que necesité todos estos años.

**Luis Nájera y Edson
Espinoza**

Por la ayuda prestada en el diseño experimental
de este proyecto de graduación.

Mis compañeros

Por su amistad y ayuda.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	IX
LISTA DE SÍMBOLOS	XI
GLOSARIO	XIII
RESUMEN	XVII
OBJETIVOS.....	XIX
INTRODUCCIÓN	XXI
1. PROBLEMÁTICA EN LAS ESTRUCTURAS DE CONCRETO EN GUATEMALA	1
1.1. Reseña histórica de los problemas ocasionados en las estructuras de Guatemala por fisuras en el concreto	1
1.1.1. Estructuras que son afectadas por la formación de fisuras en el concreto.....	1
1.1.2. Causas que han ocasionado problemas de fisuración prematura en las estructuras de concreto en Guatemala	2
1.2. Problemas que se han tenido en las estructuras de concreto debido a la fisuración prematura	3
1.3. Técnicas usadas en Guatemala para el control y reparación de fisuras en el concreto.....	3
2. GENERALIDADES DE LAS FISURAS EN EL CONCRETO ARMADO ...	5
2.1. Fisuras en el concreto armado	5
2.1.1. Concepto de fisura y grieta	5
2.1.2. Medidas de fisuras permitidas	5

2.1.3.	Consecuencias de las fisuras en el concreto reforzado	6
2.2.	Causas de fisuración en el concreto armado	6
2.2.1.	Fisuración del concreto en estado plástico.....	6
2.2.1.1.	Fisuras por retracción plástica.....	7
2.2.1.2.	Fisuras por precipitación de los agregados	7
2.2.2.	Fisuras del concreto en estado endurecido.....	7
2.2.2.1.	Fisuras por retracción por secado	8
2.2.2.2.	Fisuras por tensiones de origen térmico.....	8
2.2.2.3.	Fisuras por corrosión en el armado de acero	8
2.2.2.4.	Fisuras por técnicas de construcción inadecuadas	9
2.2.2.5.	Fisuras por sobrecargas durante la construcción	9
2.2.2.6.	Fisuras por reacciones químicas.....	10
2.2.2.7.	Fisuras por meteorización	10
2.2.2.8.	Fisuras por errores de diseño.....	11
2.3.	Evaluación y control de las fisuras en el concreto armado.....	11
2.3.1.	Observación directa e indirecta	11
2.3.2.	Ensayos no destructivos.....	12
2.3.3.	Ensayos en testigos de concreto.....	12
2.3.4.	Revisión de datos y planos constructivos.....	12
2.4.	Métodos de reparación de la fisuración en el concreto	13
2.4.1.	Inyección de resinas epóxicas.....	13
2.4.2.	Perfilado y sellado	13
2.4.3.	Costura de fisuras	14

2.4.4.	Armadura adicional.....	14
2.4.5.	Perforación y obturación.....	14
2.4.6.	Llenado por gravedad.....	14
2.4.7.	Llenado con mortero.....	15
2.4.8.	Colocación de mortero como mezcla seca (<i>drypaching</i>).....	15
2.4.9.	Detención de fisuras.....	15
2.4.10.	Impregnación de polímero.....	15
2.4.11.	Sobrecapas y tratamientos superficiales.....	16
2.4.11.1.	Tratamientos superficiales.....	16
2.4.11.2.	Sobrecapas.....	16
2.4.12.	Autocurado.....	16
3.	FIBRA SINTÉTICA A UTILIZAR EN ENSAYOS.....	17
3.1.	Descripción de la fibra.....	17
3.2.	Tipos de aplicación.....	17
3.2.1.	Premoldeado.....	17
3.2.2.	Galerías y obras subterráneas.....	18
3.2.3.	Pisos industriales y para intemperie.....	18
3.2.4.	Construcción residencial.....	18
3.3.	Normas.....	18
3.3.1.	Normas ASTM.....	19
3.4.	Composición de la fibra sintética.....	19
3.5.	Propiedades de la fibra sintética.....	19
3.5.1.	Durabilidad.....	19
3.5.2.	Forma, longitud, diámetro equivalente.....	19
3.5.3.	Relación de aspecto.....	20
3.5.4.	Peso específico.....	20
3.5.5.	Resistencia a la tracción.....	20

3.5.6.	Resistencia a ácidos, bases y sales	20
3.5.7.	Resistencia al fuego	20
4.	CONCRETO REFORZADO CON FIBRA SINTÉTICA.....	21
4.1.	Propiedades generales de concreto reforzado con fibra sintética	21
4.1.1.	Trabajabilidad.....	21
4.1.2.	Resistencia a compresión	21
4.1.3.	Resistencia a tensión	22
4.1.4.	Resistencia a flexión	22
4.1.5.	Resistencia al impacto	22
4.1.6.	Ductilidad.....	23
4.1.7.	Índice de tenacidad	23
4.2.	Modalidad de añadido y mezcla de las fibras en el concreto ...	24
4.3.	Curado del concreto reforzado con fibra sintética	24
4.4.	Uso de software para dosificación de fibra sintética en el concreto	24
5.	DESCRIPCIÓN Y PROCEDIMIENTO DE ENSAYOS	27
5.1.	Diseño de mezcla.....	27
5.2.	Control de fisuras por cambios de temperatura	27
5.3.	Ensayo de asentamiento (<i>slump</i>) según Norma ASTM C-143	28
5.3.1.	Ensayo de asentamiento en mezcla de concreto sin fibra sintética.....	29
5.3.2.	Ensayo de asentamiento en mezcla de concreto con fibra sintética	30
5.4.	Ensayo de compresión según la Norma ASTM C-39.....	30

5.4.1.	Ensayo a compresión de concreto sin fibra sintética	30
5.4.2.	Ensayo a compresión de concreto con fibra sintética	31
5.5.	Ensayo de tensión indirecta según la Norma ASTM C-496.....	31
5.5.1.	Ensayo a tensión indirecta de concreto sin fibra sintética	32
5.5.2.	Ensayo a tensión indirecta de concreto con fibra sintética	32
5.6.	Ensayo a flexión según Norma ASTM C-78	33
5.6.1.	Ensayo a flexión de concreto sin fibra sintética	33
5.6.2.	Ensayo a flexión de concreto con fibra sintética	34
6.	DESARROLLO EXPERIMENTAL	37
6.1.	Diseño de mezcla	37
6.1.1.	Realización de mezcla de concreto sin fibra sintética	37
6.1.2.	Realización de mezcla de concreto con fibra sintética	37
6.2.	Elaboración de losas de 0,75 m * 1,55 m	38
6.2.1.	Realización de formaleta de madera para las 4 losas	38
6.2.2.	Fundición de losas de concreto	38
6.3.	Elaboración de probetas para ensayos	39
6.3.1.	Procedimiento de elaboración de probetas para ensayo a compresión de concreto	39
6.3.2.	Procedimiento de elaboración de probetas de ensayo a tensión indirecta	40

6.3.3.	Procedimiento de elaboración de probetas para ensayo a flexión del concreto	41
6.4.	Datos obtenidos	41
6.4.1.	Datos obtenidos de medición de fisuras de losas a 7 y 28 días	42
6.4.2.	Datos obtenidos del ensayo de asentamiento (<i>slump</i>)	43
6.4.3.	Datos obtenidos del ensayo a compresión.....	43
6.4.4.	Datos obtenidos del ensayo a tensión indirecta	44
6.4.5.	Datos obtenidos del ensayo a flexión.....	45
6.5.	Comparación de costos entre electromalla y fibra sintética RXF54	46
6.6.	Resumen de resultados	48
7.	ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	51
7.1.	Análisis de fisuración en losas	51
7.2.	Análisis de ensayo de asentamiento (<i>slump</i>) según Norma ACI 211	53
7.3.	Análisis de ensayo de resistencia a compresión, según la Norma ASTM C-39.....	55
7.4.	Análisis de ensayo de resistencia a tensión indirecta, según la Norma ASTM C-496.....	56
7.5.	Análisis de ensayo de resistencia a flexión, según Norma NTGO 41017 h2 (ASTM C-78).....	57
7.6.	Análisis y comparación de costos entre electromalla y fibra sintética	59
	CONCLUSIONES.....	61
	RECOMENDACIONES	63

BIBLIOGRAFÍA.....	65
APÉNDICES	69

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Fisurómetro o plantilla graduada a utilizar para medir las fisuras en el concreto	28
2.	Vista diagramática de un aparato apropiado para ensayo a flexión de concreto por el método de carga en los tercios de la luz.....	34
3.	Rendimiento del concreto con fibra sintética RXF54	35
4.	Rendimiento del concreto con ganchos metálicos.....	36

TABLAS

I.	Resistencia al impacto del concreto fibrorreforzado con RXF 54	22
II.	Tenacidad sobre placa	23
III.	Especificaciones de losas para control de fisuras por contracción térmica.....	27
IV.	Control de fisuras en losas de concreto reforzado a 7 días.....	42
V.	Control de fisuras en losas de concreto reforzado a 28 días.....	42
VI.	Datos de ensayo de asentamiento y temperatura	43
VII.	Nomenclatura y descripción de cilindros de ensayo a compresión	43
VIII.	Datos obtenidos de cilindros de ensayo a compresión.....	44
IX.	Nomenclatura y descripción de cilindros de ensayo a tensión indirecta	44
X.	Datos obtenidos de cilindros de ensayo a tensión indirecta	45

XI.	Nomenclatura y descripción de vigas para ensayo a flexión de concreto	45
XII.	Datos obtenidos de ensayo a flexión de vigas de concreto	46
XIII.	Cálculo de costos para malla electrosoldada de 2,35 m*6,00 m	47
XIV.	Cálculo de costos con fibra sintética RXF54.....	47
XV.	Resumen resultados ensayo a compresión de concreto	48
XVI.	Resumen de resultados de ensayo a tensión indirecta de concreto.....	48
XVII.	Resumen de resultados de ensayo a flexión de vigas de concreto.....	49
XVIII.	Comparación de la cantidad de fisuras en las losas de concreto con fibra y sin fibra.....	51
XIX.	Aumento de la cantidad de fisuras en las losas respecto de la edad del concreto	52
XX.	Revenimientos recomendados para varios tipos de construcción	54
XXI.	Porcentaje de resistencia a compresión obtenido en ensayos del concreto con respecto a f'_c (f'_c 210 kg/cm ²)	55
XXII.	Aumento de resistencia a compresión del concreto fibrorreforzado con respecto al concreto simple	55
XXIII.	Resistencia a tensión indirecta del concreto expresado en porcentaje de f'_c 210 kg/cm ²	56
XXIV.	Comparación de la resistencia a tensión indirecta del concreto simple y fibrorreforzado.....	57
XXV.	Resistencia a flexión del concreto expresada en porcentaje de f'_c 210 kg/cm ²	58
XXVI.	Aumento de la resistencia a flexión del concreto fibrorreforzado con respecto al concreto simple	58

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
h	Altura
P	Carga
cm	Centímetro
dm	Decímetro
δ	Deformación
Φ	Diámetro
lb/plg²	Esfuerzo de concreto Sistema Inglés
Kg/cm²	Esfuerzo de concreto en Sistema Internacional
J	Joule
KN	Kilo newton
Kg	Kilogramo
lb	Libra
±	Más, menos
MPa	Mega pascal
m	Metro
m²	Metro cuadrado
m³	Metro cúbico
mm	Milímetro
min	Minuto
N	Newton
Kg/m³	Peso específico
%	Porcentaje
plg	Pulgada

f'_c

Resistencia a compresión del concreto

1"

Una pulgada

GLOSARIO

Abrasión	Erosión o desgaste superficial de algunos materiales, causado por agentes externos.
ACI	American Concrete Institute.
Aglomerantes	Materiales que en estado pastoso tienen la propiedad de poderse moldear, adherirse fácilmente a otros materiales, de unirlos entre sí, protegerlos, endurecerse y alcanzar resistencias mecánicas considerables.
Agrietamiento	Desarrollo de grietas o aberturas de poca profundidad a intervalos poco separados, pero irregulares sobre la superficie de pasta cementicia, mortero o concreto.
Álcalis	Son óxidos, hidróxidos y carbonatos de los metales alcalinos. Actúan como bases fuertes y son muy hidrosolubles.
Apisonar	Acomodar el agregado fino o grueso por medio de una barra lisa normada, o bien, una apisonadora, con el fin de lograr una compactación óptima reduciendo vacíos.

ASTM	American Society for Testing and Materials.
Coguanor	Comisión Guatemalteca de Normas.
Concreto	Material compuesto que consiste esencialmente en un aglomerante (cemento) dentro del cual hay partículas y fragmentos de agregado, generalmente una combinación de agregado fino y grueso.
Curado	Mantenimiento de un contenido de humedad y una temperatura óptimos en el concreto durante la etapa del fraguado, de manera que se puedan desarrollar las propiedades deseadas.
Elongación	Deformación longitudinal que sufre un cuerpo debido a una fuerza externa.
Especificación técnica	Es un documento que establece las características de los productos o servicios tales como: niveles de calidad, rendimiento, seguridad o dimensiones. Puede incluir también terminología, símbolos, métodos de ensayo embalaje.
Fibra	Cada uno de los filamentos que entran en la composición de los tejidos orgánicos vegetales o animales.

Fisura	Separación completa o incompleta entre dos o más partes, provocada por rotura o fracturación, ya sea en el concreto o la mampostería.
Formaleta	Estructura temporal que se usa para contener y moldear el concreto mientras fragua y adquiere resistencia suficiente para sostenerse.
Fraguado	Condición alcanzada por una pasta cementicia, mortero o concreto que ha perdido plasticidad hasta un nivel arbitrario.
Hidratación	Reacción en la que se produce incorporación de agua a un compuesto.
Insoluble	Que no puede disolverse ni diluirse en otras sustancias.
Masa seca saturada	Cantidad de materia que contiene humedad interna y la superficie permanece seca.
Masa unitaria	Es la masa obtenida con base en un volumen específico.
Módulo de elasticidad	Relación entre el esfuerzo normal y la deformación debajo del límite de proporcionalidad.
Monómero	Compuesto de peso molecular bajo.

Norma	Documento establecido por consenso y aprobado por un organismo reconocido, que proporciona, para un uso común y repetido, reglas, directrices o características para actividades o sus resultados, con el fin de conseguir un grado óptimo de orden en un contexto dado.
NRMCA	National Ready Mixed Concrete Association.
NTGO	Norma Técnica Guatemalteca Obligada.
Polímero	Macromoléculas formadas por la unión de moléculas más pequeñas llamadas monómeros.
Poliolefínico	Polímeros derivados de hidrocarburos no saturados olefínicos, con grupos de etileno y dieno.
Polipropileno	Termoplástico con propiedades similares al polietileno, de bajo coste, alta resistencia química a los disolventes, fácil moldeo, alta resistencia a la fractura y buena estabilidad térmica.
RXF54	Ruredil X Fiber 54.
Sulfatos	Sales del ácido sulfúrico. En la naturaleza se encuentran en forma de yeso.

RESUMEN

Debido a la necesidad de evitar las fisuras por retracción plástica y contracción térmica en el concreto reforzado se ha utilizado refuerzo secundario en las estructuras desde hace mucho tiempo. Uno de los refuerzos secundarios más utilizados en la actualidad es la fibra metálica, sin embargo, con el uso de la fibra metálica se han detectado algunos problemas como la corrosión a la que se expone el concreto con su utilización, la reducción de la manejabilidad, e incluso el aumento de peso específico del concreto.

En este trabajo se demostrarán las ventajas técnicas y económicas de utilizar fibra sintética como refuerzo secundario en el concreto reforzado para la disminución de las fisuras por retracción plástica y contracción térmica. La fibra sintética está hecha de un material inerte, por lo que no se corroe, no es magnética, no aumenta el peso específico del concreto, no modifica la manejabilidad del concreto y su relación de aspecto es mayor, por lo que se adhiere mejor al concreto.

Para demostrar la disminución de las fisuras por contracción térmica en el concreto, con el uso de la fibra sintética, se llevará a cabo un diseño experimental que incluye la construcción de 4 losas con diferentes especificaciones técnicas cada una; esto permitirá hacer una comparación del comportamiento de las fisuras en las losas; 2 losas serán de concreto fibroreforzado y 2 de concreto simple, de las cuales solo se curará adecuadamente una losa fibroreforzada y una de concreto simple. La medición de las fisuras se llevará a cabo durante los 28 días después de fundidas las losas, utilizando un fisurómetro con exactitud de 0,05 mm.

OBJETIVOS

General

Demostrar que con la utilización de fibra sintética las fisuras por retracción plástica y contracción térmica disminuyen en losas fundidas con concretos premezclados.

Específicos

1. Determinar el aumento de las propiedades mecánicas que se obtienen en el concreto con el uso de la fibra sintética.
2. Comparar la fisuración del concreto simple y fibroreforzado expuesto a las condiciones climáticas.
3. Demostrar que las condiciones de trabajabilidad en el concreto no se modifican de manera significativa con el uso de fibra sintética.
4. Proponer la fibra sintética como sustituto de la electromalla para la reducción de fisuras en el concreto.
5. Comparar costos entre el uso de electromalla y fibra sintética para la reducción de fisuras por contracción térmica en el concreto.

INTRODUCCIÓN

Este trabajo de graduación consiste en demostrar que las fibras sintéticas pueden reducir considerablemente las fisuras por retracción plástica y contracción térmica en el concreto, además de ser una alternativa más económica que el uso de electromalla; para demostrarlo se realizará una comparación entre cuatro losas con cuatro diferentes especificaciones técnicas, se medirán y contabilizarán las fisuras con ayuda de un fisurómetro; además se hará una serie de ensayos de laboratorio para evaluar y comparar las propiedades mecánicas del concreto fibroreforzado y el simple.

En el primer capítulo se presenta una retrospectiva sobre los daños que las fisuras causan en las estructuras de Guatemala, sus causas, y las técnicas utilizadas para reducir el daño ocasionado.

En el segundo capítulo se dan a conocer las generalidades de las fisuras, tanto tipos como sus causas, así como los métodos de reparación de estas según normativos, en especial el Código ACI.

En los capítulos tres y cuatro se presentan todas las especificaciones técnicas, características físicas, mecánicas y químicas tanto de la fibra sintética a usar en el proyecto como del concreto reforzado con dicho material. Toda esta información está respaldada por estudios realizados por la Empresa Ruredil y SAHE Guatemala.

En los capítulos quinto y sexto se detallan las especificaciones técnicas del diseño experimental que se usarán en este proyecto, los ensayos que se llevarán a cabo, y sus procedimientos, según normativos.

El capítulo 7 presenta el análisis de los resultados obtenidos del diseño experimental. Cabe mencionar que los resultados fueron positivos en su mayoría.

1. PROBLEMÁTICA EN LAS ESTRUCTURAS DE CONCRETO EN GUATEMALA

1.1. Reseña histórica de los problemas ocasionados en las estructuras de Guatemala por fisuras en el concreto

En Guatemala se ha reportado la falla total de muchas estructuras de concreto armado a través de los años, fallas que han sido ocasionadas por diferentes factores que provocan el deterioro total de dichas estructuras.

Cabe destacar que en la problemática de las estructuras civiles en Guatemala, en su mayoría, las fallas inician con pequeñas fisuraciones en el concreto, muchas veces es posible reparar esas fisuras para evitar la falla total del concreto más adelante, es decir, se debe llevar a cabo un mantenimiento en la estructura. Es claro que este mantenimiento no se lleva a cabo y por esta razón las pequeñas fisuraciones terminan por lograr la falla en el elemento estructural o en la estructura completa.

1.1.1. Estructuras que son afectadas por la formación de fisuras en el concreto

La formación de fisuras se presenta en la superficie de todo elemento estructural; este es un mal con el que se ha tenido que aprender a vivir. El concreto tiene muy buenas propiedades resistivas a compresión, pero su resistencia a la tensión es prácticamente despreciable, es por esta razón que se utiliza el acero para resistir esos esfuerzos a tensión, así, cuando el concreto

alcanza su resistencia a tensión, que es muy poca, este falla y las partículas del mismo se empiezan a separar, provocando las fisuras en su superficie.

Los tipos de estructuras que presentan problemas e incluso la falla completa debido a fisuras aquí en Guatemala son en su mayoría puentes y carreteras, esto se debe a que estas estructuras están más expuestas a cambios de temperatura, sobrecargas constantes y otros agentes nocivos.

1.1.2. Causas que han ocasionado problemas de fisuración prematura en las estructuras de concreto en Guatemala

Los factores que causan la fisuración en estructuras de concreto armado pueden ser muchos, y en la mayoría de los casos es la combinación de varios factores lo que ocasiona la falla en una estructura de concreto reforzado.

Se pueden mencionar algunos factores que influyen de manera significativa en la formación de fisuras superficiales en el concreto:

- Exposición a cambios climáticos.
- Exposición a vientos a grandes velocidades; esto provoca que la temperatura en la superficie del concreto cambie significativamente.
- Exposición a agentes nocivos.

1.2. Problemas que se han tenido en las estructuras de concreto debido a la fisuración prematura

Los problemas son múltiples, y lo que cabe destacar es que todos terminan debilitando la estructura. El problema con las fisuras es que eliminan la capa protectora del acero, es decir, que con una fisura, el concreto ya no protegerá el acero embebido, exponiéndolo a agentes externos nocivos que provocan el debilitamiento del acero. Cuando el acero es debilitado, la estructura pierde su capacidad de resistir flexión, y como el concreto no es capaz de resistir esos esfuerzos inducidos, la estructura termina por fallar.

1.3. Técnicas usadas en Guatemala para el control y reparación de fisuras en el concreto

En Guatemala, la reparación de fisuras es un tema que se resuelve de una manera práctica. En cuanto a fisuras en el asfalto, la técnica más utilizada es la inyección de resinas epóxicas. Puede mencionarse que en algunas estructuras, las fisuras son contrarrestadas con acero extra de refuerzo. La sobrecapa y tratamientos superficiales también son técnicas utilizadas en caso de fisuras.

2. GENERALIDADES DE LAS FISURAS EN EL CONCRETO ARMADO

2.1. Fisuras en el concreto armado

Las fisuras son uno de los síntomas patológicos más importantes del comportamiento en servicio de las estructuras de concreto.

2.1.1. Concepto de fisura y grieta

Las fisuras en el concreto son roturas que aparecen generalmente en la superficie del mismo, debido a la existencia de tensiones superiores a su capacidad de resistencia. Cuando la fisura atraviesa de lado a lado el espesor del elemento de concreto, se convierte en grieta.

Las fisuras se originan por variaciones de longitud en las determinadas caras del concreto respecto de las otras, y son derivadas de tensiones que desarrolla el material mismo por retracciones térmicas, hidráulicas o entumecimientos que se manifiestan generalmente en las superficies libres. Su manifestación puede presentarse al cabo de años, semanas, días, o en algunos casos solamente a las pocas horas, pudiendo así afectar la apariencia de la estructura, o más allá ser un indicador de fallas estructurales considerables.

2.1.2. Medidas de fisuras permitidas

Las fisuras tienen un ancho máximo permitido tanto por consideraciones estéticas como por durabilidad de los elementos; en el caso de algunos códigos

Europeos y americanos este ancho de fisura máxima, depende del medio ambiente y la durabilidad calculada para la estructura, sin embargo, el ancho permitido oscila entre 0,00 mm – 0,30 mm.

2.1.3. Consecuencias de las fisuras en el concreto reforzado

Las fisuras en el concreto no solo disminuyen la estética de la estructura y aparentan inseguridad; son en realidad puertas abiertas por las que agentes agresivos y nocivos pueden penetrar a la estructura. Es necesario recordar que el concreto le sirve como recubrimiento al acero, que es el encargado de soportar los esfuerzos de tensión en la estructura, y si este recubrimiento es penetrado por agentes nocivos a través de una fisura o grieta, dicho acero fácilmente será corroído y la estructura se debilitará.

2.2. Causas de fisuración en el concreto armado

Establecer un correcto diagnóstico de la fisuración en el concreto permite a proyectistas y ejecutores no solo minimizar o erradicar su efecto con el empleo de métodos y técnicas correctoras, sino también tomar las medidas preventivas necesarias para disminuir o eliminar su aparición.

2.2.1. Fisuración del concreto en estado plástico

La principal causa de aparición de este tipo de fisuración es la evaporación rápida del agua de la superficie del concreto.

2.2.1.1. Fisuras por retracción plástica

Esta fisuración ocurre cuando el concreto está sujeto a una pérdida de humedad muy rápida, provocada por una combinación de factores que incluyen las temperaturas del aire y el concreto mismo, la humedad relativa y la velocidad del viento en la superficie del concreto.

Si la humedad del concreto se evapora más rápido de lo que pueda ser reemplazada por el agua de exudación, el concreto se contraerá, y debido a que está debajo de la capa superficial, restringe el movimiento y se generan esfuerzos de tensión que provocan fisuras de profundidades pequeñas y variables.

2.2.1.2. Fisuras por precipitación de los agregados

El concreto continúa su consolidación aún después de la colocación inicial, vibrado y acabado. En este período el concreto está restringido mediante encofrado, armadura o una colada previa de concreto, y estas restricciones pueden provocar vacíos o fisuras adyacentes al elemento que impone la restricción.

2.2.2. Fisuras del concreto en estado endurecido

Las fisuras en el concreto en estado endurecido pueden ser causadas por agentes químicos externos, por condiciones climáticas y por esfuerzos mecánicos.

2.2.2.1. Fisuras por retracción por secado

La retracción por secado es provocada por la pérdida de humedad de la pasta de cemento, la cual se puede contraer hasta un 1 %. La combinación de retracción por secado y la restricción que se le aplica al concreto es lo que provoca el desarrollo de esfuerzos de tracción que superan la resistencia a tensión del concreto, provocando así fisuras en su superficie.

2.2.2.2. Fisuras por tensiones de origen térmico

Las diferencias de temperatura dentro de una estructura de concreto pueden ser provocadas por partes de la estructura que pierden calor de hidratación a diferentes velocidades, o por condiciones climáticas que actúan de diferente manera en cada parte de la estructura y a diferentes velocidades. Estas diferencias de temperatura ocasionan cambios diferenciales de volumen, que, debido a la restricción del concreto, superan la resistencia a tensión del concreto, provocando las fisuras en la superficie del mismo.

2.2.2.3. Fisuras por corrosión en el armado de acero

La corrosión en el acero es un proceso electroquímico. El acero embebido en el concreto es muy difícil que llegue a corroerse debido al ambiente altamente alcalino en el que se encuentra; en este ambiente el acero forma una pequeña capa de óxido que lo protege de agentes externos. Cuando el acero se corroe produce óxidos e hidróxidos cuyo volumen es mayor que el del metal mismo, provocando un estallido alrededor de la barra de acero generando tensiones radiales, llegando a fisurar el concreto, o bien, a aumentar la magnitud de las fisuras en el concreto.

2.2.2.4. Fisuras por técnicas de construcción inadecuadas

Muchas prácticas constructivas terminan por formar fisuras en el concreto. La más habitual de estas prácticas erróneas es la de agregar más agua al concreto con el fin de mejorar su trabajabilidad. El aumentar la proporción de agua reduce la resistencia del concreto, aumenta el asentamiento y la retracción por secado. Si además de incrementar el agua se procura aumentar el cemento para contrarrestar el efecto del agua reduciendo la resistencia del concreto, esto provocará un cambio de temperatura significativo entre el interior del concreto y el ambiente externo en el que se encuentra, terminando por provocar tensiones térmicas.

Aún si se procura mantener constante la relación agua-cemento no significa que no habrá problemas, ya que de esta forma se aumenta el volumen relativo de la pasta, provocando un aumento en la retracción.

2.2.2.5. Fisuras por sobrecargas durante la construcción

Los elementos premoldeados como vigas y paneles son los más afectados por este tipo de abusos, sin embargo, el concreto colocado *in situ*, no está exento de estos problemas. Uno de los errores con los elementos premoldeados es no apoyarlos de una forma correcta al momento de transportarlos y montarlos, así como el uso inadecuado de ganchos y pasadores para su transporte. También si al momento de su colocación el operario hace cambios bruscos de dirección, o detiene repentinamente el elemento en el aire, el concreto recibe cargas, incluso tres veces mayores que el peso propio del elemento.

Otro error habitual es llevar el elemento en cintas en ambos extremos y aflojar primero un extremo; esto provocará fisuras en el extremo no aflojado. Al momento de bajar el elemento del transporte, se comete el error de hacer palanca en una de las esquinas del elemento.

2.2.2.6. Fisuras por reacciones químicas

En el concreto se produce una reacción álcali-sílice, que genera un gel que intenta extraer humedad del concreto de otras partes; esto provoca desde luego una expansión interna acompañada de esfuerzos de tensión.

Hay algunas rocas que reaccionan con los álcalis; estas provocan una reacción álcali-carbonato que genera un patrón de fisuras en red.

Los sulfatos penetran la pasta de cemento y reaccionan con el aluminato de calcio hidratado, aumentando el volumen, y por consiguiente se generan esfuerzos de tensión que el concreto no soporta y termina fisurándose.

El uso de sales descongelantes puede ser perjudicial para el concreto si este no tiene un adecuado contenido de aire incorporado, o un recubrimiento óptimo del refuerzo.

2.2.2.7. Fisuras por meteorización

Entre estos procesos se pueden mencionar el congelamiento, deshielo, humedecimiento, secado, calentamiento y enfriamiento. Todos estos procesos generan cambios de volumen en el concreto endurecido, lo que provoca tensiones que terminan por fisurar el concreto.

2.2.2.8. Fisuras por errores de diseño

Entre los errores de diseños mal detallados que pueden ocasionar fisuración en el concreto se pueden incluir: el uso de ángulos reentrantes en las esquinas de muros, elementos y losas premoldeados, la incorrecta selección de las armaduras, la restricción de elementos sujetos a cambios de volumen provocados por variaciones de temperatura y humedad, la falta de juntas de contracción adecuadas y el incorrecto diseño de las fundiciones que provocan movimientos diferenciales en la estructura.

2.3. Evaluación y control de las fisuras en el concreto armado

Lo primero que se tiene que hacer es determinar la ubicación exacta y extensión de las fisuras, ya que con esto se podrá determinar si la estructura está debilitándose o si esto ocurrirá en un futuro. La revisión de los planos constructivos ayudará a reparar la estructura si su resistencia está disminuyendo debido a las fisuras.

2.3.1. Observación directa e indirecta

Para las observaciones se utiliza un esquema de la estructura que ayuda a registrar las ubicaciones y anchos de las fisuras. La precisión de los anchos de fisuras puede estar alrededor de 0,025 mm utilizando un comparador, que es un microscopio portátil, con una escala en el lente más próximo a la superficie observada. Otra forma de estimar los anchos de fisuras es por medio de una tarjeta con líneas marcadas claramente con diferentes anchos.

También es importante medir el movimiento de las fisuras, esto se puede realizar mediante un indicador de movimiento mecánico, un indicador o monitor

de fisuras; este último permite la lectura directa del desplazamiento y rotación de las fisuras.

2.3.2. Ensayos no destructivos

Algunas técnicas sencillas son golpear la superficie con un martillo o usar una cadena de arrastre; estas técnicas permiten identificar la fisuración laminar próxima a la superficie. Si se cuenta con el personal capacitado, y se realiza una correcta evaluación, es posible detectar fisuras usando equipos de ensayo ultrasónico no destructivos.

2.3.3. Ensayos en testigos de concreto

Otra técnica es obtener información a través de la extracción de testigos de hormigón en zonas seleccionadas estratégicamente de la estructura. Esta técnica ofrece la oportunidad de realizar una medición precisa del ancho y la profundidad de la fisura; también se puede complementar con un análisis petrográfico del hormigón

2.3.4. Revisión de datos y planos constructivos

Los planos desde luego permiten confirmar los espesores y calidad del concreto usado en la estructura, así como la armadura existente embebida, y si esta satisface o supera los requisitos de resistencia y serviciabilidad indicados en los códigos usados para su edificación.

2.4. Métodos de reparación de la fisuración en el concreto

Después de realizar el correcto análisis y evaluación de las fisuras en el concreto, se debe seleccionar la técnica de reparación adecuada para lograr uno o más de los siguientes objetivos:

- Restablecer y aumentar la resistencia
- Restablecer y aumentar la rigidez
- Mejorar la funcionalidad
- Lograr la impermeabilidad
- Mejorar la apariencia de la superficie del concreto
- Mejorar la durabilidad
- Impedir que se desarrolle un ambiente corrosivo en las armaduras

2.4.1. Inyección de resinas epóxicas

Solo cuando las fisuras son de abertura pequeña, hasta 0,05 mm, se puede usar este método. La técnica consiste en establecer bocas de entrada y venteo a ciertos intervalos de la fisura, y se sella la fisura con resina epóxicas a presión.

2.4.2. Perfilado y sellado

Se usa cuando es necesaria una reparación inmediata, y cuando la estructura no ha sido comprometida, por lo tanto no requiere ser reparada. El método consiste en agrandar la fisura en su cara expuesta y llenarla y sellarla con un sellador adecuado.

2.4.3. Costura de fisuras

Este método consiste en perforar orificios de pequeño diámetro a ambos lados de la fisura, considerándola longitudinalmente, y la colocación de refuerzos de acero en forma de U transversalmente, y asegurarlos con un mortero.

2.4.4. Armadura adicional

La técnica consiste en sellar la fisura; luego se perforan orificios que atraviesen en un ángulo de 90° la fisura, se rellenan estos orificios con adhesivo epóxico y se coloca una barra de armadura en el orificio perforado.

2.4.5. Perforación y obturación

Consiste en la perforación hacia abajo en toda la longitud de la fisura y llenarla con mortero, con el objetivo de formar una cuña o tapón. Solo se puede usar este método si la fisura es recta y uno de sus extremos es accesible.

2.4.6. Llenado por gravedad

Para este método pueden utilizarse tanto monómeros como resinas de baja viscosidad para sellar fisuras con anchos superficiales de entre 0,03 a 2 mm. Una vez limpia la fisura, se vierte el monómero o resina de baja viscosidad, utilizando para esparcirla cepillos, rodillos o escobas de goma.

2.4.7. Llenado con mortero

Esta técnica se usa particularmente en llenados por gravedad; para fisuras anchas se usa mortero de cemento portland y para las de poca abertura, mortero químico. Se puede utilizar en estructuras expuestas a ambientes húmedos. La desventaja de este método es que a pesar de que se sellan las aberturas, no unirá estructuralmente las secciones fisuradas.

2.4.8. Colocación de mortero como mezcla seca (*drypaching*)

Este método se refiere a la colocación manual de mortero de bajo contenido de agua y su posterior apisonado, con el objetivo de producir un contacto íntimo entre el mortero y el concreto existente. Debido al bajo contenido de agua hay poca retracción, permitiendo que el parche permanezca hermético.

2.4.9. Detención de fisuras

Mientras continúa la colocación del concreto se puede disponer de una membrana interruptora de la adherencia o una malla de acero sobre la fisura, así también se puede utilizar un tubo semicircular colocado sobre la fisura.

2.4.10. Impregnación de polímero

En este método se usan sistemas monoméricos. Un sistema monomérico es un líquido compuesto por monómeros que se polimerizarán formando un sólido. Estos sistemas no se mezclan con agua y tienen muy baja viscosidad, por lo que penetran el concreto con la facilidad que el agua lo haría.

2.4.11. Sobrecapas y tratamientos superficiales

Cuando se esté seguro de que la estructura no tendrá mayores movimientos, se podrá usar este método; el cual cubre la superficie, sin embargo no la repara.

2.4.11.1. Tratamientos superficiales

Estos tratamientos se adaptan mejor a superficies que no están sujetas a un desgaste significativo. Estos tratamientos se usan solo después de que las fisuras han sido tratadas por inyección de resinas epoxi o mediante perfilado y sellado, ya que a través de este método, solo se recubre la superficie de concreto.

2.4.11.2. Sobrecapas

Es común que cuando las losas tienen fisuras finas inactivas se reparen aplicando una sobrecapa, ya sea de cemento portland o concreto modificado con polímero.

2.4.12. Autocurado

Basado en el proceso natural de reparación de fisuras de concreto, este se produce por la continua hidratación del cemento y carbonatación del hidróxido de calcio de la pasta de cemento, debido al dióxido de carbono presente en el aire y el agua que rodea al concreto.

3. FIBRA SINTÉTICA A UTILIZAR EN ENSAYOS

3.1. Descripción de la fibra

El material a utilizar es una fibra sintética estructural, diseñada para mejorar la durabilidad y las propiedades mecánicas del concreto. Esta fibra es capaz de reducir y, en algunos casos, eliminar totalmente la contracción plástica en el concreto.

Esta fibra, a diferencia de las fibras metálicas, no se corroe, no es magnética y es 100 % resistente a los ácidos y a las bases y, en general, a todos los agentes agresivos, ya que es químicamente inerte; esto la convierte en una fibra ideal para ser utilizada en cualquier tipo de concreto y clase de exposición, especialmente en ambientes marinos y el de la industria química.

3.2. Tipos de aplicación

Basados en las propiedades que le confiere al concreto, y en el hecho de que es una fibra inerte a agentes químicos, puede ser utilizada en una amplia gama de estructuras.

3.2.1. Premoldeado

La fibra sintética se aplica en: tubos para cloacas, paneles para la construcción, elementos prefabricados para galerías, pozos negros, cabinas para servicios, contenedores para la recolección de agua, tanques de agua potable, nichos de cementerio, canaletas para cables, durmientes de ferrocarril,

placas prefabricadas para red ferroviaria, cámaras con sifón para agua de lluvia, elementos para canalización, elementos de sostén para la construcción, para techado y juntas, pilotes de concreto de fabricación centrífuga y tanques para contener sustancias contaminantes.

3.2.2. Galerías y obras subterráneas

Estas se aplica en: revestimiento interno de galerías, muros de sostenimiento, concreto lanzado, estabilización de la base para carreteras.

3.2.3. Pisos industriales y para intemperie

Son utilizadas para la construcción de: estacionamientos, depósitos de materiales, pisos sujetos a cargas pesadas o elevadas cargas dinámicas, pisos sin juntas, estaciones de servicio y oficinas, cámaras frigoríferas, áreas de almacenamiento, bloques de espesor reducido, muelles y pistas de aeropuerto.

3.2.4. Construcción residencial

Se refiere a losas de fundación, pisos, refuerzo de pisos con concreto y basamentos.

3.3. Normas

Se respetaron todas las normas de fabricación, y por supuesto las normas de construcción.

3.3.1. Normas ASTM

Esta fibra está fabricada de conformidad a la Norma ASTM C-1116 “*Standard Specification for Fiber-Reinforced Concrete*”.

3.4. Composición de la fibra sintética

Esta es una fibra híbrida, compuesta por un monofilamento no fibrilado a base de una mezcla especial de polímeros poliolefínicos y una fibra fibrilada de polipropileno.

3.5. Propiedades de la fibra sintética

La fibra sintética RXF54 está diseñada para mejorar la durabilidad y propiedades mecánicas del concreto.

3.5.1. Durabilidad

La fibra sintética que va a utilizarse es un material con una alta durabilidad y vida útil óptima que puede aplicarse en cualquier tipo de construcción. Al ser una fibra inerte, es apropiada para exponerse a cualquier ambiente sin reducir su tiempo de vida.

3.5.2. Forma, longitud, diámetro equivalente

La fibra a usar está compuesta de polímeros de poliolefínico no fibrilados, y una fibra fibrilada de polipropileno, con una longitud de 54 milímetros, y un diámetro equivalente de 0,069 milímetros.

3.5.3. Relación de aspecto

La relación de aspecto es la que existe entre el largo de la fibra con el diámetro equivalente de la misma, determinando así la adherencia que tendrá la fibra con el concreto. La fibra a usar tiene una relación de aspecto de 782, que es mucho mayor a la que presentan otras fibras en el mercado.

3.5.4. Peso específico

El peso específico de la fibra a usar es de 0,91 kg/dm³.

3.5.5. Resistencia a la tracción

La resistencia de la fibra esta entre 620 – 780 MPa.

3.5.6. Resistencia a ácidos, bases y sales

La fibra a usar es totalmente inerte a agentes químicos, lo que la hace una fibra óptima para ser usada en cualquier tipo de ambiente.

3.5.7. Resistencia al fuego

En presencia de fuego las fibras alcanzan su temperatura de fusión y se descomponen sin producir gas nocivo, transformando el volumen que ocupan anteriormente en la mezcla de cemento en una serie de canales interconectados, que funcionan como vías de fuga para el calor y vapor de agua que se genera luego que el agua intersticial comienza a hervir repentinamente.

4. CONCRETO REFORZADO CON FIBRA SINTÉTICA

4.1. Propiedades generales de concreto reforzado con fibra sintética

Cada propiedad presentada a continuación se ha determinado mediante ensayos según normativos y códigos de construcción.

4.1.1. Trabajabilidad

El uso de esta fibra sintética no dificulta la trabajabilidad y manejabilidad del concreto, ya que está compuesta por un material inerte. Esta fibra es suave y tiene una muy buena adherencia con el concreto. Incluso el asentamiento del concreto con fibra sintética sigue siendo el mismo del concreto sin esta.

4.1.2. Resistencia a compresión

Según estudios previos, la resistencia a compresión del concreto reforzado con fibra sintética no obtiene cambios significativos. Es necesario recordar que la fibra sintética solo trabaja a tensión. La ayuda que proporciona en cuanto a la compresión del concreto es la de ayudar a mantener unidas las partículas al momento de exponerlo a una fuerza compresiva, pero el aumento es en un 6 % a la resistencia a compresión esperada, sin fibra.

4.1.3. Resistencia a tensión

La fibra que se usará para reforzar el concreto trabaja solo a tensión, sin embargo, no aumenta de manera significativa la capacidad de resistir tensión del concreto.

4.1.4. Resistencia a flexión

Debido al aumento de la tenacidad que el uso de esta fibra sintética confiere al concreto, la resistencia a flexión del concreto aumenta debido a la nueva capacidad que tendrá el concreto de deformarse sin fisurarse o fallar.

4.1.5. Resistencia al impacto

De conformidad con el Código ACI 544, se ha demostrado en pruebas de laboratorio que usando fibra sintética la resistencia al impacto del concreto es hasta 100 veces mayor que la obtenida con un concreto sin esta.

Tabla I. **Resistencia al impacto del concreto fibrorreforzado con RXF 54**

Resistencia al impacto	Número de golpes para determinar la rotura de la muestra:
• RXF 54 dos. 0,3 % en vol.	• 320
• RXF 54 dos. 0,4 % en vol.	• 435

Fuente: ficha técnica fibra sintética RXF 54. p. 2.

4.1.6. Ductilidad

Una de las mejoras que se obtiene en el concreto con el uso de fibra sintética es el aumento de la capacidad del concreto de adquirir deformación sin llegar a la fracturación.

4.1.7. Índice de tenacidad

La tenacidad (según ASTM 1018) “es una medida de la capacidad de absorción de energía, y se utiliza para caracterizar las posibilidades que posee el concreto reforzado con fibras de resistencia a la fractura, cuando está sujeto a cargas estáticas, dinámicas y de impacto”.

Según ensayos realizados por el fabricante de la fibra sintética a usar, la tenacidad es la propiedad que aumenta significativamente en el concreto fibroreforzado.

Tabla II. Tenacidad sobre placa

Carga deformación e índice de tenacidad	$\delta=0,031$ mm $I_5=4,9$ $I_{10}=8,4$ $I_{20}=13,6$
Tenacidad sobre placa: <ul style="list-style-type: none">• Carga máxima• Energía de absorción	<ul style="list-style-type: none">• 69 KN• 895 J
Resistencia al impacto <ul style="list-style-type: none">• RXF 54 dos. 0,3% en vol.• RXF 54 dos. 0,4% en vol.	Número de golpes para determinar la rotura de la muestra <ul style="list-style-type: none">• 320• 435

Fuente: ficha técnica RXF 54. p. 2.

4.2. Modalidad de añadido y mezcla de las fibras en el concreto

La técnica para dosificación de la fibra sintética no requiere mano de obra calificada, solo se deben tomar en consideración algunas pautas para lograr una mezcla homogénea entre la fibra y el concreto. Las fibras se agregan directamente en el aparato mezclador o el camión mezclador.

Es necesario que se agregue la fibra después de los agregados fino y grueso para que pueda mezclarse de 3 a 5 minutos antes de verter el cemento; se mezcla de 3 a 5 minutos con el aglomerante, y se finaliza agregando el agua.

4.3. Curado del concreto reforzado con fibra sintética

El curado del concreto reforzado con fibra sintética no varía en relación con las técnicas usadas para curar el concreto sin fibra. Por supuesto debe tomarse en cuenta el tipo de estructura, la ubicación, el tipo de exposición que tendrá la estructura a agentes externos agresivos, y otras consideraciones para realizar un curado óptimo del concreto.

4.4. Uso de software para dosificación de fibra sintética en el concreto

Para la dosificación de la fibra sintética RXF54 en el concreto, la empresa Ruredil ha creado un software que calcula la cantidad óptima de fibra que cada m³ de concreto debe tener para obtener el máximo provecho de dicha fibra sintética.

Este software calcula el porcentaje de fibra sintética a usar en el concreto a partir de los siguientes datos:

- Diámetro área (a): que se refiere al diámetro aproximado en centímetros del elemento que aplicará carga sobre la losa de concreto que se reforzará con fibra sintética RXF54.
- Carga (P): carga que será aplicada directamente sobre la losa reforzada con fibra sintética.
- Clase de hormigón: se refiere a la resistencia del concreto a usar (f'_c).
- Características del hormigón: esto se refiere al módulo de elasticidad del concreto, y algunas otras características con base en normativos.
- Módulo de Young del terreno.
- Espesor deseado.

5. DESCRIPCIÓN Y PROCEDIMIENTO DE ENSAYOS

5.1. Diseño de mezcla

Se utilizará concreto premezclado, tanto para las losas como para las probetas y testigos de ensayo de laboratorio; por lo tanto, no se realizará un diseño de mezcla teórico. Se usará concreto 210 kg/cm².

Para el cálculo de la dosificación de fibra sintética por cada m³ de concreto se usará el software que la empresa Ruredil ha desarrollado.

5.2. Control de fisuras por cambios de temperatura

El control de las fisuras por cambios de temperatura en el concreto se llevará a cabo a través de una comparación de elementos con diferentes especificaciones. Para esto se deberá elaborar 4 losas con las siguientes especificaciones:

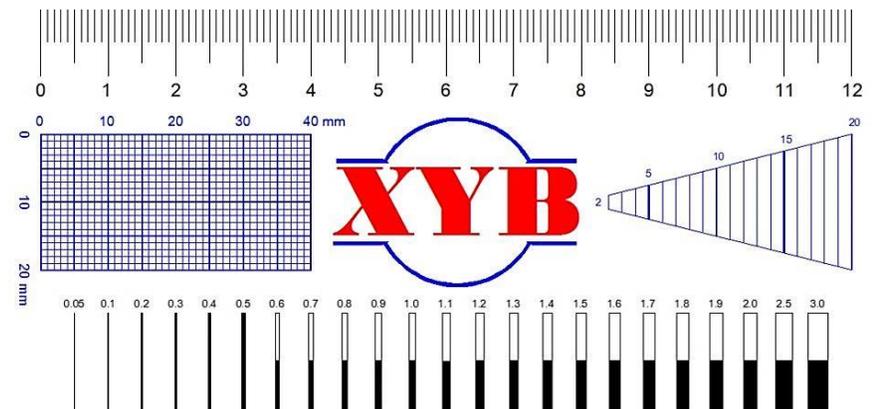
Tabla III. **Especificaciones de losas para control de fisuras por contracción térmica**

LOSA	MEDIDAS	ESPECIFICACIÓN
1	0.75*1.55 m	Concreto curado
2	0.75*1.55 m	Concreto sin curar
3	0.75*1.55 m	Concreto fibroreforzado curado
4	0.75*1.55 m	Concreto fibroreforzado sin curar

Fuente: elaboración propia.

El control de las fisuras se llevará a cabo mediante observaciones directas, usando una plantilla graduada o “fisurómetro” con una exactitud de 0,05 mm. Se determinarán 2 áreas críticas (área en donde más fisuras se presenten) en cada losa de 0.30 * 0.30 m para realizar el análisis y medición de las fisuras. Las observaciones deberán hacerse cada 3, 7 y 28 días, tanto en la mañana como en la tarde, para determinar si hay algún cambio significativo. El método de curado de las losas será el de aspersión durante los cuatro días siguientes a la fundición de las mismas.

Figura 1. **Fisurómetro o plantilla graduada a utilizar para medir las fisuras en el concreto**



Fuente: distribuidora XYB, imagen sin escala.

5.3. Ensayo de asentamiento (*slump*) según Norma ASTM C-143

Los valores del revenimiento en el concreto están en función del elemento estructural a construir. Usualmente, se indica en las especificaciones de obra un revenimiento de 50 a 100 mm (2 a 4 pulg.). Cuando no se especifica un revenimiento, se pueden utilizar tablas con valores aproximados.

5.3.1. Ensayo de asentamiento en mezcla de concreto sin fibra sintética

Para el ensayo de asentamiento (*slump*) es necesario contar con el siguiente equipo:

- Un molde tronco cónico de 203 mm \pm 3 mm de diámetro en la base mayor, 102 mm \pm 3 mm en la base menor y 305 mm \pm 3 mm de alto.
- Una varilla compactadora o apisonadora de acero, cilíndrica y lisa de 16 mm de diámetro, una longitud aproximada de 600 mm y la punta redondeada.

Para efectuar el ensayo se humedece el interior del molde y la base sobre la cual se hará el ensayo, la que debe ser firme, plana, nivelada y no absorbente.

Se sujeta el molde firmemente y se llena de concreto a 1/3 del volumen del cono, se debe introducir 25 veces la varilla de acero en posición vertical en el concreto, evitando tocar la base en que se apoya el cono. Se coloca una segunda capa de un tercio del volumen del cono y se realizan 25 apisonamientos con la varilla de acero, ahora penetrando ligeramente la primera capa de concreto en el cono. Se vierte concreto en el molde tratando de sobrepasar el volumen del cono, con la varilla se elimina el concreto restante, colocándola en forma horizontal y pasándola por el borde superior del cono, y se realizan 25 apisonamientos tratando de penetrar ligeramente la capa anterior de concreto.

Se levanta el molde verticalmente y despacio, sin aplicarle movimiento lateral o de torsión. Se coloca el molde al lado del concreto ensayado y se mide la distancia entre la varilla colocada sobre el molde en posición horizontal y la cara superior del concreto.

5.3.2. Ensayo de asentamiento en mezcla de concreto con fibra sintética

El procedimiento de ensayo de asentamiento para el concreto fibrorreforzado con RXF 54 no varía respecto del procedimiento que se lleva a cabo para concreto simple (sin fibra sintética).

5.4. Ensayo de compresión según la Norma ASTM C-39

El esfuerzo que soportan los cilindros sometidos a carga compresiva dependen del material de fabricación, de la proporción, de la forma de mezclar, temperatura y condiciones de humedad.

5.4.1. Ensayo a compresión de concreto sin fibra sintética

Para realizar el ensayo de compresión en cilindros de concreto es necesario contar con el siguiente equipo:

- Vernier con exactitud de 0,5 mm
- Cinta métrica graduada en milímetros
- Balanza con una aproximación de 0,10 lb (0,045 kg)
- Azufre en polvo
- Olla de para diluir el azufre
- Molde para nivelar el cilindro

- Máquina universal para compresión de cilindros de concreto

Previo al ensayo el cilindro debe curarse debidamente sumergido en agua. Antes del ensayo se seca la humedad del cilindro con un paño húmedo, se miden los diámetros del cilindro así como su altura, incluyendo las capas de nivelación. Cuando los extremos del cilindro no son perpendiculares al eje, es necesario que se nivele con azufre, luego se procede a pesar el cilindro.

Después de realizar la preparación del cilindro de concreto se procede a calibrar la máquina en donde se realizará el ensayo. Es importante que el cilindro esté perfectamente alineado en el centro del plato y la rótula de la máquina de compresión. La carga debe ser aplicada a una velocidad continua de 1,3 mm/min, hasta que el cilindro de concreto falle.

5.4.2. Ensayo a compresión de concreto con fibra sintética

El procedimiento de ensayo a compresión de concreto fibroreforzado con RXF 54 no varía respecto del ensayo a compresión, ya descrito para concreto sin fibra sintética.

5.5. Ensayo de tensión indirecta según la Norma ASTM C-496

Este ensayo destaca por ser un método simple y representativo, que permite imitar la respuesta de un pavimento y obtener la carga máxima que aguanta una mezcla antes de romper.

5.5.1. Ensayo a tensión indirecta de concreto sin fibra sintética

Para la realización de este ensayo es necesario contar con el siguiente equipo y maquinaria:

- Dos tiras delgadas de madera contrachapada de 1/8 pulg.
- Máquina universal de compresión
- Barra suplementaria de acero

El ensayo consiste en someter a compresión diametral una probeta cilíndrica normal de ϕ 6" y una altura de 12", aplicando una carga de manera uniforme a lo largo de dos líneas o generatrices opuestas hasta alcanzar la rotura. Esta configuración de carga provoca un esfuerzo de tracción relativamente uniforme en todo el diámetro del plano de carga vertical. Para cargar la probeta a compresión en un plano diametral vertical es necesario contar con un dispositivo de sujeción de la probeta a través del cual se materialice dicho plano de carga. La carga se aplicará en forma uniforme y constante a una velocidad de 50-80 mm/min.

5.5.2. Ensayo a tensión indirecta de concreto con fibra sintética

El procedimiento de ensayo a tensión indirecta del concreto fibrorreforzado con RXF 54 es el mismo anteriormente descrito para concreto sin fibra.

5.6. Ensayo a flexión según Norma ASTM C-78

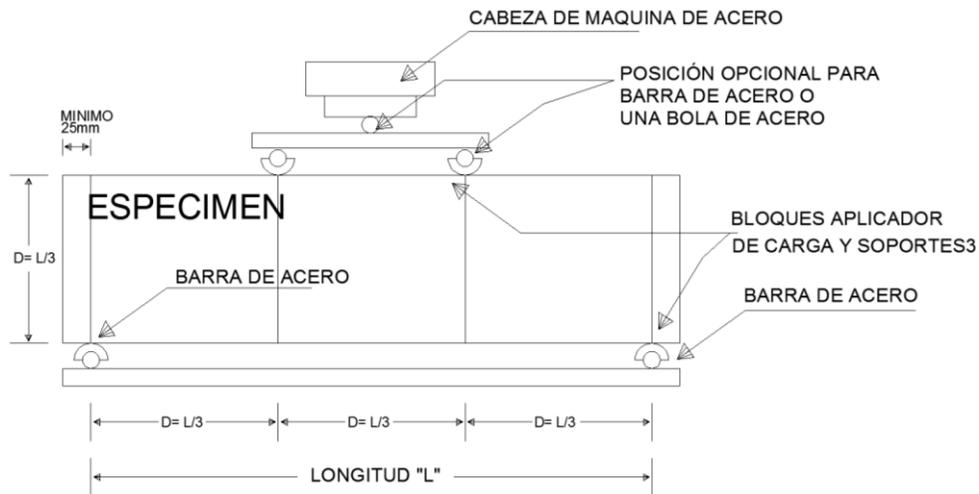
El concreto es un material que ofrece muy poca resistencia a la tensión, y oscila en el rango de 10 % a 15 % del f'_c . El ensayo de flexión en el concreto ayuda a medir la resistencia a tensión del concreto.

5.6.1. Ensayo a flexión de concreto sin fibra sintética

El ensayo consiste en aplicarle carga puntual a una viga de concreto normada de 150x150x550 milímetros, carga que será aplicada en los tercios de la luz de la viga. El ensayo se realiza a los 3, 7 y 28 días, y el curado consiste en la inmersión total del elemento en agua.

El ensayo debe llevarse a cabo con la viga húmeda, es decir, se saca del agua antes del ensayo y se seca con un paño húmedo; se coloca en los apoyos que están en los extremos de la viga según norma, y se procede a aplicar la carga puntual concentrada en el centro de la viga.

Figura 2. **Vista diagramática de un aparato apropiado para ensayo a flexión de concreto por el método de carga en los tercios de la luz**

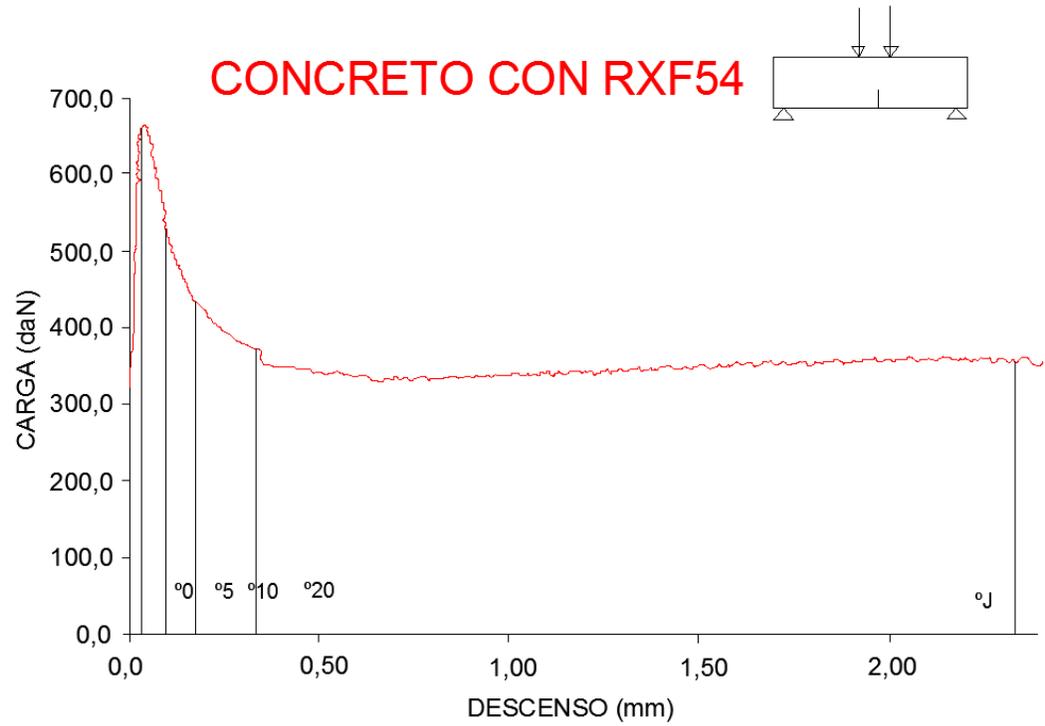


Fuente: Norma Coguanor NTG 41017-h2. p. 5.

5.6.2. **Ensayo a flexión de concreto con fibra sintética**

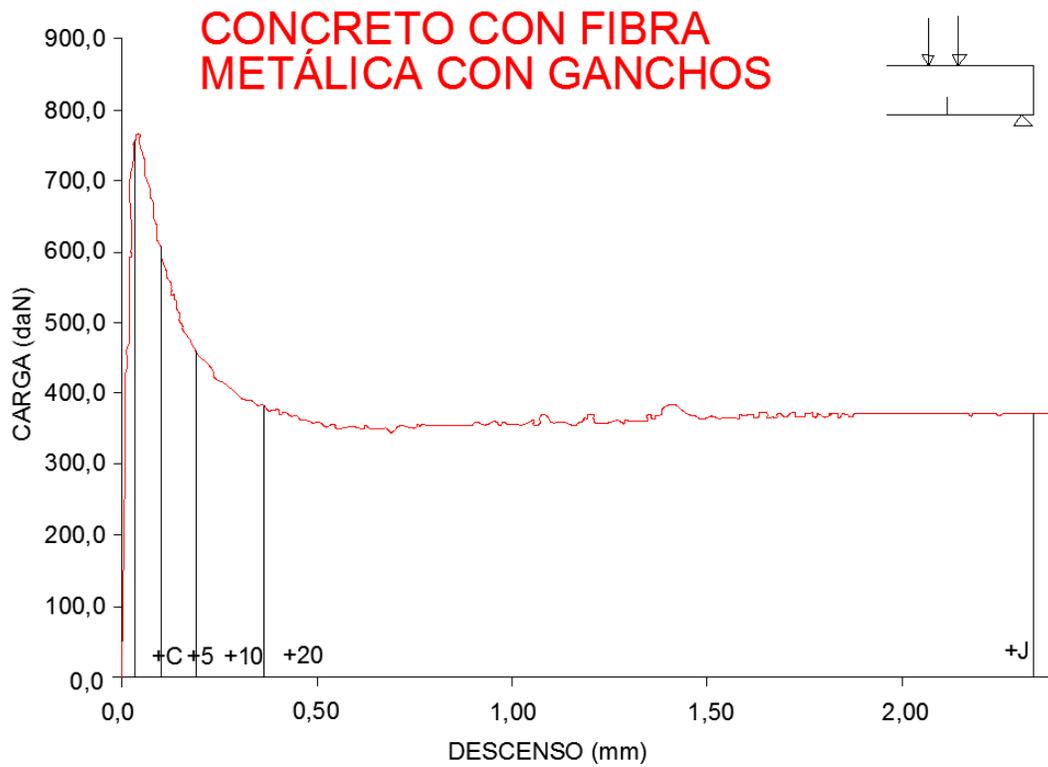
Al igual que los anteriores ensayos, el procedimiento de ensayo a flexión del concreto fibrorreforzado con RXF 54 es el mismo utilizado para el ensayo a flexión del concreto sin fibra.

Figura 3. Rendimiento del concreto con fibra sintética RXF54



Fuente: ficha técnica Ruredil XF 54. p. 2.

Figura 4. Rendimiento del concreto con ganchos metálicos



Fuente: ficha técnica Ruredil XF 54. p. 2.

6. DESARROLLO EXPERIMENTAL

6.1. Diseño de mezcla

El software desarrollado por la empresa Ruredil calculó que para el proyecto es necesaria una dosificación de 1,5 kg de fibra sintética RXF54 por cada m³ de concreto.

6.1.1. Realización de mezcla de concreto sin fibra sintética

Se utilizó concreto premezclado f'_c 210 kg/cm². Para la fundición se utilizó mezcladora. Se realizó el ensayo de asentamiento y se midió la temperatura del concreto antes de fundirlo en la losa y los moldes de los testigos.

6.1.2. Realización de mezcla de concreto con fibra sintética

Se utilizó concreto premezclado f'_c 210 kg/cm². Para la mezcla de los materiales se utilizó mezcladora. Se usó también una balanza para pesar la fibra sintética, previamente calculada con el software, necesaria para cada m³ de concreto. Debido a que era concreto premezclado se vertieron los sacos de concreto a la mezcladora; seguidamente se vertió la dosificación de fibra sintética para cada saco, se vertió la cantidad de fibra para cada lechada y se mezcló sin agua durante aproximadamente 5 minutos; luego de esos 5 minutos se vertió el agua gradualmente, hasta lograr la dosificación requerida de agua. Se realizó el ensayo de asentamiento y se midió la temperatura del concreto antes de fundirlo en la losa y los moldes de los testigos.

6.2. Elaboración de losas de 0,75 m * 1,55 m

Se considera innecesario reforzar las losas con acero, ya que lo que se pretende ensayar son las fisuras en el concreto, aunque se debe verificar la flexión; se ensayó el concreto y no el elemento en sí de la losa.

6.2.1. Realización de formaleta de madera para las 4 losas

Para realizar la formaleta de las 4 losas se usó madera de pino y parales de 5 cm de lado para las divisiones de las losas. Se hizo una sola formaleta para las 4 losas dejando sus respectivas divisiones.

6.2.2. Fundición de losas de concreto

Se aplicó desencofrante a la formaleta antes de verter el concreto en la formaleta; después de realizar la mezcla de materiales se vierte el concreto en la formaleta con palas y se utilizó una varilla para apisonar y reducir los vacíos en el concreto. Vertida la cantidad necesaria de concreto en cada losa se procede a rasar y alisar la superficie de la losa, usando una vigueta de madera.

Se necesita curar debidamente 2 losas (una sin fibra sintética y la otra con fibra sintética RXF54). El curado se llevó a cabo por aspersión tratando de usar la formaleta para crear una capa de agua de aproximadamente 2 mm, es decir, tratando de formar un pequeño estanque de agua con ayuda de la formaleta. La aspersión se realizó durante los primeros 4 días. Para evitar la pérdida de humedad excesiva se usó un plástico de color negro que cubre toda la superficie de las losas que se necesita curar.

Es necesario mencionar que las otras 2 losas (una sin fibra sintética y la otra con fibra sintética RXF54) no se curaron debidamente, solamente se rasaron y se dejaron a la intemperie, no se cubrieron con nada ni se les aplicó agua por aspersión.

Para el control de fisuras se definieron parámetros de ancho (este fijado por la graduación y exactitud del fisurómetro) y de largo (definido por las longitudes aproximadas de las fisuras que se presenten en las losas representativas). Ya definidos los parámetros se contabilizaron las fisuras que cumplen o se aproximen a los parámetros establecidos.

6.3. Elaboración de probetas para ensayos

El procedimiento de elaboración de probetas para el concreto con fibra sintética RXF54 es el mismo que se usa para el concreto sin fibra.

6.3.1. Procedimiento de elaboración de probetas para ensayo a compresión de concreto

Se untaron los moldes con un desencofrante antes de la elaboración del concreto. Se tuvo especial cuidado en la forma correcta de mezclar el concreto con la fibra sintética. El concreto ya mezclado se vertió en una carreta para transportarlo; antes de llenar las probetas se realizó el ensayo de asentamiento y se midió la temperatura. Luego se utilizan cucharas para llenar los cilindros en tres partes, para cada tercio se usó una varilla de acero con punta redondeada para realizar veinticinco apisonamientos verticales en el concreto, tratando de no golpear el fondo del molde, y se dieron tres golpes en los cuatro cuadrantes del molde con un martillo de goma; este procedimiento se repitió para cada tercio llenado de los moldes.

Cuando el molde se ha llenado, apisonado y compactado correctamente, se debe rasar el molde, eliminando el concreto sobrante usando una regla metálica, y se procuró alisarlo. Los testigos se desencofraron a las veinticuatro horas de haberlos fundido; se rotularon indicando el número de cilindro y el ensayo al que se someterá. Se sumergieron en una pileta con agua para llevar a cabo el curado.

6.3.2. Procedimiento de elaboración de probetas de ensayo a tensión indirecta

Se untaron los moldes con un desencofrante antes de la elaboración del concreto. Se tuvo especial cuidado en la forma correcta de mezclar el concreto con la fibra sintética. El concreto ya mezclado se vertió en una carreta para transportarlo; antes de llenar las probetas se realizó el ensayo de asentamiento y se midió la temperatura. Luego se utilizan cucharas para llenar los cilindros en tres partes; para cada tercio se usó una varilla de acero con punta redondeada para realizar veinticinco apisonamientos verticales en el concreto, tratando de no golpear el fondo del molde, y se dieron tres golpes en los cuatro cuadrantes del molde con un martillo de goma; este procedimiento se repitió para cada tercio llenado de los moldes.

Cuando el molde se ha llenado, apisonado y compactado correctamente, se debe rasar el molde eliminando el concreto sobrante usando una regla metálica, y se procura alisarlo. Los testigos se desencofraron a las veinticuatro horas de haberlos fundido; se rotularon indicando el número de cilindro y el ensayo al que se someterá. Se sumergieron en una pileta con agua para llevar a cabo el curado.

6.3.3. Procedimiento de elaboración de probetas para ensayo a flexión del concreto

Se untaron los moldes con un desencofrante antes de la elaboración del concreto. Se tuvo especial cuidado en la forma correcta de mezclar el concreto con la fibra sintética.

El concreto ya mezclado se vertió en una carreta que servirá para transportarlo; antes de llenar las probetas se realizó el ensayo de asentamiento y se midió la temperatura. Luego se utilizaron cucharas para llenar los moldes, los cuales se llenarán en 3 partes; para cada tercio se usó una varilla de acero con punta redondeada para realizar los apisonamientos verticales en el concreto, que sean necesarios para reducir los vacíos, tratando de no golpear el fondo del molde; luego de eso se golpearon los 4 cuadrantes del molde con un martillo de goma; este procedimiento se repitió para cada tercio llenado de los moldes.

Cuando el molde se ha llenado, apisonado y compactado correctamente, se debe rasar el molde eliminando el concreto sobrante usando una regla metálica, procurando alisarlo. Las vigas de concreto se desencofraron a las 24 horas de haberlas fundido; se les rotuló indicando un número y el ensayo al que serán sometidas. Se sumergieron en una pileta con agua para llevar a cabo el curado.

6.4. Datos obtenidos

Todos los ensayos fueron realizados en el centro de investigaciones de la facultad de ingeniería, en la Universidad de San Carlos de Guatemala.

6.4.1. Datos obtenidos de medición de fisuras de losas a 7 y 28 días

Las medición de fisuras se realizó con un fisurómetro de 0,05 mm de exactitud.

Tabla IV. **Control de fisuras en losas de concreto reforzado a 7 días**

LOSA	DETALLE LOSA	FISURAS EN ESQUINAS DE LOSA				FISURAS AL CENTRO DE LOSA			
		ANCHO 0-0,05 mm	LONG. (mm)	ANCHO 0,05-0,1 mm	LONG. (mm)	ANCHO 0-0,05 mm	LONG. (mm)	ANCHO 0,05-0,1 mm	LONG. (mm)
LOSA 1	CURADO	82	5						
LOSA 2	SIN CURAR	95	10			12	5		
LOSA 3	FIBRA+CURADO	22	13						
LOSA 4	FIBRA SIN CURAR	25	15			7	5		

Fuente: elaboración propia.

Tabla V. **Control de fisuras en losas de concreto reforzado a 28 días**

LOSA	DETALLE LOSA	FISURAS EN ESQUINAS DE LOSA				FISURAS AL CENTRO DE LOSA			
		ANCHO 0-0,05 mm	LONG. (mm)	ANCHO 0,05-0,1 mm	LONG. (mm)	ANCHO 0-0,05 mm	LONG. (mm)	ANCHO 0,05-0,1 mm	LONG. (mm)
LOSA 1	CURADO	90	5			15	5		
LOSA 2	SIN CURAR	100	10	7	15	30	8	4	20
LOSA 3	FIBRA+CURADO	30	15			10	5		
LOSA 4	FIBRA SIN CURAR	60	15			10	5		

Fuente: elaboración propia.

6.4.2. Datos obtenidos del ensayo de asentamiento (*slump*)

El ensayo de asentamiento, tanto para el concreto simple como para el fibrorreforzado, se realizaron bajo las mismas condiciones de humedad.

Tabla VI. **Datos de ensayo de asentamiento y temperatura**

Ensayo	Concreto sin fibra	Concreto con fibra
Slump	75 mm	25 mm
Temperatura	25 °C (76 ° F)	25 °C (76 ° F)

Fuente: elaboración propia.

6.4.3. Datos obtenidos del ensayo a compresión

Los resultados de un ensayo a compresión del concreto pueden ser usados como base para un control de calidad.

Tabla VII. **Nomenclatura y descripción de cilindros de ensayo a compresión**

No. de cilindro	Fecha de fundición	Edad de ruptura	Aditivo en mezcla
1	22/07/2014	3 días	----
4f	22/07/2014	3 días	Fibra sintética RXF54
2	22/07/2014	7 días	
5f	22/07/2014	7 días	Fibra sintética RXF54
3	22/07/2014	28 días	
6f	22/07/2014	28 días	Fibra sintética RXF54

Fuente: elaboración propia.

Tabla VIII. **Datos obtenidos de cilindros de ensayo a compresión**

Fecha ensayo	No. de cilindro	Peso (Kg)	ϕ_1	ϕ_2	h_1	h_2	h_3	Carga (KN)	Tipo de fractura
25/07/2014	1	13,046	15,180	15,200	30,410	30,270	30,260	320,000	Cono y clivaje
25/07/2014	4f	13,185	15,130	15,280	30,220	30,330	30,460	375,000	Cono y clivaje
29/07/2014	2	13,220	15,260	15,250	30,500	30,550	30,310	390,000	Cono y ruptura
29/07/2014	5f	13,190	15,210	15,300	30,220	30,200	30,220	470,000	Cono y ruptura
19/08/2014	3	13,010	15,220	15,240	30,320	30,310	30,340	485,000	Columnar
19/08/2014	6f	13,240	15,225	15,235	30,310	30,320	30,340	590,000	Columnar

Fuente: elaboración propia.

6.4.4. **Datos obtenidos del ensayo a tensión indirecta**

Se espera una resistencia a tensión del concreto aproximada de $0.10 f'_c$, tanto para el concreto simple como para el fibrorreforzado.

Tabla IX. **Nomenclatura y descripción de cilindros de ensayo a tensión indirecta**

No. de cilindro	Fecha de fundición	Edad de ruptura	Aditivo en mezcla
1	22/07/2014	3 días	----
4f	22/07/2014	3 días	Fibra sintética RXF54
2	22/07/2014	7 días	
5f	22/07/2014	7 días	Fibra sintética RXF54
3	22/07/2014	28 días	
6f	22/07/2014	28 días	Fibra sintética RXF54

Fuente: elaboración propia.

Tabla X. **Datos obtenidos de cilindros de ensayo a tensión indirecta**

Fecha ensayo	No. de cilindro	Peso (Kg)	ϕ_1	ϕ_2	h_1	h_2	h_3	Carga (libras)
25/07/2014	1	13,020	15,200	15,200	31,430	30,330	30,315	35 000,000
25/07/2014	4f	13,160	15,220	15,200	30,220	30,500	30,500	44 000,000
29/07/2014	2	13,180	15,160	15,180	30,230	30,490	30,450	41 000,000
29/07/2014	5f	13,830	15,250	15,500	30,400	30,350	30,325	40 000,000
19/08/2014	3	13,050	15,200	15,300	30,310	30,255	30,268	46 000,000
19/08/2014	6f	13,250	15,235	15,250	30,250	30,265	30,313	51 000,000

Fuente: elaboración propia.

6.4.5. **Datos obtenidos del ensayo a flexión**

Se espera una resistencia a flexión del $0,15f'_c$, tanto para el concreto simple como para el fibrorreforzado.

Tabla XI. **Nomenclatura y descripción de vigas para ensayo a flexión de concreto**

No. de cilindro	Fecha de fundición	Edad de ruptura	Aditivo en mezcla
1	22/07/2014	3 días	
4f	22/07/2014	3 días	Fibra sintética RXF54
2	22/07/2014	7 días	
5f	22/07/2014	7 días	Fibra sintética RXF54
3	22/07/2014	28 días	
6f	22/07/2014	28 días	Fibra sintética RXF54

Fuente: elaboración propia.

Tabla XII. **Datos obtenidos de ensayo a flexión de vigas de concreto**

Fecha ensayo	No. de probeta	Ancho (mm)	Alto (mm)	Largo (mm)	Luz entre apoyos (mm)	Carga (N)
25/07/2014	1	152,83	153,33	533,00	457,00	22 555,00
25/07/2014	4f	152,00	153,07	535,00	457,00	24 517,00
29/07/2014	2	153,67	151,67	536,00	457,00	24 517,00
29/07/2014	5f	153,50	151,83	535,00	457,00	26 478,00
19/08/2014	3	154,13	152,50	540,00	457,00	35 304,00
19/08/2014	6f	154,65	152,30	535,00	457,00	35 304,00

Fuente: elaboración propia.

6.5. **Comparación de costos entre electromalla y fibra sintética RXF54**

El costo se calculó con base en cotizaciones reales.

Tabla XIII. **Cálculo de costos para malla electrosoldada de 2,35 m*6,00 m**

Detalle	Cantidad	Unidad
Área de malla electrosoldada	14,1000	m ²
Cantidad de m ² de losa	4,6500	m ²
Desperdicio 5 %	0,2325	m ²
Área real de losa	4,8825	m ²
Cantidad de mallas para losa	0,3463	Unidad
Cantidad de espaciadores (4 por m ²)	19,5300	Unidad
Solo se consideró el costo de la malla electrosoldada, ya que la cantidad de concreto no varía.		
Detalle	Costo	Total
Malla electrosoldada 2,33 m * 6,00 m	Q180,00	Q62,33
Transporte de malla	Q100,00	Q100,00
Costo de colocación por m ²	Q5,50	Q26,85
Costo unitario de espaciador	0,56	Q10,94
Costo total de la obra		Q200,12
Costo por m² con malla electrosoldada		Q40,99

Fuente: elaboración propia.

Tabla XIV. **Cálculo de costos con fibra sintética RXF54**

Detalle	Cantidad	Unidad
Cantidad de fibra por m ³	1,500	Kg
Volumen de concreto	0,465	m ³
Cantidad total de fibra	0,698	Kg
Se consideró solamente el costo de la fibra sintética, ya que la cantidad de concreto no varía.		
Detalle	Costo	total
Kg de fibra RXF54	Q75,00	Q52,31
Costo total		Q52,31
Costo por m² con fibra sintética RXF54		Q11,25

Fuente: elaboración propia.

6.6. Resumen de resultados

Estas tablas muestran el resumen de datos con los que se harán los respectivos cálculos.

Tabla XV. **Resumen resultados ensayo a compresión de concreto**

Edad concreto (días)	No. de cilindro	peso (Kg)	ϕ	h	Carga (KN)	Resistencia Mpa	Resistencia Lb/plg ²
3	1	13,046	15,190	30,313	70 609,000	17,300	2 510,000
3	4f	13,185	15,205	30,337	83 189,000	20,400	2 960,000
7	2	13,220	15,255	30,453	86 619,000	21,100	3 060,000
7	5f	13,190	15,255	30,213	104 774,000	25,500	3 700,000
28	3	13,010	15,230	30,320	108 097,000	26,400	3 830,000
28	6f	13,240	15,235	30,303	131 361,000	32,000	4 640,000

Fuente: elaboración propia.

Tabla XVI. **Resumen de resultados de ensayo a tensión indirecta de concreto**

Edad concreto (días)	No. de cilindro	Peso (Kg)	ϕ	h	Carga (KN)	Resistencia Mpa	Resistencia Lb/plg ²
3	1	13,020	15,200	30,358	35 000,000	2,200	320,000
3	4f	13,160	15,210	30,407	44 000,000	2,700	390,000
7	2	13,180	15,170	30,583	41 000,000	2,500	360,000
7	5f	13,830	15,515	30,550	40 000,000	2,400	350,000
28	3	13,050	15,250	30,272	46 000,000	2,800	410,000
28	6f	13,250	15,245	30,288	51 000,000	3,100	450,000

Fuente: elaboración propia.

Tabla XVII. **Resumen de resultados de ensayo a flexión de vigas de concreto**

Edad concreto (días)	No. probeta	Ancho (mm)	Alto (mm)	Largo (mm)	Carga (N)	Esfuerzo a flexion (Mpa)	Esfuerzo a flexión (PSI)
3	1	152,83	153,33	533,00	22 555,00	2,85	415,00
3	4f	152,00	153,07	535,00	24 517,00	3,10	450,00
7	2	153,67	151,67	536,00	24 517,00	3,15	455,00
7	5f	153,50	151,83	535,00	26 478,00	3,40	495,00
28	3	154,13	152,50	540,00	35 304,00	4,50	655,00
28	6f	154,65	152,30	535,00	35 304,00	4,50	655,00

Fuente: elaboración propia.

7. ANÁLISIS DE RESULTADOS

7.1. Análisis de fisuración en losas

Las losas de concreto no presentaron fisuras en los primeros cinco días después de fundidas. En el sexto día empezaron a aparecer algunas fisuras en las losas, sobre todo en las losas que no se curaron adecuadamente.

Tabla XVIII. **Comparación de la cantidad de fisuras en las losas de concreto con fibra y sin fibra**

Ubicación de las fisuras	Concreto curado/sin curar	Sin fibra (unidad)	Con fibra (unidad)	Disminución (porcentaje)
Esquinas de la losa	Curado	90,00	30,00	66,67
	Sin curar	100,00	60,00	40,00
Al centro de la losa	Curado	15,00	10,00	33,33
	Sin curar	30,00	10,00	66,67

Fuente: elaboración propia.

En las esquinas de las losas de concreto fibroreforzado que fue curado adecuadamente la cantidad de fisuras fue solamente 1/3 de la cantidad de fisuras que se formaron en las losas de concreto simple, mientras que en el concreto fibroreforzado sin curar la cantidad de fisuras es el 60 % de la cantidad de fisuras formadas en el concreto simple. En el centro de las losas el concreto curado fibroreforzado presentó 2/3 de la cantidad de fisuras formadas en el concreto simple, mientras que el concreto fibroreforzado sin curar obtuvo 1/3 de la cantidad de fisuras que se formaron en el concreto simple.

La cantidad de fisuras en las losas de concreto varió dependiendo del curado que se le dio. La cantidad de fisuras en las esquinas del concreto fibroreforzado sin curar fue de 60, mientras que en el concreto fibroreforzado curado adecuadamente la cantidad fue de 30; es decir que al curar adecuadamente el concreto fibroreforzado en las esquinas se reduce la cantidad de fisuras al 50 %.

Una situación análoga se puede observar en las esquinas de las losas de concreto simple, ya que la cantidad de fisuras en el concreto simple sin curar es de 100, mientras que en el concreto simple curado la cantidad es de 90; esto indica que curando adecuadamente el concreto simple solo fue posible reducir la cantidad de fisuras en un 10 %. Al centro de las losas de concreto simple se reduce en 50 % la cantidad de fisuras al curar el concreto adecuadamente, mientras que en el concreto fibroreforzado la cantidad de fisuras no varió con el curado.

Tabla XIX. Aumento de la cantidad de fisuras en las losas respecto de la edad del concreto

Losa	Especificación	Aumento de fisuras en esquinas (porcentaje)	Aumento de fisuras al centro (porcentaje)
Losa 1	Concreto simple curado	9,756	-
Losa 2	Concreto simple sin curar	5,263	150,000
Losa 3	Concreto fibroreforzado+curado	36,364	-
Losa 4	Concreto fibroreforzado sin curar	140,000	42,857
El aumento de fisuras en el concreto a 28 días respecto del concreto a 7 días, todo expresado en porcentaje.			

Fuente: elaboración propia.

En las losas de concreto simple el aumento en la cantidad de fisuras es menor en la losa sin curar, indicando que las fisuras en el concreto simple sin curar se formaron a una edad temprana. Por otro lado, en las losas fibroreforzadas el aumento en la cantidad de fisuras es menor en la que fue curada adecuadamente, indicando que las mismas fueron apareciendo conforme aumentaba la edad del concreto.

El ancho efectivo de las fisuras (calculado en el centro de las mismas) no excedió los 0,05 mm de ancho en las cuatro losas, aun en las losas que no fueron curadas adecuadamente. El ancho de las fisuras obtenido en las losas indica que son fisuras superficiales.

Cabe mencionar que aunque las losas con concreto fibroreforzado presentaron menor cantidad de fisuras, las que se formaron en estas losas eran de mayor longitud que las que se presentaron en las losas de concreto simple. La longitud de las losas de concreto fibroreforzado curado son un 200 % mayores que en el concreto simple, mientras que en las losas de concreto fibroreforzado sin curar, la longitud aumentó en un 50 % a las formadas en el concreto simple.

7.2. Análisis de ensayo de asentamiento (*slump*) según Norma ACI 211

El análisis de los resultados obtenidos en la prueba de asentamiento en el concreto con fibra y sin fibra, se realiza con base en la tabla A1.5.3.1 del ACI 211.1-91.

Tabla XX. **Revenimientos recomendados para varios tipos de construcción**

Construcción de concreto	Revenimiento mm (pulgadas)	
	Máximo	Mínimo
Zapatas y muros de cimentación reforzado	75 (3)	25 (1)
Zapatas, cajones y muros de subestructuras sin refuerzo	75 (3)	25 (1)
Vigas y muros reforzados	100 (4)	25 (1)
Columnas de edificios	100 (4)	25 (1)
Pavimentos y losas	75 (3)	25 (1)
Concreto masivo	75 (3)	25 (1)

Fuente: tabla A1.5.3.1 “*Recommended slumps for various types of constructions*” del normativo ACI 211.1-91. p. 21.

Comparando los datos obtenidos del ensayo de asentamiento con la tabla A1.5.3.1 “*Recommended slumps for various types of constructions*” del normativo ACI 211, se puede determinar que las mezclas de concreto ensayadas están en el rango de límite máximo (75 mm) y límite mínimo (25 mm) permisibles.

El diseño de mezcla práctico de concreto con fibra sintética se realizó bajo condiciones de temperatura ambiente mayores a las condiciones de imperantes en el diseño práctico de concreto sin fibra. A pesar de las diferencias de condiciones los asentamientos del concreto cumplen con el rango establecido por el Código ACI 211.

7.3. Análisis de ensayo de resistencia a compresión, según la Norma ASTM C-39

El concreto utilizado fue diseñado con f'_c 210 kg/cm², por lo que ese valor se tomará como el 100 % de la resistencia del concreto.

Tabla XXI. **Porcentaje de resistencia a compresión obtenido en ensayos del concreto con respecto a f'_c (f'_c 210 kg/cm²)**

Porcentaje min esperado	Edad		
	3 días (75 %)	7 días (90 %)	28 días (100 %)
Sin fibra	83,70 %	102,00 %	127,60 %
Con fibra	98,70 %	123,00 %	154,70 %

Fuente: elaboración propia.

Tanto el concreto simple como el fibrorreforzado obtuvieron una resistencia a compresión mayor a la esperada. A los 3 días el concreto fibrorreforzado casi había obtenido la resistencia a compresión de diseño. A los 7 días tanto el concreto simple como el fibrorreforzado habían superado la resistencia a compresión de diseño. El aumento de la resistencia a compresión fue constante aun a los 28 días.

Tabla XXII. **Aumento de resistencia a compresión del concreto fibrorreforzado con respecto al concreto simple**

Aumento en %	Edad		
	3 días	7 días	28 días
	15,00 %	21,00 %	27,10 %

Fuente: elaboración propia.

El concreto fibroreforzado presenta un aumento constante en la resistencia a compresión, obteniendo una resistencia máxima del 154,70 % de f'_c (f'_c 210 kg/cm²), que a su vez es 27,10 % mayor que la resistencia máxima a compresión obtenida del concreto simple.

7.4. Análisis de ensayo de resistencia a tensión indirecta, según la Norma ASTM C-496

Se considera que la resistencia a tensión del concreto está entre el 10 % y el 15 % de la resistencia a compresión del mismo. Tomando como base la resistencia del diseño original de concreto (f'_c 210 kg/cm²) se obtiene el siguiente análisis de resistencia:

Tabla XXIII. Resistencia a tensión indirecta del concreto expresado en porcentaje de f'_c 210 kg/cm²

	Edad		
	3 días (%)	7 días (%)	28 días (%)
Sin fibra	10,67	12,00	13,67
Con fibra	13,00	11,67	15,00

Fuente: elaboración propia.

Tanto el concreto simple como el fibroreforzado cumplieron con el porcentaje mínimo de resistencia a tensión indirecta, es decir con el 0,10 f'_c . Solo el concreto fibroreforzado cumplió con el 0,15 f'_c , y lo alcanzó a los 28 días.

Tabla XXIV. **Comparación de la resistencia a tensión indirecta del concreto simple y fibrorreforzado**

	Edad		
	3 días (%)	7 días (%)	28 días (%)
Sin fibra	-	Aumentó 0,33	-
Con fibra	Aumentó 2,33	-	Aumentó 1,33

Fuente: elaboración propia.

En cuanto al ensayo a tensión indirecta el aumento de resistencia del concreto fibrorreforzado no fue constante, de hecho, a los siete días, el concreto simple soportó más tensión (aumento aproximado de 0,33 %) que el concreto fibrorreforzado. El ensayo a tres días presentó un aumento de resistencia a tensión del concreto fibrorreforzado sobre el concreto simple de 2,33 %, pero a los 28 días el aumento de resistencia a tensión indirecta del concreto fibrorreforzado aumentó solo 1,33 % sobre el concreto simple; esto es 1 % menor al aumento que se obtuvo a los 3 días sobre el concreto simple.

7.5. Análisis de ensayo de resistencia a flexión, según Norma NTGO 41017 h2 (ASTM C-78)

Según ASTM C-78, la resistencia a flexión del concreto debe estar entre el 10 % y 20 % de la resistencia a compresión del concreto (f'_c).

Tabla XXV. **Resistencia a flexión del concreto expresada en porcentaje de f'c 210 kg/cm²**

	Edad		
	3 días (%)	7 días (%)	28 días (%)
Sin fibra	13,83	15,17	21,83
Con fibra	15,00	16,50	21,83

Fuente: elaboración propia.

Los resultados obtenidos en el ensayo a flexión, tanto del concreto simple como del concreto fibrorreforzado, se encuentran en el rango especificado por ASTM C-78. Es de notarse que tanto el concreto fibrorreforzado como el concreto simple superan el 20 % de la resistencia a compresión del concreto.

La falla obtenida en todas las vigas se mantuvo en la superficie a tensión, es decir en el tercio medio de la luz entre apoyos de la viga. La velocidad de la carga aplicada fue exactamente la misma en todas las vigas ensayadas.

Tabla XXVI. **Aumento de la resistencia a flexión del concreto fibrorreforzado con respecto al concreto simple**

	Edad		
	3 días	7 días	28 días
Aumento en %	1,17	1,33	0,00

Fuente: elaboración propia.

El aumento de resistencia a flexión del concreto fibrorreforzado respecto del concreto simple fue consistente en los ensayos a edades de 3 y 7 días. A los tres días el aumento de resistencia a flexión del concreto fibrorreforzado fue

de 1,17 % y a los siete días de 1,33 % sobre el concreto simple. Pero a la edad de 28 días la resistencia a flexión fue la misma tanto en la viga fibroreforzada como en la viga de concreto simple.

A pesar de que la resistencia final a flexión del concreto fibroreforzado no fue mayor a la del concreto simple, debe notarse que se obtuvo una resistencia a flexión de 21,83 % f'_c , es decir, 1,83 % más de lo especificado en normativos.

7.6. Análisis y comparación de costos entre electromalla y fibra sintética

El costo calculado solo incluye el costo extra debido a la electromalla y a la fibra sintética; no se consideró el costo del concreto porque es el mismo en ambos casos y solo se requiere hacer una comparación.

El costo por m^2 de electromalla para este proyecto es de Q40,99, mientras que el costo por m^2 de fibra sintética es de Q11,25, es decir, que con el uso de la fibra sintética el costo es el 27,445 % de lo que se gastaría usando electromalla. El ahorro por m^2 es de Q29,74. Se debe considerar que el proyecto es relativamente pequeño, y que para proyectos grandes el costo por transporte puede reducir un poco esta diferencia; sin embargo, seguirá siendo más económico el uso de la fibra sintética, debido a que no se requiere de mano de obra calificada, ninguna maquinaria extra, ni consideraciones técnicas especiales.

CONCLUSIONES

1. La cantidad de fisuras en el concreto fibroreforzado se reduce en $\frac{2}{3}$ comparado con las fisuras formadas en el concreto simple bajo las mismas condiciones.
2. La losa de concreto fibroreforzado que se sometió a condiciones de curado óptimo redujo en un 50 % la cantidad de fisuras presentada en la losa de concreto fibroreforzado sin curar. Incluso la losa de concreto fibroreforzado sin curar presenta una disminución de $\frac{1}{3}$ en la cantidad de fisuras formadas en la losa de concreto simple bien curada.
3. Comparado con el concreto simple, el concreto fibroreforzado presenta un aumento en la tenacidad; esto se traduce en un aumento en la resistencia a compresión, tensión indirecta y flexión. Este aumento de propiedades mecánicas del concreto fibroreforzado permite reducir el peralte del elemento, sin reducir su funcionalidad.
4. Las fisuras formadas en las 4 losas ensayadas no sobrepasan los 0.05 mm de ancho efectivo, por lo que se consideran fisuras superficiales.
5. La adherencia que la fibra sintética utilizada en este proyecto tiene con el concreto se debe a que su relación de aspecto es de 782, que es siete veces mayor que la relación de aspecto de las fibras sintéticas en el mercado. Esto significa que la fibra sintética utilizada tiene la capacidad de mantener unidas las partículas de concreto, retrasando su deformación y ruptura.

6. El asentamiento del concreto fibroreforzado está entre el rango permitido por el Código ACI, manteniendo una óptima trabajabilidad.
7. El costo del proyecto utilizando fibra sintética se reduce en un 72,555 % comparado con el uso de electromalla.

RECOMENDACIONES

1. Tomar en cuenta que la temperatura del ambiente influye directamente en la trabajabilidad y manejabilidad del concreto.
2. El curado adecuado del elemento estructural no se debe modificar con el uso de la fibra sintética.
3. No se debe sustituir acero estructural por fibra sintética en el elemento.
4. Utilizar fibra sintética para la reducción de fisuras por contracción térmica en el concreto, con mejores propiedades que la electromalla, menos riesgos y reducción de costos.
5. Recordar que el curado óptimo varía dependiendo del elemento estructural y el ambiente en el que se construye. No debe modificarse la técnica de curado al usarse fibra sintética.
6. Realizar el proyecto nuevamente teniendo especial cuidado en la mezcla de la fibra sintética con los agregados del concreto, con el fin de lograr la homogeneidad de la mezcla de concreto.
7. Realizar estudios utilizando esta fibra sintética en morteros para acabados en las estructuras.

BIBLIOGRAFÍA

1. American Concrete Institute. *Causas, evaluación y reparación de fisuras en estructuras de hormigón*, ACI 224.1R-07. Estados Unidos de America, International publication series, 2007. 24 p.
2. American Society for Testing and Materials. *Standard specification for fiber-reinforced concrete and shotcrete*. ASTM C1116-03. ASTM International. West Conshohocken, PA, 2003. 8 p.
3. Comisión Guatemalteca de Normas. *Método de ensayo, determinación del asentamiento del concreto hidráulico*. COGUANOR NTG41052, Guatemala: 2010. 9 p.
4. FERNÁNDEZ CÁNOVAS, Manuel. *Patología y terapéutica del hormigón armado*. España: Universidad Politécnica de Madrid, 1994. 663 p.
5. *Fisuras en el concreto ¿Síntoma o enfermedad?* En revista de ingeniería, E. Vidaud, primera parte. 6 p.
6. *Guide to curing concrete*. ACI 308R-01, Farmington Hills, MI, 2001. 26 p.
7. Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto (IMCYC). *Agrietamiento en el concreto*. Instituto Mexicano del Cemento y Concreto. México: 2005. 3 p.

8. *Método de ensayo para determinar el esfuerzo de flexión del concreto (utilizando una viga simplemente soportada con cargas en los tercios de la luz).* COGUANOR NTG41017-h2, Guatemala 2011. 10 p.
9. National Ready Mixed Concrete Association. *Agrietamiento por contracción plástica.* NRMCA CIP 5, 900 Spring St., Silver Spring, MD 20910. Estados Unidos, 2010. 2 p.
10. *Proportioning concrete mixtures.* ACI 211.1. Estados Unidos de America, International publication series, 1991. p. 23.
11. Representaciones Internacionales SAHE. *Fibra estructural de carbono X fiber 54 para la fabricación de concreto fibroreforzadas, (FRC).* Costa Rica, 2014. 5 p.
12. *Ruredil X Fiber 54.* Ruredil S.p.A. Via B.Buozzi, 1 San Donato Milanese, Italia, 2013. 24 p.
13. *Standard practice for making and curing concrete test specimen in the field.* ASTM C31, ASTM International. West Conshohocken, PA, 2012. 5 p.
14. *Standard practice for sampling fresh 1ly mixed concrete.* ASTM C172-07, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2007. 5 p.

15. *Standard practice for use of unbonded caps in determination of compressive strength of hardened concrete cylinders.* ASTM C1231, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2014. 8 p.

16. *Standard test method for flexural strength of concrete (using simple beam with third-point loading).* ASTM C78, ASTM International. West Conshohocken, PA, 2010. 50 p.

APÉNDICES

Apéndice 1. Fibra sintética a utilizar



Fuente: elaboración propia. Centro de Investigaciones de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala.

Apéndice 2. Ensayo de asentamiento en concreto fibroreforzado



Fuente: elaboración propia. Centro de Investigaciones de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala.

Apéndice 3. Falla de probetas sometidas a flexión indirecta



Fuente: elaboración propia. Centro de Investigaciones de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala.

Apéndice 4. Elaboración y curado de losas de concreto con fibra y sin fibra



Fuente: elaboración propia. Área de Prefabricados, Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala.

Apéndice 5. Falla de probetas de concreto fibrorreforzado sometidas a compresión



Fuente: elaboración propia. Centro de Investigaciones de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala.

Apéndice 6. Falla de probetas de concreto fibrorreforzado sometidas a flexión



Fuente: elaboración propia. Centro de Investigaciones de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala.

Apéndice 7. Observación de losas a 3 días de fundición



Fuente: elaboración propia. Área de Prefabricados, Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala.

Apendice 8. Observación de fisuras en losas a 28 días de fundición



Fuente: elaboración propia. Centro de Investigaciones de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala.

Apéndice 9. Informe de ensayo a tensión indirecta de concreto simple y fibroreforzado



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



INFORME DE ENSAYO A TENSION INDIRECTA PARA CILINDROS DE CONCRETO
NORMA NTG 41017 h15 (ASTM C-496) No. 0451

O.T. No. 33333 S.C. - 618
HOJA 1/1

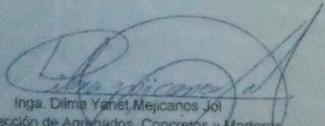
INTERESADO: Jafid Abinady Pineda Rodriguez, Carné No. 2009 24538
PROYECTO: Trabajo de Graduación "Utilización de Fibra Sintética Para la Reducción de Fisuras por Contracción Térmica en Losas de Concreto Reforzado"
DIRECCIÓN: 2 Ave. 2 Calle Lote 29 Colonia Santa Isabel 1, Chimalta.
FECHA: 20 de agosto de 2014

No. CILINDRO CERRA	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 kg/cm ²
1	310-07	22/07/2014	25/07/2014	3	Diseño de mezcla	13,020	15,200	30,358	35 000	2,20	320
2	311-07	22/07/2014	29/07/2014	7	Diseño de mezcla	13,180	15,170	30,583	41 000	2,50	360
3	145-08	22/07/2014	19/08/2014	28	Diseño de mezcla	13,050	15,250	30,272	46 000	2,80	410
4	312-07	22/07/2014	25/07/2014	3	Diseño de mezcla con fibra sintética	13,160	15,210	30,407	44 000	2,70	390
5	313-07	22/07/2014	29/07/2014	7	Diseño de mezcla con fibra sintética	13,830	15,515	30,550	40 000	2,40	350
6	146-08	22/07/2014	19/08/2014	28	Diseño de mezcla con fibra sintética	13,250	15,245	30,288	51 000	3,10	450

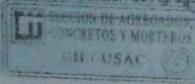
a) Muestras de cilindros elaboradas en laboratorio.
 b) Muestras ensayadas en máquina de compresión TONINDUSTRIE con capacidad de 300,000 lbs.
 c) Dial utilizado para lectura de cargas: 300,000 lbs.
 d) El interesado proporcionó:

- Identificación de cilindro.
- Fecha de fundición.
- Edad de ensayo.
- El representativo de la fundición.

ATENTAMENTE,


 Inga. Dilma Yahel Mejicanos Jol
 Jefa Sección de Agregados, Concretos y Mortaros


 Vo. Bo. Inga. Telma Marcela Cano Morales
 Directora CI/USAC



FACULTAD DE INGENIERIA - USAC -
 Edificio T-5, Ciudad Universitaria zona 12
 Teléfono directo: 2418-9116, Planta: 2418-8000 Exts. 86209 y 86221 Fax: 2418-9121
 Pagina web: http://ci.usac.edu.gt

Fuente: elaboración propia. Informe de ensayo a tensión indirecta. Centro de Investigaciones de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala.

Apéndice 10. Informe de ensayo a flexión de concreto simple y fibroreforzado



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



INFORME DE ENSAYO A FLEXIÓN DE VIGAS DE CONCRETO No. 3038
NORMA NTG 41017 h2 (ASTM C-78)
 INFORME No. S.C. - 853

O.T. No. 33334 HOJA 1/1

INTERESADO: Jafid Abidany Pineda Rodriguez, Carné No. 200924638

PROYECTO: Trabajo de graduación "Utilización de fibra sintética para la reducción de fisuras por contracción térmica en losas de concreto reforzado"

DIRECCIÓN: 2a. Avenida, 2a. Calle Lote 29 colonia Santa Isabel 1, Chínautla.

FECHA: 28 de agosto de 2014

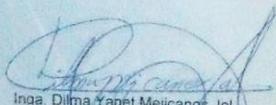
RESULTADOS:

MUESTRA	FECHA DE HECHURA	FECHA DE RUPTURA	EDAD (días)	ANCHO (mm)	ALTO (mm)	LARGO (mm)	LUZ ENTRE APOYOS (mm)	CARGA RUPTURA (N)	ESFUERZO A FLEXIÓN (Mpa)	ESFUERZO A FLEXIÓN (PSI)
Viga con fibra	22/07/2014	25/07/2014	3	152,00	153,67	535,00	457,00	24517	3,10	450,00
Viga con fibra	22/07/2014	29/07/2014	7	153,50	151,83	535,00	457,00	26478	3,40	495,00
Viga con fibra	22/07/2014	19/08/2014	28	154,13	152,50	540,00	457,00	35304	4,50	655,00
Viga sin fibra	22/07/2014	25/07/2014	3	152,83	153,33	533,00	457,00	22555	2,85	415,00
Viga sin fibra	22/07/2014	29/07/2014	7	153,67	151,67	536,00	457,00	24517	3,15	465,00
Viga sin fibra	22/07/2014	19/08/2014	28	154,65	152,30	535,00	457,00	35304	4,60	665,00

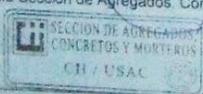
OBSERVACIONES:

a) Muestra fundida y moldeada en laboratorio
 b) La falla ocurrió en la superficie de tensión dentro del tercio medio de la luz entre apoyos de la viga.

ATENTAMENTE,


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

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



FACULTAD DE INGENIERIA --USAC--
 Edificio T-5, Ciudad Universitaria zona 12
 Teléfono directo: 2418-9115, Planilla: 2415-8000 Exts. 86209 y 86221 Fax: 2418-9121
 Página web: <http://cii.usac.edu.gt>

Fuente: elaboración propia. Informe de ensayo a flexión. Centro de Investigaciones de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala.

Apéndice 11. Informe de ensayo a compresión de concreto fibroreforzado



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

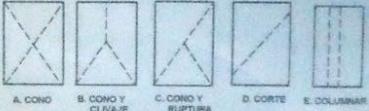
INFORME DE ENSAYO A COMPRESIÓN PARA CILINDROS DE CONCRETO No. **0470**
NORMA NTG 41017h1 (ASTM C-39)
 D.T. No. 33332 SC - 633
 HOJA 1/1

INTERESADO: Jafid Abinady Pineda Rodríguez Camé No. 2009 246538
PROYECTO: Trabajo de graduación "Utilización de fibra sintética para la reducción de fisuras por contracción térmica en losas de concreto reforzado"
DIRECCIÓN: 2 ave. 2 calle lote 29 colonia Santa izabel 1 Chimsutla
FECHA: 21 de agosto de 2014

No. CILINDRO OBRA	No. CILINDRO LABORATORIO	FECHA DE FUNDICIÓN	FECHA DE RUPTURA	EDAD en días	CILINDRO REPRESENTATIVO DE LA FUNDICIÓN	RESO en kg	DIAMETRO en cm	ALTURA en cm	CARGA en libras	RESISTENCIA Mpa	RESISTENCIA (psi)	TIPO DE FRACTURA
1	164-B	22/07/2014	25/07/2014	3	Control de calidad	13,185	15,205	30,337	83 189	20,40	2 980	B
2	165-B	22/07/2014	29/07/2014	7	Control de calidad	13,190	15,255	30,213	104 774	25,50	3 700	C
3	166-B	22/07/2014	19/08/2014	28	Control de calidad	13,240	15,235	30,303	131 361	32,00	4 640	E

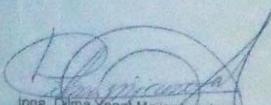
OBSERVACIONES :
 a) Muestras proporcionadas por el interesado.
 b) Muestras ensayadas en máquina de compresión CONTROLS capacidad de 1 500 kilonewtons.
 c) Cilindro cabeceado según Norma ASTM C-1231.
 d) El interesado proporcionó:
 • No. de cilindro en obra.
 • Fecha de fundición.
 • Edad de ensayo.
 • El representativo de la fundición.
 e) Aditivo utilizado: fibra sintética RXF 54

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
 1999 Dirección: Av. Adolfo A. Guzmán, Concretos y Morteros

Vo Bo



Inga. Teima Maricela Cano Morales
 Directora CIVUSAC



FACULTAD DE INGENIERÍA – USAC –
 Edificio T-5, Ciudad Universitaria zona 12
 Teléfono directo: 2418-8115, Planta: 2418-8000 Ext. 86209 y 86221 Fax: 2418-8121
 Página web: http://ci.usac.edu.gt

Fuente: elaboración propia. Informe de ensayo a compresión. Centro de Investigaciones de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala.

